

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»
(КузГТУ)

Составитель
Л. И. Михалева

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ КузГТУ**

Кемерово 2017

Методические рекомендации по организации учебной деятельности обучающихся КузГТУ / сост. Л. И. Михалева; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2017. – Загл. с экрана.

Предназначены для оказания помощи по организации учебной деятельности обучающихся КузГТУ.

Рекомендованы к переизданию методическим советом КузГТУ (протокол № 1 от 15.02.2017)

© КузГТУ, 2016
© Михалева Л. И.,
составление, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Введение | 4 |
| 2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы | 4 |
| 3. Методические рекомендации по подготовке к лекциям, к практическим, семинарским, лабораторным занятиям | 10 |
| Методические рекомендации по подготовке к лекциям | 10 |
| 4. Методические рекомендации по написанию письменных работ..... | 11 |
| 5. Методические рекомендации по практике (том числе НИР, НИД) | 16 |
| 6. Требования к оформлению текстовой документации..... | 20 |
| 7. Методические рекомендации по формированию портфолио | 22 |

1. Введение

Настоящие рекомендации распространяются на учебную деятельность обучающихся, такую, как лекции, практические, лабораторные и семинарские занятия, письменные работы, самостоятельную работу по всем видам учебной деятельности. К письменным работам относятся такие работы, как эссе, контрольная работа, реферат, курсовая работа (курсовой проект), расчетно-графическая работа, отчеты, выполняемые обучающимися и др. Методические рекомендации устанавливают общие требования к их структуре и правилам оформления.

В процессе подготовки ко всем видам работ обучающиеся имеют возможность показать умение аналитически работать с литературой (русской и зарубежной), продемонстрировать навыки обоснованного и развернутого изложения своей точки зрения на исследуемую тему, внести свои предложения.

При подготовке к любому виду деятельности должны быть сформулированы цели и задачи работы, должен быть проведен разбор исследуемых материалов (статьи, монографии, Интернет-ресурсы на русском и иностранном языках) по определенной проблеме, проведено описание подходов, методов и индикаторов, используемых авторами, проведен их сравнительный анализ с позиции автора и, в заключение, сделаны выводы.

Письменные работы представляются на кафедру или преподавателю в срок, установленный рабочей программой, методическими указаниями по дисциплине.

2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

2.1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования, которые выражаются в подготовке квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности. Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие у обучающихся навыков самостоятельной работы, стимулирование их профессионального роста, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Организация самостоятельной работы обучающихся заключается в необходимости выполнения заданий самостоятельно, с привлечением ресурсов НТБ КузГТУ, электронной образовательной среды КузГТУ, Интернет- и прочих ресурсов.

Самостоятельная работа обучающихся в КузГТУ является важным видом учебной и научной деятельности и играет значительную роль в методике обучения.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умений самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование таких умений происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических и других видах занятий, выполнение контрольных заданий и тестов, подготовку выпускной квалификационной работы. При этом самостоятельная

работа обучающегося играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы обучающихся в КузГТУ включают в себя:

- проработка теоретического материала по конспектам лекций;
- подготовка к практическим, лабораторным, семинарским занятиям, деловым играм;
- оформление отчетов по практическим и лабораторным занятиям, практикам;
- изучение учебной, научной и методической литературы, составление обзоров, конспектов;
- изучение материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, периодической и научной информации, составление обзоров;
- решение типовых задач, ситуационных заданий, кейсов;
- подготовку докладов, рефератов, эссе;
- подготовку курсовых проектов, курсовых и расчетно-графических работ, выпускной квалификационной работы;
- изучение и систематизацию официальных государственных документов;
- участие в работе конференций и др.

2.2. Цели и основные задачи самостоятельной работы обучающихся

Цель организации СРС совпадает с целью обучения – овладение универсальными и профессиональными компетенциями, опытом производственной работы.

Самостоятельная работа способствует развитию ответственности, организованности, системного подхода к решению учебных и профессиональных задач.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений применять нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности: учебной инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного в ходе самостоятельной работы и аудиторных занятиях, при написании выпускной квалификационной работы, для эффективной подготовки к зачетам и экзаменам.

2.3. Виды самостоятельной работы

В образовательном процессе высшего профессионального образования выделяется два вида самостоятельной работы – аудиторная и внеаудиторная (самоподготовка).

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется обучающимся по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самоподготовки являются:

- написание и доработка конспекта лекций на основе рекомендованной преподавателем учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- подготовка к семинарам, практическим и лабораторным работам, их оформление;
- выполнение курсовой работы, курсового проекта, рефератов, эссе, РГР, докладов,

контрольным работам, самостоятельной работе, деловой игре и т.д.;

- подготовка отчетов к ПЗ и ЛР и их защита;
- тестирование в системе Moodle самоконтроль и контроль;
- подготовка к тестированию на аудиторных занятиях;
- подготовка к выступлению в качестве оппонента при защите рефератов, курсовых работ, докладов, презентаций на аудиторных занятиях и на форуме в системе Moodle;
- проведение тематического патентного поиска в сети Интернет, базах данных КузГТУ или Областной библиотеки.

(В зависимости от особенностей направления подготовки/специальности перечисленные виды работ могут быть расширены или заменены на специфические).

Основными видами самостоятельной работы обучающихся с участием преподавателей являются:

- текущие консультации;
- прием и разбор домашних заданий (в часы практических/лабораторных занятий);
- прием и защита рефератов, контрольных работ, лабораторных работ;
- прохождение практик и оформление их результатов (руководство и оценка уровня сформированности профессиональных умений и навыков);
- выполнение выпускной квалификационной работы (руководство, консультирование, защита) и др.

2.4. Методика организации самостоятельной работы

Методика организации самостоятельной работы зависит от структуры, характера и особенностей изучаемой дисциплины, объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы, индивидуальных качеств обучающихся и условий учебной деятельности.

Организацию самостоятельной работы обучающихся КузГТУ обеспечивают сотрудники дирекций/деканата, заведующие и преподаватели кафедр, сотрудники НТБ, ЦИТ и др.

Чтобы правильно организовать свою самостоятельную работу, обучающемуся необходимо создать условия для продуктивной умственной деятельности. К условиям продуктивности умственной деятельности относятся:

- постепенное вхождение в работу;
- выдерживание индивидуального ритма, темпа работы и размера ее исполнения;
- привычная последовательность и систематичность деятельности;
- правильное чередование труда и отдыха.

Обучающемуся важно помнить:

- работа над подготовкой к занятиям является ежедневной;
- отдых не предполагает полного бездействия, он может быть достигнут переменной дела;
- при организации самостоятельной работы необходимо предусмотреть смену периодов работоспособности в течение дня и соблюдение перерывов;
- чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы по предметам курса, необходимо систематически заниматься по 3-5 часов ежедневно, желательно в одни и те же часы, при чередовании занятий с перерывами для отдыха;
- целесообразно ежедневно работать не более чем над двумя-тремя дисциплинами, начиная со среднего по трудности задания, переходя к более сложному, напоследок оставив легкую часть задания, требующую больше определенных моторных действий.

Самостоятельные занятия потребуют интенсивного умственного труда, который необходимо не только правильно организовать. Для оптимальной организации самостоятельной работы обучающемуся рекомендуется составление личного расписания, отражающего время и характер занятий (теоретический курс, практические и лабораторные занятия, написание

письменных работ, чтение литературы и др.), перерывы на обед, ужин, отдых, сон, проезд и т.д.

2.5. Деятельность обучающихся по формированию навыков учебной самостоятельной работы

Каждый обучающийся самостоятельно определяет режим своей самостоятельной работы. В процессе самостоятельной работы обучающийся приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления, саморефлексии и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

В процессе самостоятельной работы обучающийся должен:

- освоить минимум содержания, выносимый на самостоятельную работу и предложенный преподавателем в соответствии с рабочей программой по конкретной дисциплине;
- планировать самостоятельную работу в соответствии с графиком самостоятельной работы, предложенным преподавателем;
- осуществлять самостоятельную работу в организационных формах, предусмотренных учебным планом и рабочей программой преподавателя;
- выполнять самостоятельную работу и отчитываться по ее результатам в соответствии с графиком представления результатов, видами и сроками отчетности по самостоятельной работе обучающихся;
- использовать для самостоятельной работы рекомендованные в рабочей программе дисциплины методические пособия, учебные пособия, а также самостоятельно найденные обучающимся.

2.6. Работа с литературой

Самостоятельная работа с учебниками и книгами, теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на лекциях – важнейшее условие формирования обучающимся у себя научного способа познания. Сэкономить обучающемуся время и силы помогут рациональные навыки работы с учебной книгой. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Изучая материал по учебной книге (учебнику, учебному пособию, монографии и др.), следует переходить к следующему вопросу только после полного уяснения предыдущего, фиксируя выводы и вычисления, в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода.

Особое внимание обучающийся должен обратить на определение основных понятий курса. Надо подробно разбирать примеры, которые поясняют определения, и приводить аналогичные примеры самостоятельно.

Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебной книге полезно либо в тетради на специально отведенных полях, либо в документе, созданном на ноутбуке, планшете и др. информационном устройстве, дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные обучающимся для консультации с преподавателем. Выводы, полученные в результате изучения учебной литературы, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы при перечитывании материала они лучше запоминались.

Обучающимся рекомендуется составлять лист опорных сигналов, содержащий важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия, основные положения лекции, что может служить постоянным справочником по предмету. Основным смыслом подготовки опорных сигналов – это систематизация и оптимизация знаний по данному предмету. Если обучающийся самостоятельно подготовил опорные сигналы, то экзамены он будет сдавать более уверенно, так как у него уже сформирована общая ориентировка в сложном материале. Использование сигналов позволяет отвечающему лучше демонстрировать ориентировку в

знаниях, что намного важнее знания «тут же забытого» после сдачи экзамена.

Следует внимательно и осознанно читать учебную литературу. Различают два вида чтения: первичное, как внимательное, неторопливое чтение, при котором можно остановиться на трудных местах, и вторичное, после которого у обучающегося не должно остаться ни одного непонятого слова. Содержание учебного или научного материала не всегда может быть понятно после первичного чтения. Задача вторичного чтения – полное усвоение смысла целого (по счету это чтение может быть и не вторым, а третьим или четвертым и т.д.).

Правила самостоятельной работы обучающегося с учебной литературой

1. Составьте перечень книг, с которыми следует познакомиться; не старайтесь запомнить все, что вам в ближайшее время не понадобится, запомните только, где можно отыскать необходимый материал.

2. Перечень должен быть систематизированным.

3. Обязательно выписывайте все выходные данные по каждой книге (при написании рефератов и других работ это позволит сэкономить время).

4. Разберитесь для себя, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просмотреть.

5. При составлении перечня литературы посоветуйтесь с преподавателями и научным руководителем, эрудированными однокурсниками, которые помогут лучше сориентироваться, на что стоит обратить больше внимания.

6. Все прочитанные книги, учебники и статьи конспектируйте – выписывайте кратко основные идеи автора, приводите наиболее яркие и цитаты (с указанием страниц источника).

7. На собственных книгах допускается делать на полях краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте – это позволяет экономить время и быстро находить «избранные» места в разных книгах.

8. При малом опыте работы с научной литературой следует выработать в себе способность «воспринимать» сложные тексты посредством приема «медленного чтения», когда понятно каждое прочитанное слово (если слово незнакомое, то с помощью словаря обязательно его узнать).

9. Эффективный способ оптимизации знакомства с научной литературой – увлечение одной идеей и просматривание всех книг с точки зрения данной идеи. В этом случае вы будете искать аргументы «за» или «против» интересующей вас идеи, и одновременно будете мысленно общаться с авторами этих книг по поводу своих идей и размышлений.

Основные установки в чтении научного текста

1. Информационно-поисковый (найти, выделить искомую информацию).

2. Усваивающая (осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и логику его рассуждений).

3. Аналитико-критическая (критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему).

4. Творческая (использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

В зависимости от установки изучения научного текста выделяют виды чтения:

1. Библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.

2. Просмотровое – поиск материалов, содержащих нужную информацию сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате просмотра устанавливается, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе.

3. Ознакомительное – подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных

страниц с целью знакомства с характером информации, вопросов, вынесенных автором на рассмотрение, проведение сортировки материала.

4. Изучающее – освоение материала, в ходе которого проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на полное понимание материала.

5. Аналитико-критическое и творческое чтение – виды чтения, участвующие в решении исследовательских задач. Первый вид предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второй – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, нужно высказать собственные мысли.

Для обучающихся основным является изучающее чтение, которое позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть хорошо освоен обучающимся, при овладении им формируются основные приемы, повышающие эффективность работы затем и с научным текстом.

2.7. Самопроверка

После изучения определенной темы по записям конспекта и учебнику, решения соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно, обучающемуся рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения и формулировки основных положений.

В случае необходимости нужно еще раз разобраться в материале. Помните, недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. Если это имеет место быть, надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала – умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако правильное решение задачи может получиться и в результате применения механически заученных формулировок без понимания сущности теоретических положений.

2.8. Консультации

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении практических задач возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений или указаний. В своих вопросах надо четко выразить, в чем испытываете затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

2.9. Подготовка к экзаменам, зачетам и др.

Подготовка к экзамену (зачету) способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, умений и навыков, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. В процессе подготовки ликвидируются имеющиеся пробелы в знаниях, углубляются, систематизируются и упорядочиваются знания, закрепляются умения и навыки. На экзамене/зачете демонстрируются знания, умения и навыки, приобретенные в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия – ряд экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами устанавливается временной интервал, которого достаточно лишь для восстановления в памяти и структурирования материала, систематизации уже имеющихся знаний. Перед экзаменом (зачетом), как правило, проводится консультация по предмету, подлежащему сда-

че. На консультации перед экзаменом (зачетом) преподаватель знакомит обучающихся с основными требованиями, отвечает на возникшие вопросы.

Следует помнить, что при подготовке к экзамену (зачету) вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Помните! Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для структурирования знаний.

3. Методические рекомендации по подготовке к лекциям, к практическим, семинарским, лабораторным занятиям

Методические рекомендации по подготовке к лекциям

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала. Конспект – сжатое, емкое смысловое содержание лекции, включающее основные ее аспекты, дополнительные пояснения лектора и пометки самого автора конспекта, то есть студента. Конспект – это запись смысла, сути учебной информации. Наиболее приемлемо в условиях лекционного занятия тезисное конспектирование – кратко сформулированные основные мысли, положения изучаемого материала, выражающие суть услышанного. Также рекомендована запись информации в виде схем, таблиц. Записывая лекцию, используйте общепринятую и собственную систему сокращений.

Рекомендуется оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Работая над текстом конспекта лекции после занятия, поля можно использовать для уточнения и иллюстрации лекционных записей, изучая литературу, рекомендованную преподавателем и предусмотренную учебной программой.

Обучающийся сам может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании научных работ.

Подготовка к практическим и семинарским занятиям

Семинарские занятия проводятся главным образом по общественным наукам и другим дисциплинам, требующим научно-теоретического обобщения литературных источников, и помогают студентам глубже усвоить учебный материал, приобрести навыки творческой работы над документами и первоисточниками. Семинарские занятия, как правило, проходят в виде творческого обсуждения, дискуссий, поэтому предварительно планы семинарских занятий, их тематика, рекомендуемая литература сообщаются преподавателем на вводных занятиях или в методических указаниях по данной дисциплине. Подготовка к семинарскому занятию включает организационный этап и далее закрепление и углубление теоретических знаний. На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает: уяснение задания на самостоятельную работу; подбор рекомендованной литературы; составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки. Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе. Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоре-

тических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобратся в иллюстративном материале. Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.

Подготовка к лабораторным занятиям

Усвоить такие дисциплины в вузе, как, например, физику, химию, информатику и некоторые другие, где изучаются важнейшие законы естествознания, раскрывается сущность физических, химических и других явлений, невозможно, изучая только теорию этих наук. Нужно пронаблюдать многие явления экспериментально, а для этого необходимо владеть экспериментом, проводить его. Такие навыки приобретаются на лабораторных занятиях, практикумах и требуют дополнительной внеаудиторной подготовки к ним.

Подготовка к лабораторным занятиям и практикумам носит различный характер, как по содержанию, так и по сложности исполнения. Проведение прямых и косвенных измерений предполагает детальное знание измерительных приборов, их возможностей, умение вносить своевременные поправки для получения более точных результатов.

Многие лабораторные занятия требуют большой исследовательской работы, изучения дополнительной научной литературы. Прежде чем приступить к выполнению такой работы, студенту необходимо ознакомиться обстоятельно с содержанием задания, уяснить его, оценить с точки зрения восприятия и запоминания все составляющие его компоненты. Это очень важно, так как при проработке соответствующего материала по конспекту лекции или по рекомендованной литературе могут встретиться определения, факты, пояснения, которые не относятся непосредственно к заданию. Студент должен хорошо знать и понимать содержание задания, чтобы быстро оценить и отобрать нужное из читаемого. Далее, в соответствии со списком рекомендованной литературы, необходимо отыскать материал к данному заданию по всем пособиям.

Перед началом работы студент должен ответить на контрольные вопросы преподавателя. При неудовлетворительных ответах студент не допускается к проведению лабораторной работы. Однако он должен оставаться в лаборатории и повторно готовиться к ответу на контрольные вопросы. При успешной повторной сдаче, если до конца занятия остается достаточное количество времени, преподаватель может допустить студента к выполнению работы, в противном случае студент выполняет работу в дополнительное время. Результаты эксперимента, графики и т.д. следует стремиться получить непосредственно при выполнении работы в лаборатории. Опыт необходимо проводить сознательно, т.е. знать цель работы, точность, с которой нужно вести измерения, представлять себе правильно ли протекает явление. Лабораторная работа считается выполненной только в том случае, когда отчет по ней принят. Чем скорее составлен отчет после проведения работы, тем меньше будет затрачено труда и времени на ее оформление.

Защита лабораторных работ должна происходить, как правило, в часы, отведенные на лабораторные занятия. Студент может быть допущен к следующей лабораторной работе только в том случае, если у него не защищено не более двух предыдущих работ.

4. Методические рекомендации по написанию письменных работ

4.1. Подготовка письменной работы, сбор материала

При подготовке письменной работы целесообразно придерживаться следующей схемы изучения вопросов:

– уяснение (осмысление), с учетом полученных знаний, избранной темы письменной работы;

- подбор (поиск) необходимой научной, справочной, учебной литературы, статистических и социологических сведений, законодательных и иных нормативных правовых актов, а также иных источников;
- анализ и систематизация собранных по теме работы материалов;
- подготовка плана написания работы;
- написание текста работы в объеме, определяемом видом работы;
- оформление работы в соответствии с предъявляемыми требованиями (оформление титульного листа, сносок, библиографии).

При сборе материалов для написания работы важно ориентироваться как на современные новейшие нормативные источники.

В ходе анализа и систематизации имеющихся по теме материалов намечается структура работы. Целесообразно план работы согласовать с научным руководителем, предложив для обсуждения несколько вариантов. В соответствии с согласованным планом осуществляется группировка материалов по главам, параграфам либо по пунктам и их систематизация, т.е. расположение в определенной логической последовательности. Рубрики или иные выделения в тексте должны акцентировать внимание на важных, узловых аспектах темы, выводах, рекомендациях, предложениях.

Написание работы осуществляется самостоятельно путем творческого изложения собранных научных материалов и нормативных источников. При использовании идей, выводов либо текстового материала (цитат) других авторов необходимо делать ссылку на соответствующее издание, где содержатся используемые идеи и материалы. Подготовленная работа требует повторного прочтения, критической оценки материала, с целью выявления наиболее слабых, отвлеченно-описательных, недостаточно аргументированных моментов, а также тех частей текста, содержание которых выходит за пределы темы письменной работы.

4.2. Методические указания к выполнению контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности обучающегося по овладению знаниями. К ее выполнению необходимо приступить после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед обучающимся при подготовке и написании контрольной работы:

- закрепление полученных ранее теоретических знаний;
- выработка навыков самостоятельной работы;
- выяснение подготовленности обучающегося к будущей практической работе.

Тема контрольной работы известна и проводится она по сравнительно недавно изученному материалу.

По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. Выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли.

Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

4.3. Методические рекомендации к эссе

Эссе представляет собой небольшую, свободного изложения творческую работу, выражающую мнение автора о сущности проблемы. Работа может иметь научный, философский,

историко-биографический, публицистический, литературно-критический или чисто беллетристический характер; образность, афористичность, разговорная интонация работы; отсутствие задачи на исчерпывающую трактовку предмета изложения.

Эссе может быть подготовлено в устной или письменной форме. В устной форме подготовленный материал излагается на семинарском занятии. Оцениваются как содержание и глубина анализа проблемы, так и стиль изложения материала: знание и свободное владение научными и нормативными источниками; умение выделить актуальные проблемы и общие закономерности; показ навыков сопоставления и логической увязки государственных решений, законодательных установлений и конкретных практических проблем их реализации, аргументированность, яркость, образность, грамотность подачи материала.

Тема эссе может быть выбрана обучающимся как из предлагаемого и рекомендованного кафедрой перечня тем, так и самостоятельно может быть предложена обучающимся, исходя из его желания и научного интереса. Новая тема либо освещение новых аспектов одной из предлагаемых кафедрой в обязательном порядке согласовывается с преподавателем, читающим курс.

4.4. Методические рекомендации к реферату

Реферат представляет собой обобщенное изложение идей, концепций, точек зрения, выявленных и изученных автором в ходе самостоятельного анализа рекомендованных и дополнительных научных источников, законодательных и иных нормативных правовых актов о предмете исследования, а также предложение на этой основе собственных (оригинальных) суждений, выводов и рекомендаций.

Обучающийся вправе избрать для реферата и иную тему в пределах программы учебной дисциплины. Важно при этом учитывать ее актуальность, научную разработанность, возможность нахождения необходимых источников для изучения темы реферата, имеющиеся у обучающегося начальные знания и личный интерес к выбору данной темы. В данном случае тема в обязательном порядке согласовывается с преподавателем, читающим курс.

После выбора темы реферата составляется перечень источников (монографий, научных статей, законодательных и иных нормативных правовых актов, справочной литературы, содержащей комментарии, статистические данные, результаты социологических исследований и т.п.).

Подготовка реферата предполагает хорошее знание обучающимся материала по избранной теме, а если проблема носит комплексный характер, то и по смежным темам, наличие определенного опыта умелой передачи его содержания в письменной форме, умение делать обобщения и логичные выводы.

В реферате желательно раскрыть содержание основных концепций, наиболее распространенных позиций ученых, а также высказать свое аргументированное мнение по важнейшим проблемам данной темы. Реферат должен носить творческий, поисковый характер, содержать элементы научного исследования.

Такой направленности письменной работы способствует план реферата. Его должны отличать внутреннее единство глав и параграфов, последовательность и логика изложения материала, смысловая завершенность рассматриваемых вопросов. Свидетельством высокой культуры письменной работы является правильное и грамотное оформление ее текста, непременно указание источников ссылок, авторов научных позиций и цитат, последовательное изложение списка использованной литературы.

Обычно реферат состоит из небольшого по объему введения, основной части (один – два параграфа), заключения и списка использованной литературы и нормативных правовых актов.

Введение (1–1,5 с.) предваряет основное исследование избранной темы реферата и служит раскрытию актуальности темы, показу цели и задач, поставленных автором при раскрытии темы реферата.

В основной части автор освещает основные понятия и положения, которые позволяют раскрыть сущность вопросов темы и вытекают из анализа теоретических источников (научной литературы, статей, концепций, точек зрения), документальных источников, материалов практической деятельности.

В заключении (1–2 с.) автор подводит итоги проведенного исследования вопросов темы в соответствии с поставленной целью и заявленными задачами реферата.

Титульный лист должен содержать в верхней части полное название вуза, немного ниже – название института/факультета и кафедры, затем указывается вид письменной работы (реферат) и полное название темы реферата. Название реферата размещается в центральной части или немного выше центральной горизонтальной линии титульного листа. Сведения о фамилии, имени, отчестве автора реферата, его принадлежности к определенному курсу, группе, форма обучения размещаются с правой стороны титульного листа ниже названия темы реферата. Завершается оформление титульного листа указанием в центре нижней строки места и года подготовки реферата.

4.5. Методические рекомендации к курсовой работе

Курсовая работа – это самостоятельное, выполненное под руководством преподавателя, содержательное исследование с элементами научной новизны либо имеющее характер творческого изучения, обобщения собранного материала, его анализа, выявления проблем и внесение аргументированных предложений по их разрешению.

Курсовая работа является теоретической компонентой анализа актуальных вопросов в современных условиях, с учетом знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, а также смежных дисциплин.

Одной из целей подготовки курсовой работы является оценка уровня овладения обучающимся теоретико-методологических основ, выявление степени подготовленности обучающегося к изложению концептуальных положений изучаемой дисциплины.

В процессе подготовки к написанию курсовой работы обучающемуся предстоит решить ряд конкретных задач:

- изучить по теме курсовой работы рекомендованную и дополнительную литературу, включая научные исследования, справочные издания, законодательные и иные нормативные правовые акты, зарубежные источники;
- самостоятельно проанализировать и оценить современные концептуальные взгляды по изучаемой проблеме, содержащихся в трудах отечественных и зарубежных исследователей;
- определить объект и предмет исследования, уточнить основные понятия и категории в сфере управления и экономики здравоохранения применительно к теме курсовой работы;
- обобщить полученные выводы, аргументировать и систематизировать выдвинутые автором курсовой работы предложения и рекомендации.

Курсовая работа выполняется в установленные кафедрой сроки. Совместно с научным руководителем обучающийся уточняет и определяет тему работы; круг вопросов, подлежащих изучению и освещению; план работы и ее структуру; при необходимости определяет также и форму прикладного исследования; сроки выполнения работы, в т.ч. по этапам; определяет перечень необходимых научных, справочных, законодательных и иных нормативных правовых источников.

Структура курсовой работы должна отвечать задаче наиболее полного раскрытия содержания избранной темы. Работа в общем случае должна содержать:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Во введении (1-4 стр.) обосновываются актуальность темы, степень научной разработанности проблемы, цель и задачи, которые необходимо решить для раскрытия темы работы, теоретико-методологическую базу исследования, объект и предмет исследования, эмпирическую базу и методы исследования, возможные гипотезы исследования.

Основная часть курсовой работы содержит, как правило, только главы (две-три) с их разбивкой на параграфы. Как правило, первая глава – теоретическая, вторая глава – научно-практическая.

Все части курсовой работы излагаются в определенной логической последовательности и взаимосвязи. В тексте можно размещать таблицы, схемы, диаграммы. В основной части автор исследует важнейшие понятия и категории, другие положения, которые позволяют раскрыть сущность вопросов темы и вытекают из анализа теоретических источников (научной литературы, статей, концепций, точек зрения), документальных источников, материалов практической деятельности органов местного самоуправления.

В заключении (1-3 стр.) автор подводит итоги проведенного исследования вопросов темы в соответствии с поставленной целью и заявленными задачами курсовой работы, обобщает выводы и предложения.

В курсовой работе используется сплошная нумерация страниц. Введение, каждая глава, заключение, а также список использованной литературы начинаются с новой страницы.

Титульный лист (нумерация страницы на нем не проставляется) должен содержать в верхней части полное название вуза, немного ниже – название института/факультета, и кафедры, затем указывается вид письменной работы и полное название темы курсовой работы. Название курсовой работы размещается в центральной части или немного выше центральной горизонтальной линии титульного листа. Сведения о фамилии, имени, отчестве автора курсовой работы, его принадлежности к определенному курсу, группе (указывается ее номер) размещаются с правой стороны титульного листа ниже названия темы курсовой работы. Завершается оформление титульного листа указанием в центре нижней строки места и года подготовки курсовой работы.

Каждый раздел (глава, параграф) курсовой работы начинается с названия.

Курсовая работа должна быть подписана обучающимся (подпись и дату выполнения работы следует ставить на последней странице списка использованной литературы).

Курсовая работа представляется на кафедру в одном экземпляре в соответствии с установленным руководителем сроком.

При защите курсовой работы определяется уровень теоретических знаний и практических навыков обучающегося, соответствие работы предъявляемым требованиям. В ходе защиты обучающийся кратко излагает содержание работы, дает исчерпывающие ответы на вопросы членов комиссии. Оценка выполненной обучающимся курсовой работы производится по итогам ее защиты и мнения членов комиссии (если она создавалась) о ее качественном уровне.

5. Методические рекомендации по практике (том числе НИР, НИД)

6.1. Общие положения

Практика имеет целью комплексное освоение обучающимися всех видов профессиональной деятельности – формирование профессиональных компетенций, а также приобретение необходимых умений и опыта практической работы.

Тип практики и способ проведения определяет образовательный стандарт направления подготовки/специальности.

Практика направлена на формирование у обучающегося общих и профессиональных компетенций, приобретение практического опыта и реализуется по каждому из видов профессиональной деятельности, предусмотренных образовательным стандартом.

Преддипломная практика является завершающим этапом подготовки и проводится после освоения обучающимися программы теоретического и практического обучения для овладения выпускником профессиональным опытом, проверки профессиональной готовности будущего специалиста к самостоятельной трудовой деятельности. В ходе преддипломной практики обучающийся приобретает опыт: самостоятельной работы по выбранной теме, работы в исследовательской группе над реальной задачей, работы с оборудованием и материалами; знакомится с используемыми методами исследований, производит сбор и анализ материалов, необходимых для выполнения выпускной квалификационной работы, преддипломная практика направлена на выполнения выпускной квалификационной работы.

Закрепление баз практики осуществляется КузГТУ на основе договоров социального партнерства с предприятиями и организациями, независимо от их организационно-правовых форм собственности.

6.2. Организация производственной практики

Сроки проведения практики устанавливаются с учетом теоретической подготовленности обучающихся, возможностей учебно-производственной базы предприятия и в соответствии с учебным планом, календарным учебным графиком, а их содержание – соответствующими программами.

Разработанные программы практик рассматриваются на заседании кафедры и утверждаются директором института/факультета в соответствии с образовательным стандартом, учебными планами, запросами и спецификой предприятия.

Программы практик должны предусматривать (примерно):

- содержание и сроки выполнения индивидуальных заданий обучающихся;
- перечень конкретных работ в соответствии с содержанием практики;
- порядок подготовки и сроки защиты обучающимися отчетов по практике.

Требования и содержание программы практики определяется в соответствии с требованиями к компетенциям, указанными в образовательном стандарте.

Практики могут проводиться в структурных подразделениях КузГТУ или на предприятиях, в учреждениях и организациях.

Производственная, в том числе преддипломная практики обучающихся проводятся, как правило, на предприятиях.

Договор с предприятием/организацией о практике (далее по тексту – договор) должен предусматривать:

- сроки проведения практики;
- обязательства предприятия, на базе которого проводится практика;
- обязательства КузГТУ по обеспечению методического руководства практикой.

Обучающиеся, заключившие договор с предприятиями на их трудоустройство, как правило, проходят практики в этих организациях.

При наличии вакантных должностей на предприятии обучающиеся могут зачисляться на них, если работа соответствует требованиям программы практики.

С момента зачисления обучающихся в качестве практикантов на рабочие места и на весь период практики на них распространяются правила охраны труда и правила внутреннего распорядка, действующие на предприятии, с которыми они должны быть ознакомлены в установленном на предприятии порядке.

Организация и руководство практикой обучающихся осуществляется:

- от КузГТУ – руководителем практики, назначаемым заведующим кафедрой/директором института/факультета из числа преподавателей;
- на предприятии – руководителем практики.

Руководители практики от КузГТУ (утверждаются приказом по КузГТУ):

- устанавливают связь с руководителями практики от предприятий и совместно с ними составляют рабочую программу проведения практики;
- разрабатывают тематику индивидуальных заданий; принимают участие в распределении обучающихся по рабочим местам или перемещении их по видам работ;
- несут ответственность совместно с руководителем практики от предприятий за соблюдение обучающимися правил техники безопасности;
- осуществляют контроль за организацией и прохождением производственной практики обучающихся на предприятиях, в учреждениях и организациях;
- контролируют своевременность проведения на предприятии инструктажа обучающихся по соблюдению правил техники безопасности;
- проводят консультации, оказывают методическую помощь обучающимся при выполнении ими индивидуальных заданий по практике и сборе материалов к выпускной квалификационной работе;
- рассматривают отчеты обучающихся по практике, обобщают и анализируют данные по итогам прохождения практики, готовят материалы для рассмотрения на заседании кафедры и представляют, как правило, письменный отчет о проведении практики вместе с замечаниями и предложениями по совершенствованию практической подготовки обучающихся.

Руководители практики на предприятии:

- знакомят обучающихся с организацией работ на конкретном рабочем месте, с оборудованием, техническими средствами, контрольно-измерительными приборами, экономикой производства, охраной труда, правилами внутреннего распорядка и т.д.;
- проводят обязательные инструктажи по охране труда и технике безопасности с оформлением установленной документации, в необходимых случаях проводят обучение обучающихся -практикантов безопасным методам работы;
- предоставляют обучающимся-практикантам возможность пользоваться имеющимся оборудованием, литературой, технической и другой документацией;
- обеспечивают и контролируют соблюдение обучающимися-практикантами правил внутреннего трудового распорядка, установленных на данном предприятии, в том числе времени начала и окончания работы;
- осуществляют постоянный контроль за производственной работой практикантов, помогают им правильно выполнять все задания на данном рабочем месте, консультируют по производственным вопросам, осуществляют учет их работы;
- оказывают помощь в подборе материалов для выпускной квалификационной работы;

- контролируют ведение обучающимися-практикантами дневников (если программа практики предусматривает дневник практики), составление ими отчетов о прохождении практики, составляют на них производственные характеристики, содержащие данные о выполнении программы практики и индивидуальных заданий, об отношении обучающихся к работе;

- могут налагать взыскания на практикантов, нарушающих правила внутреннего трудового распорядка, и сообщать об этом руководству КузГТУ.

Обучающийся при прохождении практики обязан:

- полностью выполнять задания, предусмотренные программой практики;
- подчиняться действующим на предприятии правилам внутреннего трудового распорядка;

- изучить и строго соблюдать правила охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии;

- нести ответственность за выполняемую работу и ее результаты наравне со штатными работниками;

- вести дневник практики, в котором в соответствии с индивидуальным заданием прохождения практики необходимо фиксировать рабочие задания и основные результаты выполнения этапов работы;

- при возникновении каких-либо препятствий или осложнений для нормального прохождения практики своевременно сообщать об этом руководителю практики или заведующему кафедрой;

- представить руководителю практики письменный отчет и сдать зачет (дифференцированный) по практике.

6.3. Подведение итогов практики

По окончании практики обучающийся-практикант составляет письменный отчет и сдает руководителю практики. Отчет о практике должен содержать сведения о конкретной выполненной обучающимся работе.

К отчету могут прилагаться графики, таблицы, схемы, заполненные формы (бланки) документов.

Практика завершается защитой отчета.

Оценка по практике или зачет приравнивается к оценкам (зачетам) по теоретическому обучению и учитывается при подведении итогов общей успеваемости обучающихся. обучающиеся, не выполнившие программу практики без уважительной причины или получившие отрицательную оценку, отчисляются из КузГТУ за академическую неуспеваемость.

Итоги практики обсуждаются на заседании кафедры с возможным участием представителей предприятия.

6.4. Оформление результатов производственной практики

Оформление отчёта по производственной практике

Объем отчета должен составлять не менее 10 страниц. Формат А4 (210×297 мм). Шрифт – Times New Roman. Для всех указанных шрифтов должен использоваться кегль № 14 (или 12 – для объемных по тексту работ или таблиц), кроме оформления обложки и титульного листа.

Текст документа должен быть распечатан на одной стороне стандартного листа белой бумаги через 1,5 интервала в одном из текстовых редакторов.

Рекомендуется следующий порядок размещения материала в Отчете о практике:

- Титульный лист;

- Содержание;
- Введение;
- Основная часть;
- Выводы;
- Список использованных источников;
- Приложения.

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ – это первая (заглавная) страница работы, на нем необходимо указать наименование типа и способа проведения практики, специальности/направления подготовки, сроков и места прохождения практики.

СОДЕРЖАНИЕ. Перечисление информационных блоков отчёта с указанием соответствующих страниц.

ВВЕДЕНИЕ. Перед началом практики руководитель выдаёт обучающемуся индивидуальное задание на практику, содержащее цели и задачи её прохождения. Именно они включаются в введение отчёта. Здесь же следует аргументировать актуальность темы исследования и указать, какие нормативно-правовые документы предприятия использованы при подготовке отчета. Объём введения не превышает 2-х страниц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. Оформляется согласно темам, предложенным в программе практики по специальностям колледжа. Содержит исследование деятельности предприятия и анализ полученных результатов.

В данном разделе обучающийся даёт подробный отчёт о выполнении ежедневных производственных заданий и описывает изученные и отработанные вопросы, предложенные в программе практики.

ВЫВОДЫ. Раздел отчёта, в котором обучающийся высказывает своё мнение о предприятии, об организации и эффективности практики в целом, социальной значимости своей будущей специальности. На основе изученного практического материала во время практики обучающемуся следует выявить как положительные, так и отрицательные стороны деятельности организации – базы практики, а также предложить мероприятия по устранению выявленных недостатков и дальнейшему совершенствованию работы организации. Формулировать их нужно кратко и чётко. В конце заключения ставится дата сдачи отчёта и подпись автора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ. Начинается с перечня нормативно-правовых документов. За ними располагаются методические и учебные пособия, периодические издания, Интернет-ресурсы. Все источники располагаются в алфавитном порядке, иностранные материалы следуют после русских.

ПРИЛОЖЕНИЯ – заключительный раздел Отчёта, содержащий образцы и копии документов, рисунки, таблицы, фотографии и т.д., по перечню приложений, указанному в программе практики.

К отчёту прилагаются:

- Характеристика (отзыв) от предприятия, заверенная подписью руководителя и печатью предприятия;
- Приказ с предприятия о принятии на практику обучающегося;
- Аттестационный лист с подписью руководителя и печатью предприятия.

По окончании практики руководитель практики от предприятия составляет на обучающегося характеристику. В характеристике необходимо указать – фамилию, инициалы обучающегося, место прохождения практики, время прохождения. Также в характеристике должны быть отражены:

- полнота и качество выполнения программы практики, отношение обучающегося к выполнению заданий, полученных в период практики, оценка результатов практики обучающегося;
- проявленные обучающимся профессиональные и личные качества;

– выводы о профессиональной пригодности обучающегося.

Целью оценки по практике является оценка:

- 1) профессиональных и общих компетенций;
- 2) практического опыта и умений.

Оценка по практике выставляется на основании данных аттестационного листа, в котором содержатся сведения об уровне освоения обучающимся профессиональных компетенций.

Формирование аттестационного листа осуществляют совместно руководитель практики от КузГТУ и от предприятия.

6. Требования к оформлению текстовой документации

6.1. Общие требования

Выполнение работы возможно в текстовых редакторах: MS Word, Open Office, Libreoffice.

Когда Вы начинаете работу, рекомендуется сразу задать требуемые параметры и не отступать от них.

Рекомендуемые параметры страницы:

Слева – 25 мм, справа, сверху, снизу – по 20 мм.

Нумерация страниц: сквозная, проставляется на всех листах, за исключением ниже перечисленных – в правом нижнем углу. Нумерация не ставится на:

- титульном листе;
- задании (при наличии).

В подсчете страниц данные листы участвуют, и счет страниц начинается с титульного листа.

6.2. Правила написания буквенных аббревиатур

В тексте работ, кроме общепринятых буквенных аббревиатур, могут быть использованы вводимые лично автором буквенные аббревиатуры, сокращенно обозначающие какие-либо понятия из соответствующих областей знания. При этом первое упоминание таких аббревиатур указывается в круглых скобках после полного наименования, в дальнейшем они употребляются в тексте без расшифровки.

6.3. Правила написания формул, символов

Формулы располагают отдельными строками в центре листа или внутри текстовых строк. В тексте рекомендуется помещать формулы короткие, простые, не имеющие самостоятельного значения и не пронумерованные. Наиболее важные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения, дифференцирования, интегрирования, располагают на отдельных строках. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, выделенных из текста, можно помещать на одной строке, а не одну под другой.

Нумеровать следует наиболее важные формулы, на которые имеются ссылки в работе. Порядковые номера формул обозначают арабскими цифрами в круглых скобках у правого края страницы. Нумерация формул должна быть сквозной для всего текста работы.

6.4. Правила оформления таблиц, рисунков, графиков

Таблицы и рисунки должны иметь названия и порядковую нумерацию (например, табл. 1, рис. 3). Нумерация таблиц и рисунков должна быть сквозной для всего текста работы.

Порядковый номер таблицы проставляется в правом верхнем углу над ее названием. В каждой таблице следует указывать единицы измерения показателей и при необходимости период времени, к которому относятся данные. Если единица измерения в таблице является общей для всех числовых табличных данных, то ее приводят в заголовке таблицы после названия.

Порядковый номер рисунка и его название проставляются под рисунком.

При построении графиков по осям координат вводятся соответствующие показатели, буквенные обозначения которых выносятся на концы координатных осей, фиксируемые стрелками. При необходимости вдоль координатных осей делаются поясняющие надписи.

6.5. Правила оформления библиографического списка

Библиографический список – составная часть библиографического аппарата, который содержит библиографическое описание использованных источников и помещается в конце научной работы. Библиографический список включает в себя источники, использованные при написании работы научные, учебные, периодические издания (статьи из журналов и газет), законодательные и инструктивные материалы, статистические сборники и другие отчетные и учетные документы, Интернет-сайты.

Порядок построения списка определяется автором работы и научным руководителем/преподавателем.

Библиографический список начинается с изложения перечня использованных при подготовке письменной работы законодательных и иных нормативных правовых актов, научных статей в журналах (фамилии авторов также излагаются в алфавитном порядке), авторефератов диссертаций, статей в газетах, иных средствах массовой информации.

Способы расположения материала в списке литературы могут быть следующие: алфавитный, хронологический, по видам изданий, по характеру содержания, по мере появления в тексте. При алфавитном способе фамилии авторов и заглавий произведений (если автор не указан) размещаются строго по алфавиту. В одном списке разные алфавиты не смешиваются, иностранные источники обычно размещают в конце перечня всех материалов.

Хронологический список (составленный по году издания) целесообразен в том случае, когда основная задача списка – отразить развитие научной идеи.

Ссылка на Интернет-сайты приводится с указанием содержания сайта.

Библиографический список размещается после текста работы и предшествует приложениям.

6.6. Правила оформления ссылок на использованные источники

При использовании в работе материалов, заимствованных из литературных источников, цитировании различных авторов необходимо делать соответствующие ссылки, а в конце работы помещать список использованной литературы. Не только цитаты, но и произвольное изложение заимствованных из литературы принципиальных положений включаются со ссылкой на источник.

При цитировании текста цитата приводится в кавычках, а после нее в квадратных скобках указывается ссылка на литературный источник по списку использованной литературы и номер страницы, на которой в этом источнике помещен цитируемый текст. Если делается ссылка на источник, но цитата из него не приводится, то достаточно в круглых скобках ука-

зять фамилию автора и год в соответствии со списком использованной литературы без приведения номеров страниц.

6.7. Правила оформления приложений

Приложение – заключительная часть работы, которая имеет дополнительное, обычно справочное значение, но является необходимой для более полного освещения темы. По содержанию приложения могут быть очень разнообразны: копии подлинных документов, выдержки из отчётных материалов, отдельные положения из инструкций и правил и т.д. По форме они могут представлять собой текст, таблицы, графики, карты.

В приложение не включается список использованной литературы, справочные комментарии и примечания, которые являются не приложениями к основному тексту, а элементами справочно-сопроводительного аппарата работы, помогающими пользоваться ее основным текстом.

Приложения оформляются как продолжение письменной работы на ее последних страницах. Приложения располагаются в порядке упоминания в тексте работы. Каждое новое приложение должно начинаться с новой страницы с указанием в правом верхнем углу слова «Приложение» и иметь тематический заголовок. При наличии в работе более одного приложения их следует пронумеровать. Нумерация страниц, на которых даются приложения, должна быть сквозной и продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

7. Методические рекомендации по формированию портфолио

В федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования (ФГОС ВО) предусмотрено п. 7.1.2 ... Электронная информационно-образовательная среда образовательной организации должна обеспечивать формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение работ обучающегося, рецензий и оценок на эти работы со стороны любых участников образовательного процесса».

Методические рекомендации предназначены для обучающихся и составлены в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования.

Методические рекомендации определяют технологию оценивания образовательных результатов обучающихся посредством технологии Портфолио, его виды, структуру и содержание, критерии и технологию оценивания.

Технология создания портфолио обучающегося

Введение федеральных государственных образовательных стандартов нового поколения стимулирует инновационную деятельность педагогических коллективов. Федеральный государственный образовательный стандарт, определяя облик специалиста, требует учитывать возможности и запросы каждой конкретной личности обучающегося наряду с необходимостью обеспечения уровня высшего образования.

Сущность современного образовательного процесса заключается не только в том, чтобы дать знания, умения и навыки обучающимся, развивать у них мышление, но и в том, чтобы обучать их формам, методам, средствам самостоятельного добывания знаний. Формирование у обучающихся умений самостоятельно пополнять знания, ориентироваться в стремительном потоке информации – одно из направлений совершенствования качества подготовки обучающихся.

Одной из оценочных технологий, основанных на использовании компетентностного подхода, стала активно внедряемая в практику высших образовательных учреждений технология портфолио.

Портфолио в современном понимании является способом фиксирования, накопления и оценки индивидуальных достижений обучающегося. Его применение позволяет решать задачи организации, планирования, осуществления и оценивания различных направлений деятельности будущего специалиста, реализуемой в рамках учебно-воспитательного процесса.

Портфолио позволяет учитывать результаты, достигнутые обучающимся в разнообразных видах деятельности – учебной, исследовательской, творческой, социальной, коммуникативной, самообразовательной и является важнейшим элементом практико-ориентированного подхода к профессиональному образованию.

Портфолио относится к разряду истинных, наиболее приближенных к реальному оцениванию индивидуализированных оценок, ориентированных не только на процесс оценивания, но и самооценивания.

Это замена пассивного типа обучения, в котором обучающемуся отводится роль слушающего, усваивающего, повторяющего и т.п., активным обучением, при котором обучающийся является активным творцом знаний, решений, информации и т.п. Преподаватель создаёт условия, определяющие мотив деятельности, формирует систему знаний на основе самоуправления процессом обучения, стимулирует активность обучающихся, обеспечивает дифференцированный подход в процессе обучения.

Основной целью создания портфолио является анализ и представление значимых результатов процессов профессионального и личностного становления будущего специалиста, обеспечение мониторинга культурно-образовательного роста обучающегося.

Технология портфолио является не только современной эффективной формой оценивания, но и помогает решать такие педагогические задачи, как:

- поддерживание и стимулирование учебной мотивации обучающихся;
- развитие навыков рефлексивной и оценочной деятельности обучающихся;
- формирование умения учиться – ставить цели, планировать и организовывать собственную деятельность обучающихся;
- закладывать дополнительные предпосылки и возможности для успешной специализации.

В то же время портфолио может и должно выступать не только в качестве механизма мониторинга прогресса обучающегося, но и одним из условий повышения его мотивации, образовательного и исследовательского рейтинга, формирования навыков рефлексии и проектирования, освоения навыков самопрезентации, подготовки к прохождению различных собеседований, написанию автобиографии и профессионального резюме, т. е. всего того, что изначально формирует основы адаптации и социализации обучающихся.

Технология по созданию портфолио реализует следующие принципы:

- равенство всех участников обучения: преподаватель и обучающийся становятся партнерами в организации учебного процесса с приоритетом самостоятельного обучения при направляющей функции преподавателя;
- ненасильственное привлечение к процессу познания, поиску знаний с помощью создания личностной мотивации;
- отсутствие оценки, соревнования, соперничества; вместо этого в качестве стимулов – самооценка, самокоррекция, самовоспитание;
- сочетание индивидуальной и коллективной работы для создания атмосферы сотрудничества, взаимопонимания, что способствует повышению уровня коммуникативной культуры, дает реальное понятие о диалогическом способе восхождения к истине;
- возможность выбора материала, вида деятельности, способа предъявления результата;
- важность не столько результата творческого поиска, сколько его процесса, в котором реализуются законы проблемного обучения на основе инновационной методики.

Работа с портфолио помогает обучающемуся критически оценить результаты своей учебно-профессиональной деятельности. Портфолио позволяет фиксировать изменения и рост обучающегося за определенный период времени, а также обеспечивать непрерывность процесса обучения от года к году. Кроме этого, портфолио можно рассматривать в качестве модели индивидуального образовательного маршрута обучающегося.

В процессе работы над созданием портфолио у обучающегося формируются, совершенствуются и закрепляются:

- общеучебные умения (систематизация, обобщение, сравнение, классификация и др.),
- прогностические и проектировочные умения (выбор и формулирование целей, определение последовательности и результатов деятельности, планирование, выбор способов деятельности и др.),
- организационные (умение вести деловые записи, находить необходимые данные, использовать различные способы работы с информацией и её источниками и т.п.) и др.

Помимо накопительной функции, портфолио выполняет модельную функцию:

- отражает динамику развития обучающегося, результатов его самореализации;
- демонстрирует стиль учения, свойственный обучающемуся, показывает особенности его общей культуры и отдельных сторон интеллекта;
- помогает проводить рефлексию собственной учебной работы;
- служит формой обсуждения и самооценки результатов работы на зачете, экзамене;
- помогает самостоятельно установить связи между усвоенными ранее и новыми знаниями.

С тем чтобы наиболее эффективно способствовать развитию профессиональных навыков обучающихся, необходимо тщательно подбирать критерии оценки портфолио, и представить эти критерии обучающимся еще до начала их работы над своим портфолио. Технология портфолио предпочтительна потому, что она обеспечивает высокий уровень документированности процесса обучения и развития. Портфолио позволяет проводить оценку всего учебного процесса от самого начала, поскольку оно пополняется периодически в течение всего обучения.

Материал портфолио собирается в течение всего периода обучения. Каждый элемент портфолио желательно датировать, чтобы можно было проследить динамику роста обучающегося.

Преимущества технологии портфолио:

- позволяет преподавателю индивидуально подходить к каждому обучающемуся; каждый обучающийся обладает своими уникальными способностями, потребностями и сильными сторонами;
- предоставляет основу для последующего анализа и планирования. Учитывая особенности отдельного обучающегося, можно выделить его сильные и слабые стороны, а также обнаружить препятствия к личному успеху;
- позволяет самим обучающимся стать активными участниками процесса оценки; они могут честно представить себе свои текущие знания, и определить цели, которых они хотят достигнуть в дальнейшем обучении;
- расширяет возможности методов оценки, позволяя оценить более сложные и важные аспекты обучения.

В образовательном процессе используются следующие типы портфолио:

«Портфолио документов» – портфель документированных индивидуальных достижений. Здесь предполагается возможность как качественной, так и количественной оценки материалов портфолио. Документы или их копии должны быть помещены в портфолио.

Портфолио этого типа дает представление о результатах, показывает процесс индивидуального развития профессиональной творческой деятельности обучающегося.

Содержание портфолио документов: дипломы, грамоты, свидетельства, сертификаты, удостоверения.

«Портфолио работ» представляет собой собрание различных творческих и проектных работ обучающихся, а также описание основных форм и направлений его учебной активности: участие в научных конференциях, прохождение курсов, различного рода практик, спортивных и общественных достижений и др.

Портфолио этого типа дает представление об учебной активности обучающегося, направленности его интересов.

Обучающиеся – индивидуально или совместно с творческим руководителем – отбирают содержимое, обсуждают критерии отбора, критерии оценки достижений, а также способы подтверждения своих достижений своими работами. Обучающимся такой подход придает ощущение авторства и собственной значимости. Также он позволяет представить к рассмотрению заинтересованных лиц (работодателей) учебные и творческие достижения обучающихся.

Информация и представляемые материалы должны быть связаны с заданиями в рамках учебной программы, а также удовлетворять целям профессионального развития и критериям, соответствующим профессиональным компетенциям.

Данные собираются многократно, в разные моменты времени. Портфолио отвечает интересам обучающегося. На его основе они составляют резюме, которое помогает им достойно представить себя работодателю во время приема на работу.

Портфолио можно составлять как в электронном виде, так и на бумажных носителях.

Структура электронного портфолио:

1. Фамилия, имя, отчество.
2. ХОРОШЕЕ фото (цифровой формат, расширение «.jpg», разрешение не менее 300 dpi и размер не более 300 Кб). **Фото прикрепить отдельным документом!**
3. Личные данные:
 - дата рождения, место рождения
 - электронный адрес*
 - номер сотового телефона (актуальный)*
4. Образование
 - школа и др.
 - училище / колледж / техникум
 - высшее учебное заведение
5. Обучение
 - год поступления:
 - специальность/направление:
 - специализация/профиль:
 - форма обучения:
 - выпускающая кафедра:
 - руководитель (ученая степень, ученое звание, почетное звание, должность, ФИО)
6. Опыт работы
 - учреждения, в которых работал обучающийся, должность (при условии, что опыт работы имеется);
 - учреждения, в которых проходил практику обучающийся, должность (при условии, что практика имеется).
7. Информация об индивидуальных достижениях
 - дипломы, сертификаты;

- удостоверения;
- свидетельства;
- стипендиат и т.п.

К информации необходимо приложить **отдельными файлами** цветные сканы дипломов, грамот, сертификатов и т.п. Требования – как к фотографии, размер – не более 500 Кб.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

И.В. Дворовенко

И.И. Дворовенко

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК
НА ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД ЦИКЛА**

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Теплотехника»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики;
Богомолов А.Р. – д.т.н., председатель учебно-методической комиссии направления подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Дворовенко Игорь Викторович

Дворовенко Инна Ивановна

Влияние характеристик теоретических циклов газотурбинных установок на термический КПД цикла [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения / И.В. Дворовенко, И.И. Дворовенко; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания к выполнению лабораторной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника» и предназначены для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

© КузГТУ, 2016

© Дворовенко И.В.,

Дворовенко И.И., 2016

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является изучение циклов газотурбинных установок (ГТУ).

В ходе работы студенты выбирают исследуемый цикл, задают значения характеристик цикла, начальные температуру и давление. Задачей исследования является изучение влияния характеристик циклов ГТУ на термический КПД цикла.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Циклы ГТУ являются прямыми термодинамическими циклами, в которых полезная работа совершается за счет расширения продуктов сгорания в турбине. Газовые турбины широко используются в авиационных двигателях, в последнее время газовые турбины находят применение в стационарных газовых и парогазовых установках.

Термодинамика изучает обратимые циклы, в которых в качестве рабочего тела принимают идеальный газ с постоянной теплоемкостью, имеющий свойства воздуха. Изобарная теплоемкость в циклах равна $1000 \text{ Дж}/(\text{кг}\times\text{К})$, показатель адиабаты – 1,4.

В газотурбинных установках процесс подвода теплоты осуществляют в изобарном или изохорном процессе, отвод теплоты – в изобарном, а сжатие и расширение газа – в адиабатных.

Циклы ГТУ подразделяют на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении или цикл Брайтона и при постоянном объеме. Диаграммы циклов в $p\nu$ - и Ts -координатах представлены на рис. 1 и 2.

Термический КПД любого цикла определяют по уравнению:

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

где q_1 – количество теплоты, подведенной в цикле к рабочему телу, кДж/кг; q_2 – количество отведенной от рабочего тела теплоты, кДж/кг.

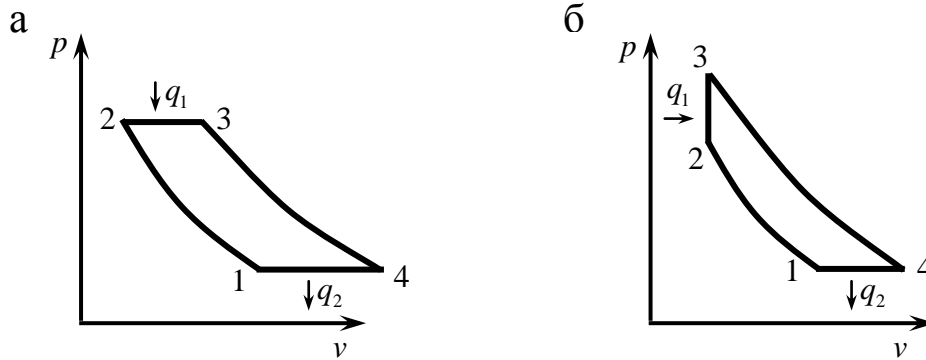


Рис. 1. Термодинамические циклы газотурбинных установок в $p\nu$ -координатах: а – цикл с подводом теплоты при $p=const$, б – цикл с подводом теплоты при $\nu=const$

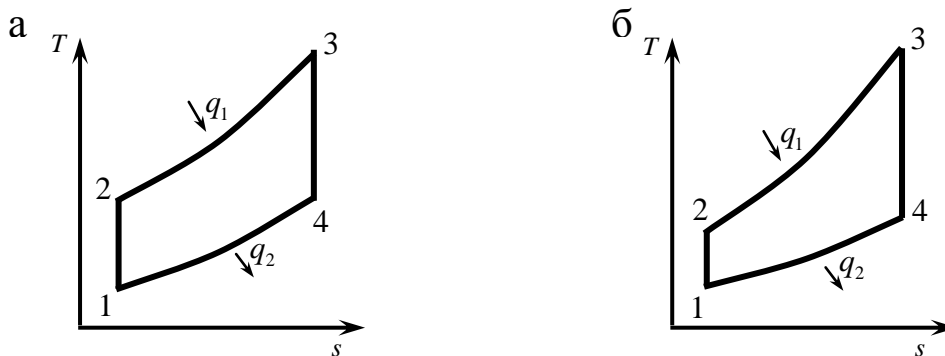


Рис. 2. Термодинамические циклы газотурбинных установок в Ts -координатах: а – цикл с подводом теплоты при $p=const$, б – цикл с подводом теплоты при $\nu=const$

2.1. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при $p=const$

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень изобарного расширения:

$$\rho = \frac{\nu_3}{\nu_2},$$

где ν_2 , ν_3 – удельный объем газа в характерных точках цикла

(рис. 1, а), м³/кг; p_1, p_2 – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

В изобарном процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) = c_p \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1(\rho - 1),$$

в изобарном процессе будет отведена теплота:

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = c_p T_1(\rho - 1),$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 – температуры в характерных точках цикла (рис. 1, б), К; c_p – изобарная теплоемкость, кДж/(кг×К); k – показатель адиабаты.

Термический КПД цикла равен

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}.$$

2.2. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при $v=const$

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень добавочного повышения давления:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}.$$

В изохорном процессе к рабочему телу будет подведена теплота:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) = c_v \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1(\lambda - 1),$$

в изобарном процессе будет отведена теплота:

$$q_2 = c_p(T_4 - T_1) = k c_v T_1(\lambda^{1/k} - 1),$$

где c_v – изохорная теплоемкость, кДж/(кг×К).

Термический КПД цикла равен

$$\eta_T = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{\beta^{\frac{k-1}{k}}(\lambda - 1)}.$$

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Основными элементами установки (рис. 3) являются: pV -диаграмма 1, Ts -диаграмма 2, списки циклов 4, начальных температур 6, начальных давлений 7, степеней сжатия 8, степеней повышения давления 9, степеней предварительного расширения 10, кнопки расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла 13, вывода данных о цикле в таблицу Excel 11, очистки окон диаграмм и сведений о графиках 12.

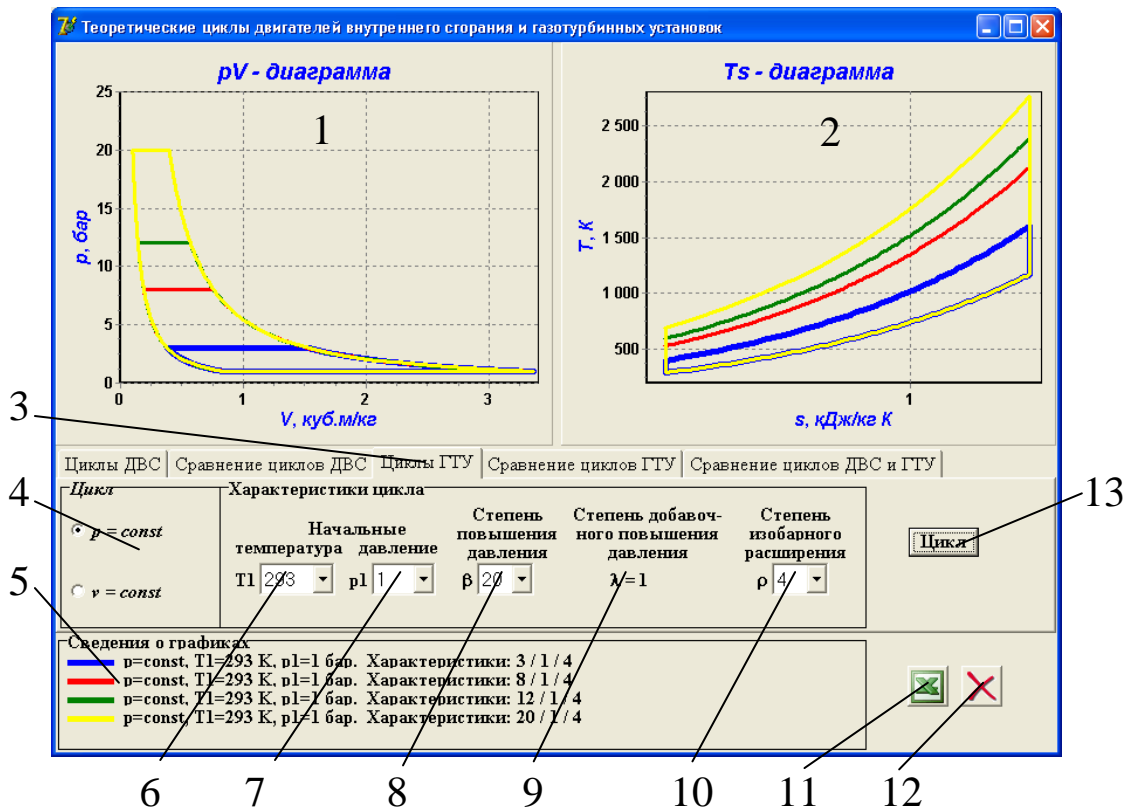


Рис. 3. Интерфейс программы:

1 – pV -диаграмма цикла, 2 – Ts -диаграмма цикла,
 3 – страница лабораторной работы, 4 – список циклов, 5 – окно вывода сведений о циклах, 6 – список начальных температур, 7 – список начальных давлений, 8 – список степеней повышения давления, 9 – список степеней добавочного повышения давления, 10 – список степеней изобарного расширения, 11 – кнопка вывода данных о цикле в таблицу Excel, 12 – кнопка очистки окон диаграмм и сведений о графиках, 13 – кнопка расчета параметров цикла и построения диаграмм цикла

При помощи списка 4 задают исследуемый цикл, в списках 6 и 7 устанавливают начальные температуру и давление. В зависимости от задачи исследования устанавливают значения степеней сжатия, повышения давления и предварительного расширения при помощи списков 8-10. Для расчета цикла и вывода диаграмм цикла используют кнопку 13. При помощи кнопки 11 можно вывести сведения о последнем рассчитанном цикле в таблицу Excel. Для удаления графиков циклов нужно нажать кнопку 12.

В окнах диаграмм 1 и 2 выводится одновременно не более 5 графиков, если выводится еще один график, то последний из выведенных будет заменен.

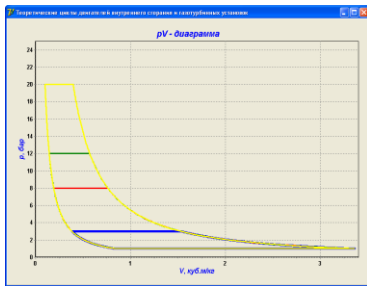


Рис. 4. Вывод диаграммы в размер окна программы

Для более подробного ознакомления с диаграммами циклов их размер можно увеличить до размера окна программы (рис. 4), щелкнув мышкой в окне диаграммы. Для восстановления окна диаграммы нужно еще раз щелкнуть по диаграмме.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы студент должен знать теоретические положения исследуемого цикла, изучить устройство лабораторной установки, уметь задавать значения различных параметров и характеристик цикла.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Преподаватель ставит задачу исследования: указывает цикл и характеристики цикла, влияние которых нужно изучить.
2. Запускают приложение «Теоретические циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок», выбирают страницу «Циклы ГТУ».
3. Выбирают цикл.
4. Задают начальные параметры цикла: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик цикла, значения

которых не будут изменяться в ходе работы.

6. Задают значение характеристики, влияние которой на термический КПД цикла изучается.

7. Нажимают кнопку «Цикл».

8. Переносят сведения о цикле в таблицу Excel кнопкой 11.

9. Пункты 6–8 повторяют до выполнения задачи исследования.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Рассчитывают подводимую и отводимую теплоту.

2. Определяют термический КПД цикла.

3. Строят график зависимости термического КПД цикла от характеристики цикла.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляют на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

а) титульный лист установленной формы;

б) краткое изложение теоретических положений;

в) принципиальную схему установки;

г) таблицы «Журнал наблюдений и результаты расчетов»;

д) графики зависимостей;

е) анализ результатов работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель работы.

2. Принципы работы ГТУ.

3. Достоинства и недостатки ГТУ.

4. Области применения.

5. Почему в настоящее время не реализуются циклы с подводом теплоты при $v = const$.

6. Основные характеристики термодинамических циклов ГТУ.

7. Что означает степень повышения давления?

8. Как определить максимальные значения температуры и давления в цикле?
9. Выведите формулу для расчета термического КПД цикла.
10. Способы утилизации теплоты уходящих из ГТУ газов.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1979. – 512 с.

2. Техническая термодинамика: учеб. для студентов вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; под ред. В.И. Крутова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.

3. Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Энергообеспечение предприятий". – М.: Абрис, 2012. – 318 с. Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117652/>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

| № п/п | Степень повышения давления β | Степень добавочного повышения давления λ | Степень изобарного расширения ρ | Параметры в характерных точках цикла | | | | | | | | | | | | Подведенная теплота q_1 , кДж/кг | Отведенная теплота q_2 , кДж/кг | Термический КПД цикла η_t , % |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------------|-----------|-------------|----------------------------|-----------|-------------|----------------------------|-----------|-------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | | | T_1 , К | p_1 , бар | v_1 , м ³ /кг | T_2 , К | p_2 , бар | v_2 , м ³ /кг | T_3 , К | p_3 , бар | v_3 , м ³ /кг | T_4 , К | p_4 , бар | v_4 , м ³ /кг | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составители
А. С. Березин
А. Г. Кульпин
Е. Е. Кульпина

**ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ
КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

**Методические указания к лабораторной работе
для бакалавров очной формы обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов», в качестве электронного
издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Цыганков Д. В. – кандидат химических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей

Подгорный А. И. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Кульпин Александр Геннадьевич

Кульпина Евдокия Евгеньевна

Гидромеханическая трансмиссия карьерных автосамосвалов [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы конструкции и расчет карьерного транспорта» для бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной формы обучения / сост. : А. Г. Кульпин, Е. Е. Кульпина. – Кемерово : КузГТУ, 2016. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 256 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены методика расчета и примерные оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации.

© КузГТУ, 2016

© Березин А. С., Кульпин А. Г.,
Кульпина Е. Е., составление, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ..... | 3 |
| 2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ..... | 3 |
| 2.1. Согласующая передача | 5 |
| 2.2. Гидротрансформатор | 7 |
| 2.3. Коробка передач | 11 |
| 2.4. Тормоз-замедлитель..... | 17 |
| 2.5. Гидравлическая система..... | 19 |
| 2.6. Преимущества эксплуатации гидромеханической трансмиссии | 20 |
| 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ..... | 22 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 23 |

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепление знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Основы конструкции и расчета карьерного транспорта».

2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ

Гидромеханической трансмиссией оборудуют автосамосвалы грузоподъемностью от 15 до 90 т. Основным элементом гидромеханической трансмиссии – гидротрансформатор, служащий для автоматического и бесступенчатого изменения крутящего момента, передаваемого от дизеля на ведущие колеса.

Общий вид гидромеханической передачи показан на рис. 1.

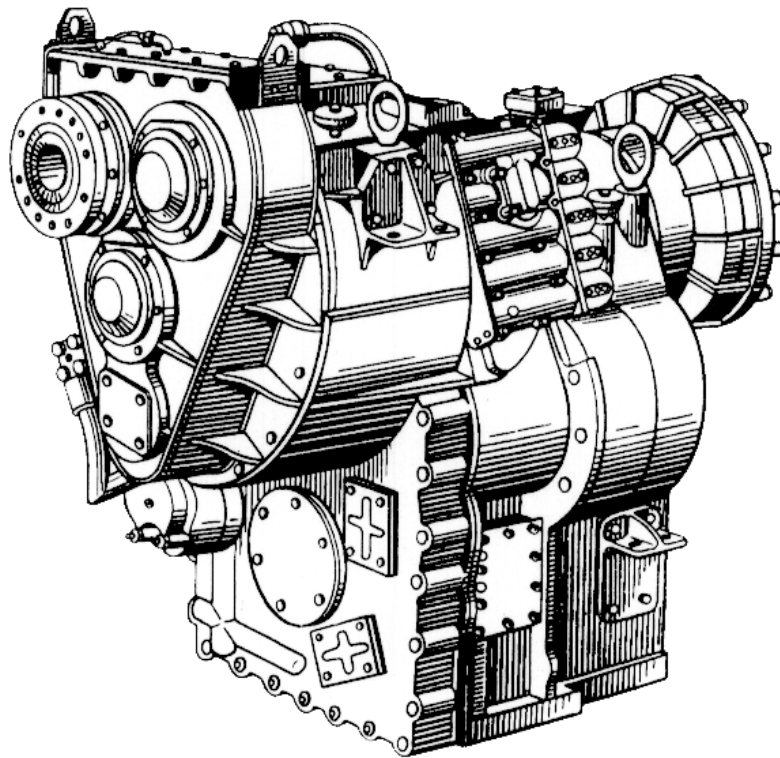


Рисунок 1 – Гидромеханическая передача. Общий вид

Гидромеханическая передача служит для изменения тягового усилия на ведущих колесах самосвала в зависимости от дорожных условий, для облегчения управления транспортным средством и обеспечения безопасности движения, для движения

задним ходом, отсоединения двигателя от трансмиссии при его пуске и работе двигателя при остановке самосвала, а также обеспечения работы гидросистем самосвала (рис. 2).

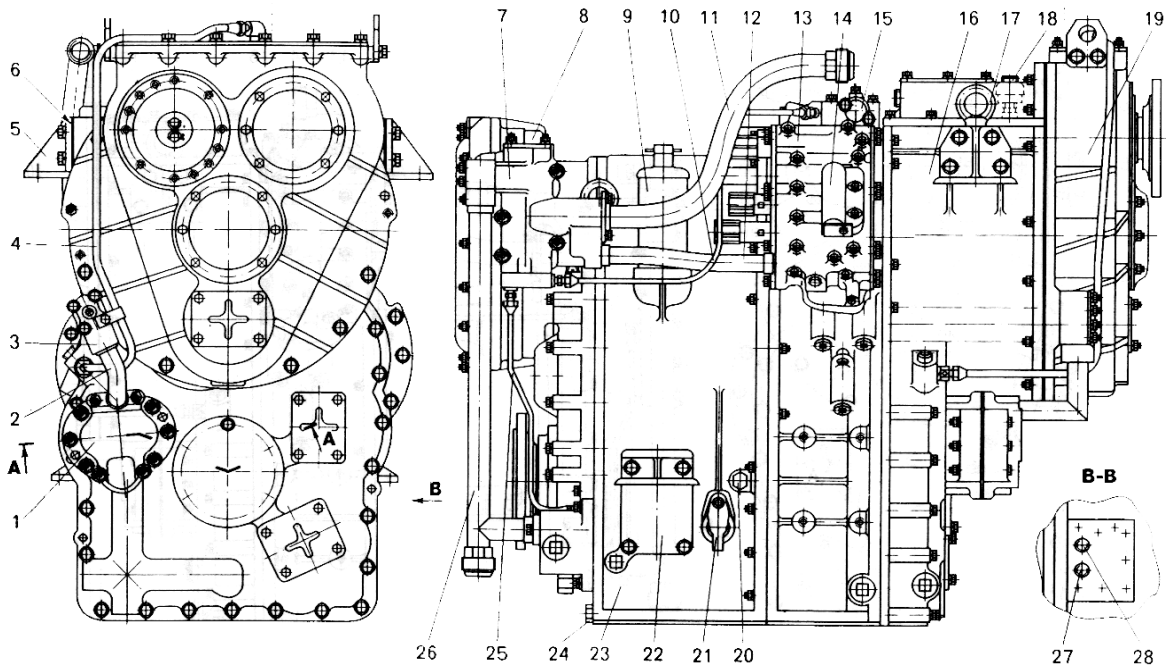


Рисунок 2 – Гидромеханическая передача: 1 – масляный насос; 2 – нагнетательная труба; 3 – фланец нагнетательной трубы; 4 – трубка подвода смазки к согласующей передаче; 5, 22 – кронштейны; 6 – регулировочные прокладки; 7 – механизм управления тормозом замедлителем; 8 – тормоз-замедлитель; 9 – фильтр тонкой очистки масла; 10 – трубка управления тормозом замедлителем; замедлителю; 13 – золотниковая коробка; 14 – корректирующий клапан; 15 – механизм привода управления тормозом замедлителем; 16 – гидротрансформатор; 17 – грузовой болт; 18 – пробка наливного отверстия; 19 – согласующая передача; 20 – пробка контрольного отверстия; 21 – смотровое окно (закрыто крышкой); 23 – коробка передач; 24 – пробка сливного отверстия; 25 – труба управления подпорным клапаном; 26 – маслопровод от теплообменника двигателя; 27 – место установки гидравлического датчика, предотвращающего случайное переключение ступеней с изменением направления движения; 28 – место под датчик масла в гидролинии смазки

Гидромеханическая передача представляет собой единый агрегат, состоящий из согласующей передачи, гидротрансформатора, четырехвальной коробки передач с фрикционными муфтами, гидродинамического тормоза-замедлителя и узлов гидравлической системы. Все агрегаты ее смонтированы в общем разъемном корпусе, состоящем из картеров (корпусов) этих агрегатов.

Для охлаждения масла гидромеханическая передача оборудована внешним контуром, состоящим из масляного радиатора или теплообменника и подводящего и отводящего трубопроводов.

Управление гидромеханической передачей осуществляется пультом, с помощью которого выбирается режим работы.

Переключение ступеней осуществляется блокировкой шестерен с валами многодисковыми фрикционными муфтами.

Гидромеханическая передача установлена на раме на опорах с резиновыми амортизаторами. Положение передачи, относительно двигателя, регулируется прокладками.

Крутящий момент от двигателя к гидромеханической передаче передается через карданную передачу.

2.1. Согласующая передача

Согласующая передача (рис. 3) служит для согласования характеристик двигателя гидротрансформатора, а также для привода насоса опрокидывающего механизма платформы. Она представляет собой редуктор, картер которого крепится к картеру гидротрансформатора при помощи шпилек.

Ведущий вал 17 установлен на подшипниках и соединен с карданным валом гидротрансмиссии через присоединительный фланец 9, который установлен на валу на шлицах.

Крутящий момент от ведущего вала передается ведущей шестерне, которая через промежуточную шестерню 19 передает его ведомой шестерне и ведомому валу.

Ведомый вал согласующей передачи жестко соединен с ведущим валом гидротрансформатора.

Каждый вал установлен на двух подшипниках, опорой которых являются стаканы 7 и 12, запрессованные в картер и зафиксированные штифтами.

В согласующей передаче шестерни силового ряда косозубые, а все подшипники этого ряда ролике вые конические.

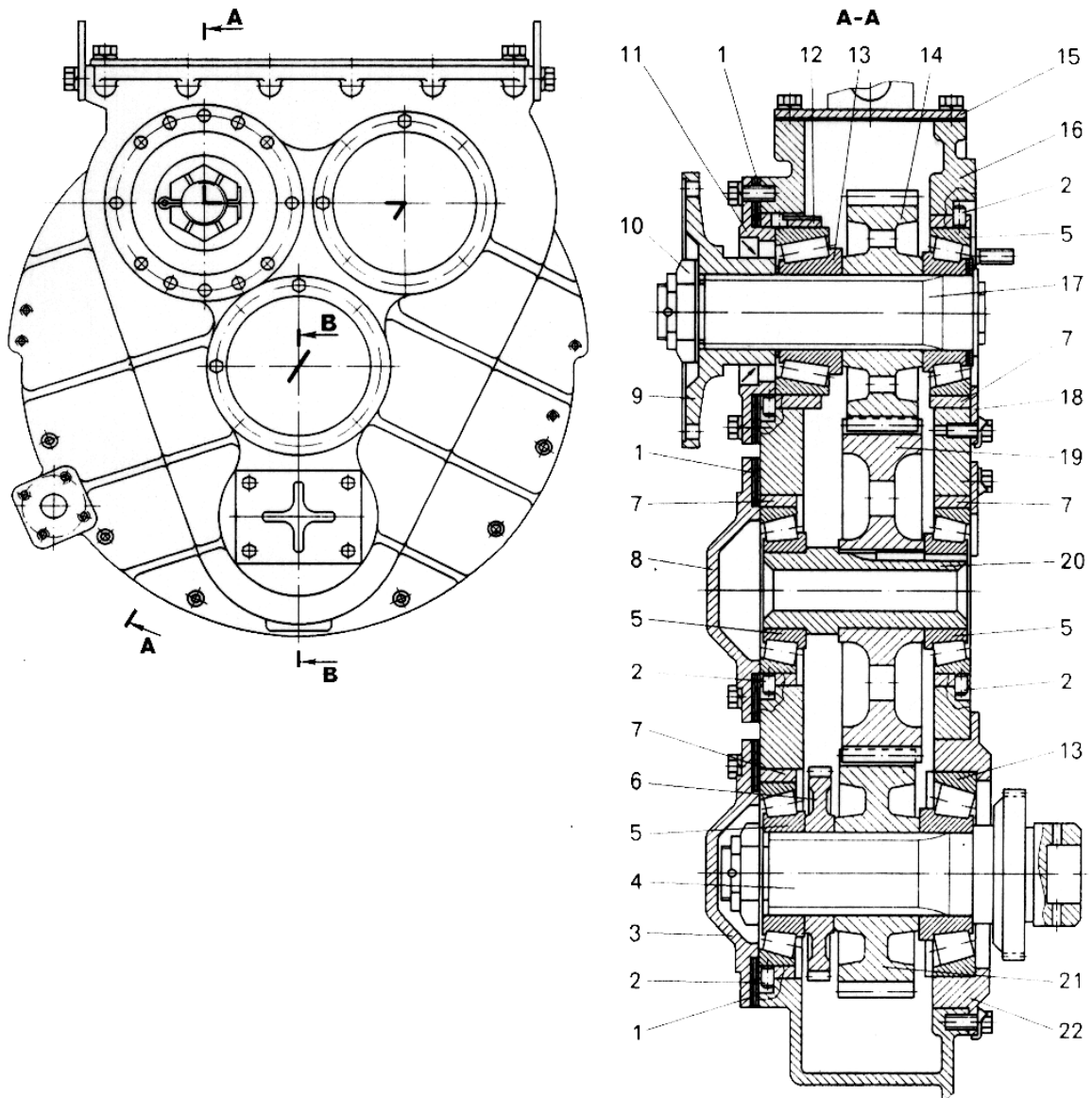


Рисунок 3 – Согласующая передача: 1 – регулировочные прокладки, (разной толщины); 2 – штифты фиксаторы стаканов подшипников; 3 – крышка ведомого вала; 4 – ведомый (вторичный) вал; 5, 13 – роликовые радиально упорные подшипники; 6 – ведущая шестерня привода насоса; 7, 12 – стаканы подшипников; 8 – крышка промежуточного вала; 9 – фланец крепления карданного вала; 10 – прорезная гайка; 11 – крышка ведущего вала; 14 – ведущая шестерня; 15 – крышка картера; 16 – картер; 17 – ведущий (первичный) вал; 18 – прижимная пластина; 19 – промежуточная шестерня; 20 – промежуточный вал; 21 – ведомая шестерня; 22 – стакан

Между крышками валов и картером имеются регулировочные прокладки 1 (разной толщины) для обеспечения определенного (конструктивного) осевого зазора в подшипниках.

В согласующей передаче самосвалов БелАЗ-7548А, 75481, 75483 установлен дополнительный насос 12 опрокидывающего механизма платформы. Для его привода на ведомом валу 3 и валу привода насоса установлена дополнительная пара шестерен 1, 7.

Смазка шестерен согласующей передачи осуществляется из гидролинии питания гидротрансформатора передач. Масло подводится по трубке и через отверстие в верхней крышке стекает на промежуточную шестерню, разбрызгивается и смазывает все остальные детали.

2.2. Гидротрансформатор

Гидротрансформатор – это гидродинамическая передача, которая передает механическую энергию через циркулирующий поток жидкости и автоматически бесступенчато изменяет в определенных пределах передаваемый крутящий момент в зависимости от внешней нагрузки.

Гидротрансформатор способствует снижению динамических нагрузок в трансмиссии, обеспечивает устойчивую работу двигателя при изменении нагрузки на самосвал и позволяет получать малые скорости движения с увеличенным тяговым усилием на ведущих колесах. В гидромеханической передаче применен комплексный, одноступенчатый, блокируемый, четырехколесный гидротрансформатор. При больших нагрузках он увеличивает крутящий момент, передаваемый от двигателя, а при малых нагрузках передает его без изменения, т.е. работает в режиме гидромукты.

Гидротрансформатор (рис. 4) состоит из колеса насоса 15, колеса турбины 12 и двух реакторов 13 и 14, установленных на роликовых муфтах свободного хода. Колеса насоса, турбины и реакторов образуют торцовую полость, в которой при работе гидромеханической передачи постоянно циркулирует рабочая жидкость.

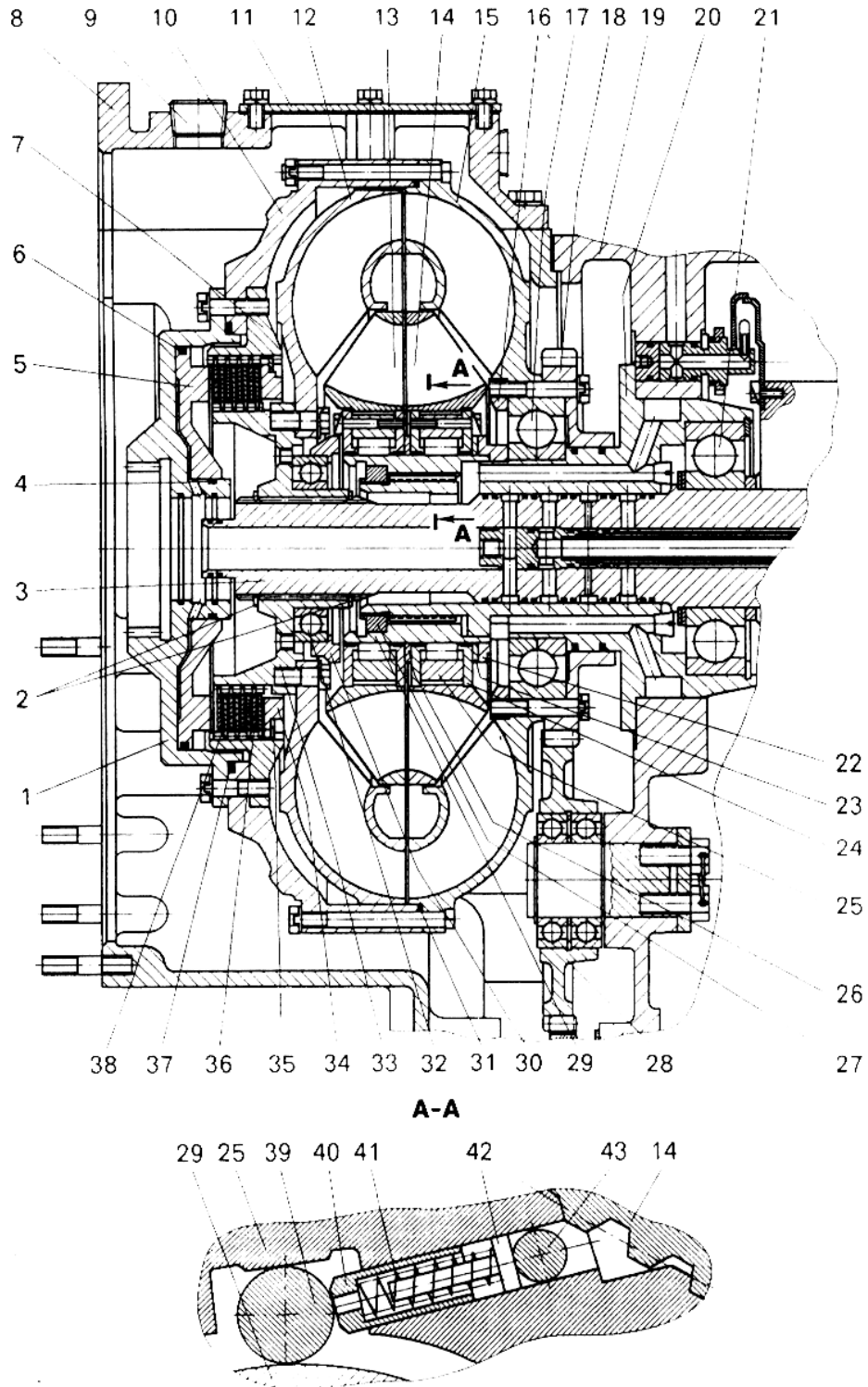


Рисунок 4 – Гидротрансформатор

На рисунке 4: 1 – барабан фрикционной муфты блокировки; 2 – стопорные кольца; 3 – ведущий вал гидромеханической передачи; 4, 6, 31, 37 – уплотнительные кольца; 5 – поршень фрикционной муфты; 7 – ступица фрикционной муфты; 8 – картер;

9 – пробка наливного отверстия; 10 – кожух; 11 – крышка верхнего люка; 12 – колесо турбины; 13 – колесо первого реактора; 14 – колесо второго реактора; 15 – колесо насоса; 16 – крышка подшипника; 17 – шарикоподшипник колеса насоса; 18 – ведущая, шестерня привода насосов; 19 – коробка передач; 20 – ступица гидротрансформатора; 21 – шарикоподшипник ведущего вала; 22 распорное кольцо; 23, 26 – плавающие шайбы; 24 – упорное кольцо (с буксой); 25 – обойма реактора; 27 – гайка крепления ступицы реакторов; 28 – промежуточная шестерня привода насосов; 29 – ступица реакторов; 30 – упорная ступица реакторов; 32 – радиально-упорный шариковый подшипник; 33 – ступица колеса турбины; 34 – упорный диск фрикционной, муфты; 35 – упорное кольцо; 36 – ведомый диск фрикционной муфты; 38 – ведущий диск фрикционной муфты; 39 – ролик; 40 – толкатель; 41 – пружина; 42 – стержень пружины; 43 – болт

Крутящий момент от двигателя передается к барабану фрикциона блокировки и через кожух гидротрансформатора к колесу насоса.

Колесо насоса с кожухом 10 установлено на двух опорах. Одной опорой является шарикоподшипник колеса насоса, второй – ведомый вал согласующей передачи

Колесо турбины крепится к ступице 33, установленной на ведущем валу 3 коробки передач.

Колесо первого реактора на всех самосвалах одинаково и имеет 29 лопаток. Колесо второго реактора самосвалов БелАЗ-7540А, 75404 имеет 25 лопаток, а самосвалов БелАЗ-7548А, 75481, 75483 – 23 лопатки.

Ступица гидротрансформатора 20 крепится к картеру и является распределителем масла, подаваемого для включения фрикционных муфт коробки передач и блокировки гидротрансформатора, а также в полость гидротрансформатора и в гидролинию смазки для смазывания дисков фрикционных муфт и подшипников. На ступице гидротрансформатора на шлицах установлена ступица реакторов 29, которая является неподвижной опорой муфт свободного хода.

Каждая муфта свободного хода состоит из обоймы 25 с клиновидными пазами для размещения роликов, упорных колец и роликов. Обойма соединяется с колесом реактора шлицами.

Колеса реакторов вращаются на упорных кольцах, в которые запрессованы бронзовые буксы 24.

Осевые усилия колес реакторов воспринимаются бронзовыми плавающими шайбами 23 и 26 и радиально-упорным шарикоподшипником.

Колеса реакторов устанавливаются таким образом, чтобы вращение их обеспечивалось по часовой стрелке (по направлению вращения двигателя). При вращении против часовой стрелки колеса реакторов должны надежно заклиниваться роликами муфт свободного хода.

Ведущая шестерня 18 жестко закреплена к насосному колесу и через промежуточные шестерни приводит во вращение шестерни привода насосов гидромеханической передачи, опрокидывающего механизма и рулевого управления.

Фрикционная муфта блокировки гидротрансформатора состоит из барабана 1, четырех ведущих 38 и четырех ведомых 36 дисков, поршня 5, упорного диска 34 и ступицы 7. Блокировка и разблокировка муфты происходит автоматически в зависимости от частоты вращения колеса турбины.

Принцип работы гидротрансформатора следующий. Насосное колесо жестко связано с ведомым валом согласующего редуктора, а турбинное колесо с ведущим валом коробки передач. Насосное, турбинное и реакторное колеса образуют кольцевую рабочую полость гидротрансформатора, заполненную маслом под давлением 0,35...0,45 МПа. Масло, пройдя лопатки второго реактора, поступает к лопаткам насосного колеса, увлекается ими и под действием центробежных сил отбрасывается к периферии, попадая на лопатки турбинного колеса. Затем масло попадает в зависимости от режима работы гидротрансформатора на вогнутые или выпуклые стороны лопаток реактора. Реакторы представляют собой изогнутые лопатки, установленные на муфтах свободного хода, и могут поворачиваться в сторону вращения как насосного, так и турбинного колеса. При вращении в разные стороны происходит заклинивание муфт свободного хода и реакторы останавливаются.

Возможны два режима работы гидротрансформатора. Если оба или один реактор заклинены и момент на турбинном колесе M_T , Н·м, больше, чем на насосном M_H , то такой режим называют

гидротрансформаторным. Если реакторы расклинены, и увеличение крутящего момента не происходит, то режим называют режимом гидромукты.

При трогании автосамосвала с места или при движении по плохой дороге с большим сопротивлением частота вращения турбинного колеса n_t , об/мин, значительно меньше частоты вращения насосного колеса n_n . Поток масла, выходя из турбинного колеса, попадает на вогнутую часть лопаток реакторов и заклинивает их. В этом случае суммарная сила действия потока на лопатки турбины будет равна силе, передаваемой через жидкость насосным колесам, и силе реакции взаимодействия потока с лопатками неподвижного реактора, так как турбина развивает наибольший момент. С увеличением частоты вращения турбинного колеса крутящий момент, создаваемый турбиной, уменьшается. При этом поток жидкости будет давить на обратную (выпуклую) сторону лопаток реактора и расклинит сначала первый реактор (при $n_t = 1/2n_n$), а затем второй и гидротрансформатор перейдет в режим гидромукты.

Гидротрансформатор может обеспечить максимальное соотношение моментов вращения турбинного и насосного колес M_t/M_n , равное 3,5 и называемое коэффициентом гидротрансформации.

2.3. Коробка передач

Коробка передач (рис. 5) – четырехвальная с управляемыми многодисковыми фрикционными муфтами. В коробке передач пять ступеней переднего хода и две заднего. Переключение ступеней осуществляется блокировкой шестерен с валами многодисковыми фрикционными муфтами.

Шестерни коробки передач прямозубые, постоянного зацепления, в зависимости от функции и расположения соединены с валами неподвижно или установлены на подшипниках.

Ведущий вал коробки передач 46 жестко связан с турбинным колесом гидротрансформатора. Крутящий момент от гидротрансформатора передается на ведущий вал коробки передач, на котором установлены фрикционные муфты и ведущие шестерни первой и второй ступеней, ведущая шестерня привода реверсивного вала и крыльчатка гидродинамического тормоза-замедлителя.

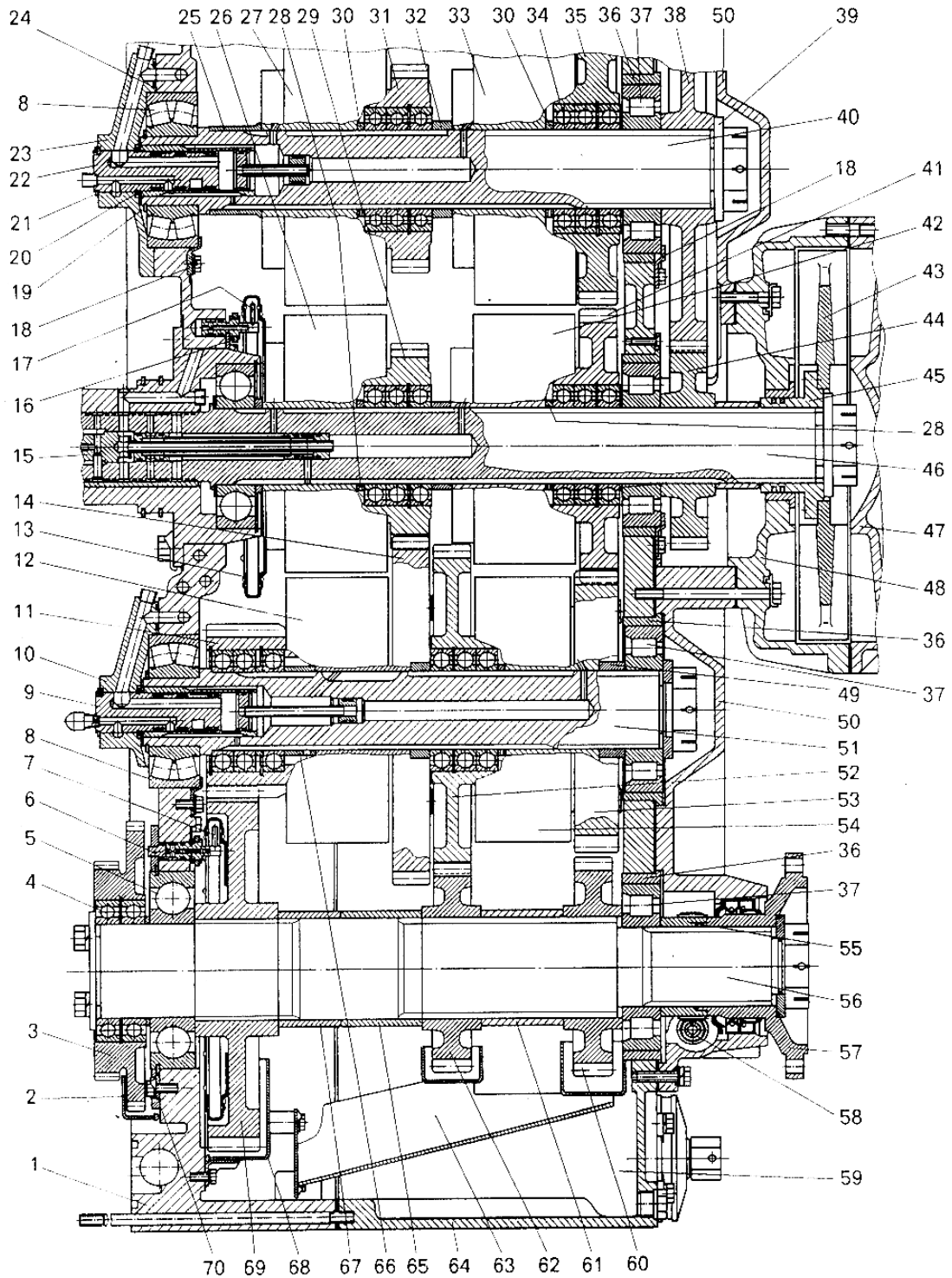


Рисунок 5 – Коробка передач

На рисунке 5: 1 – картер гидромеханической передачи; 2, 63, 68 – брызговики, шестерен; 3 – блок-шестерня привода насосов; 4 – шарикоподшипник блок шестерни; 5 – шарикоподшипник ведомого вала; 6 – крышка датчик; 7 – датчик частоты вращения ве-

домого вала (трубка Пито); 8 – роликовый сферический подшипник; 9 – гидрораспределитель диапазонного вала; 10, 23 – крыши гидрораспределителей; 11 – ведущая шестерня понижающего диапазона; 12 – фрикционная муфта понижающего диапазона; 13 – кожух трубки Пито; 14 – ведомая шестерня первой ступени; 15 – гидрораспределитель ведущего вала; 16 – рычаг датчика; 17 – датчик частот вращения ведущего вала (трубка Пито); 18, 70 – упорные пластины подшипников; 13 – стопорное кольцо; 20, 21 – упорные кольца; 22 – гидрораспределитель реверсивного вала; 24 – уплотнительное кольцо; 25, 65, 67 – упорные втулки; 26 – фрикционная муфта первой ступени; 27 – фрикционная муфта заднего хода; 28, 30, 66 – втулки подвода смазки; 29 – ведущая шестерня первой, ступени; 32, 49, 61 – распорные кольца (втулки); 31 – ведущая шестерня заднего хода; 33 – фрикционная муфта третьей ступени; 34 – шарикоподшипник; 35 – ведущая шестерня третьей ступени; 36 – стаканы подшипников; 37 – роликовые радиальные подшипники валов; 38 – ведомая шестерня реверсивного вала; 39 – шайба; 40 – реверсивный вал; 41 – ведущая шестерня второй ступени; 42 – фрикционная муфта второй ступени; 43 – крыльчатка тормоза замедлителя; 44 – ведущая шестерня привода реверсивного вала; 45 – ступиц тормоза замедлителя; 46 – ведущий вал; 47 – крышка тормоза-замедлителя; 48 – корпус тормоза замедлителя; 50 – крышка шестерен реверсивного вала; 51 – диапазонный вал; 52 – ведущая шестерня повышающего диапазон; 53 – ведомая шестерня второй ступени; 54 – фрикционная муфта повышающего диапазона; 55 – ведущая шестерня привода датчика спидометра; 56 – ведомый вал; 57 – фланец ведомого вала; 58 – ведомая шестерня привода датчик спидометра; 59 – фильтр; 60 – ведомая шестерня третьей ступени; 62 – ведомая шестерня повышающего диапазона; 64 – картер коробки передач; 69 – ведомая шестерня понижающего диапазона

В осевом отверстии ведущего вала установлен гидрораспределитель 15, образующий четыре разобщенных канала для подвода рабочей жидкости к фрикционным муфтам ступеней, к муфте блокировки гидротрансформатора, а также для смазки подшипников шестерен и дисков фрикционных муфт.

На диапазонном валу 51 установлены фрикционные муфты и ведущие шестерни понижающего и повышающего диапазонов.

На барабанах фрикционных муфт понижающего и повышающего диапазонов закреплены ведомые шестерни первой и второй ступеней соответственно. В крышке диапазонного вала закреплен гидрораспределитель 9, который вместе с гидрораспределителем, установленном в валу, образует три разобщенных канала для подвода рабочей жидкости к фрикционным муфтам и для смазки подшипников шестерен и дисков муфт.

На реверсивном валу 40 установлены фрикционные муфты и ведущие шестерни третьей ступени и заднего хода, ведомая шестерня привода реверсивного вала. В крышке реверсивного вала закреплен гидрораспределитель такой же конструкции, как и гидрораспределитель диапазонного вала.

На валах установлены втулки подвода смазки 28, 30, 66, отверстия в которых совмещены с пазами на шлицах валов.

На ведомом валу 56 установлены ведомые шестерни понижающего и повышающего диапазонов, ведомая шестерня третьей ступени, блок-шестерня привода насосов, ведущая шестерня привода датчика спидометра и фланец для крепления карданного вала.

Каждый вал установлен на двух подшипниках. Опорой передних подшипников является картер гидромеханической передачи, задних – картер коробки передач.

На ведущем и ведомом валах установлены гидравлические датчики частоты вращения этих валов, являющиеся источниками сигналов для исполнительных механизмов передачи.

Датчик частоты вращения ведущего вала 17 в зависимости от частоты вращения этого вала подает сигнал на блокировку или разблокировку гидротрансформатора.

Датчик частоты вращения ведомого вала 7 является элементом в системе блокировки ступеней заднего хода. При включенной ступени переднего хода на движущемся самосвале исключается возможность включения ступени заднего хода.

При буксировании неисправного самосвала гидравлический датчик 7 является источником давления для смазки фрикционных муфт.

При включении ступеней заднего хода крутящий момент на диапазонный вал передается с реверсивного вала. На третьей ступени крутящий момент с реверсивного вала передается непосредственно на ведомый вал.

Переключение ступеней осуществляется включением фрикционных муфт (муфты), которые блокируют соответствующие шестерни с валами.

На каждой ступени, кроме третьей, включаются две фрикционные муфты (одна на ведущем или реверсивном валу и одна – на диапазонном). Диски остальных муфт в это время разомкнуты.

Все фрикционные муфты конструктивно одинаковы и отличаются только наличием в барабанах фланцев для крепления кожуха гидравлического датчика частоты вращения ведущего вала (муфта первой ступени) и шестерен (муфты диапазонного вала).

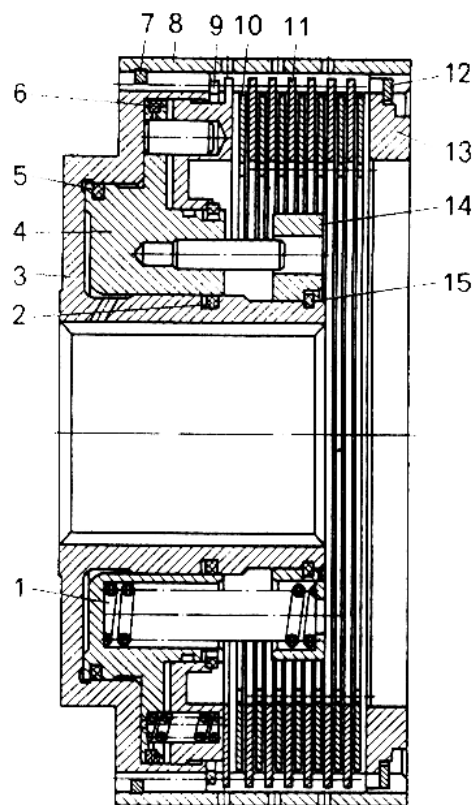


Рисунок 6 – Фрикционная муфта: 1 – пружина;
 2, 5, 6 – уплотнительные кольца; 3 – барабан; 4 – поршень;
 7, 12, 15 – опорные кольца; 8 – венец барабана; 9 – стопорное
 кольцо; 10 – ведомый диск; 11 – ведущий диск; 13 – упорный диск;
 14 – опора пружин

При включении ступеней переднего хода, кроме третьей, крутящий момент передается сначала на диапазонный вал и далее на ведомый вал.

Фрикционная муфта (см. рис. 6) состоит из барабана 3, венца 8, поршня 4, ведущих 11 и ведомых 10 дисков, упорного диска 13, отжимных пружин 1, опоры пружин 14 и опорных и уплотнительных колец. Барабан и поршень образуют гидравлический исполнительный цилиндр, посредством которого осуществляется сжатие пакета дисков для включения фрикционной муфты.

При включении ступени рабочая жидкость подается сначала в «малый», а потом в «большой» цилиндры фрикционной муфты. Под давлением рабочей жидкости поршень перемещается, зазоры между ведущим и ведомыми дисками уменьшаются и, когда они будут полностью выбраны, перемещение поршня прекращается, давление жидкости в цилиндре увеличивается до расчетного, диски сжимаются и блокируют шестерню с валом: происходит включение ступени коробки передач.

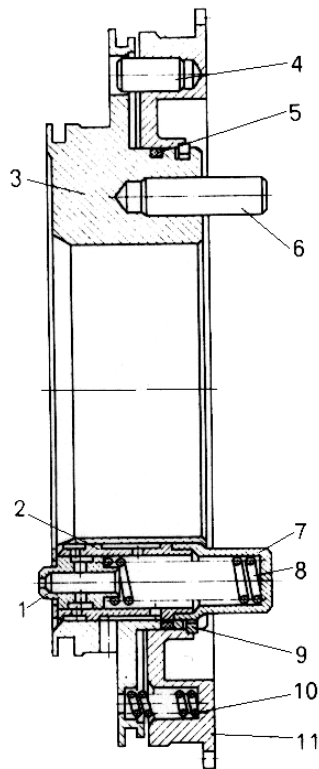


Рисунок 7 – Поршень фрикционной муфты: 1 – золотник клапана; 2 – гильза; 3 – поршень; 4, 6 – штифты; 5 – уплотнительное кольцо; 7 – крышка клапана; 8 – пружина клапана; 9 – опорное кольцо; 10 – пружина нажимного диска; 11 – нажимной диск

В поршне (рис. 7) установлен клапан плавности, состоящий из гильзы 2, золотника 1, крышки 7 и пружины 8. Клапан предназначен для регулирования давления рабочей жидкости в «большом» цилиндре фрикционной муфты при включении ступени.

На цилиндрической поверхности поршня установлен нажимной диск 11. Между диском и поршнем помещены пружины 10, которые после выключения ступени разводят диск и поршень, обеспечивая слив рабочей жидкости из «большого» цилиндра.

2.4. Тормоз-замедлитель

Тормоз-замедлитель (см. рис. 5) – гидродинамический лопастного типа, установлен на ведущем валу коробки передач. Он является вспомогательной тормозной системой, предназначенной для поддержания постоянной скорости самосвала или регулирования ее при движении на спусках.

Все гидромеханические передачи оборудуют гидромеханическим тормозом-замедлителем лопастного типа. Тормозной эффект гидротормоза возникает при заполнении рабочей полости гидротрансформатора маслом, поступающим из гидравлической системы передачи. Эффект торможения происходит за счет перехода кинетической энергии в энергию тепла, отдаваемую маслу. Масло, циркулируя через радиатор, охлаждается.

Гидродинамический тормоз-замедлитель состоит из корпуса 48, крыльчатки 43 и крышки 47. На корпусе и на крышке, так же как и на крыльчатке, имеются лопасти определенного профиля, обеспечивающие создание тормозного момента.

Тормозной момент тормоза-замедлителя возникает только при движении самосвала с включенной ступенью коробки передач, и после заполнения рабочей полости маслом и зависит от частоты вращения крыльчатки, которая определяется скоростью самосвала и включенной ступенью.

Управление тормозом-замедлителем осуществляется из кабины нажатием ногой на кнопку электрического выключателя. При нажатии на кнопку выключателя тормоз-замедлитель включается, при отпускании – выключается. Положение кнопки не фиксируется.

При нажатии на кнопку выключателя ток подается на электромагнит 1 механизма привода управления тормозом-замедлителем (рис. 8). Якорь электромагнита перемещает золотник 6, и масло поступает к торцу золотника 10 (рис. 9) механизма управления тормозом-замедлителем. Под давлением масла золотник 10 перемещается и открывает клапан 1.

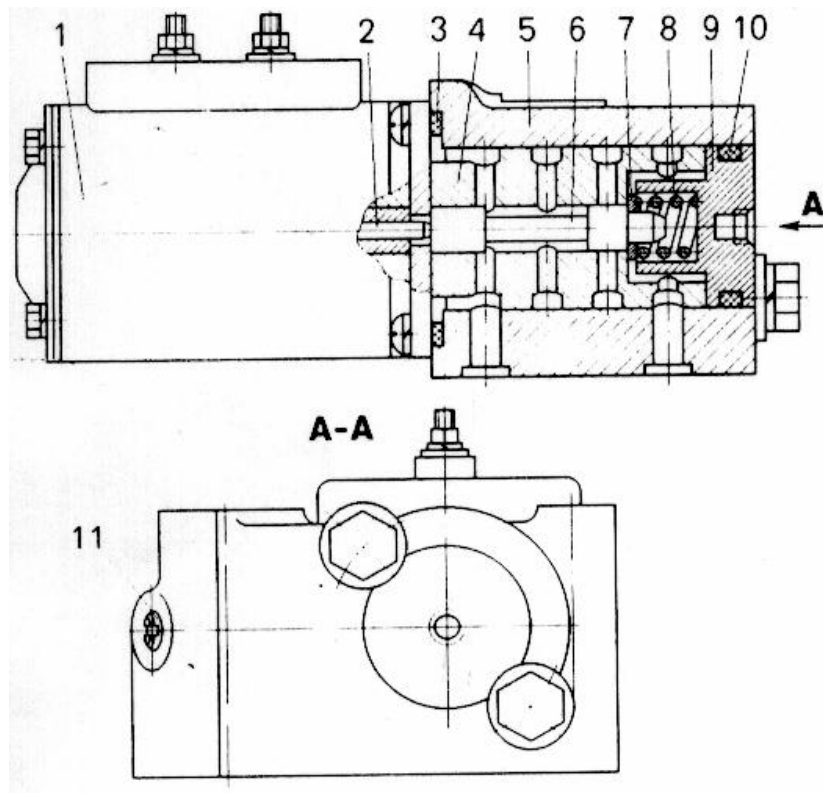


Рисунок 8 – Механизм привода управления тормозом-замедлителем: 1 – электромагнит; 2 – толкатель; 3, 10 – уплотнительные кольца; 4 – гильза пилота; 5 – корпус; 6 – золотник пилота; 7 – шайба; 8 – пружина фиксатора; 9 – крышка; 11 – пробка

Масло из радиатора (теплообменника на самосвале БелАЗ-75483) поступает в полость II механизм управления и через полость 1 нагнетается в рабочую полость тормоза-замедлителя, а из нее через средние и верхние отверстия в гильзе 11 снова в радиатор для охлаждения, т.е. при включенном тормозе медлители образуется круг циркуляции масла через радиатор.

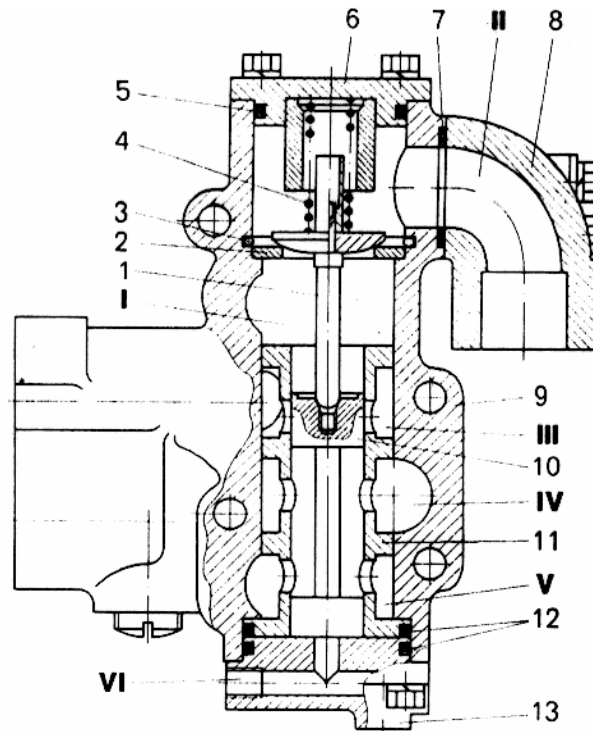


Рисунок 9 – Механизм управления тормозом-замедлителем:
 1 – клапан; 2 – седло клапана; 3 – стопорное кольцо; 4 – пружина;
 5, 7, 12 – уплотнительные кольца; 6 – верхняя крышка; 8 – угловая муфта; 9 – корпус; 10 – золотник; 11 – гильза; 13 – нижняя крышка;
 I – полость для подвода жидкости к тормозу замедлителю;
 II – полость для подвода жидкости от теплообменника;
 III – полость для отвода жидкости к теплообменнику;
 IV – полость для отвода жидкости из тормоза замедлителя;
 V – полость, сообщающая со сливным каналом;
 VI – канал подвода масла от механизма привода управления

2.5. Гидравлическая система

Гидравлическая система гидромеханической передачи имеет главную и вспомогательную магистрали питания гидротрансформатора и тормоза-замедлителя. К этим магистралям подключена магистраль смазки коробки передач и согласующего редуктора. Главная масляная магистраль предназначена для подачи масла в бустеры фрикционов при включении передач. В нее входят маслоприемник, главный насос, редукционный клапан, предохранительный клапан, золотники переключения фрикционов и коробки передач.

Вспомогательная магистраль питания гидротрансформатора и тормоза-замедлителя включает в себя насос гидротрансформатора, гидротрансформатор, тормоз-замедлитель, клапан гидротрансформатора, клапан включения тормоза-замедлителя, масляный фильтр и масляный радиатор. Управление коробкой передач осуществляется установленным на рулевой колонке в специальном направляющем секторе рычажком, при повороте которого через систему тяг, перемещаются золотники, и включается необходимая передача.

Питание гидравлической системы обеспечивается шестеренным масляным насосом.

Гидравлическая система гидромеханической передачи выполняет следующие основные функции:

- создание и поддержание необходимого давления рабочей жидкости во фрикционных муфтах коробки передач и фрикционной муфте блокировки гидротрансформатора;

- обеспечение циркуляции рабочей жидкости через гидротрансформатор, гидродинамический тормоз-замедлитель (при его включении) и радиатор под определенным давлением для поддержания нормального теплового режима гидромеханической передачи;

- обеспечение смазки дисков фрикционных муфт и подшипников шестерен, деталей согласующей передачи.

- автоматическую блокировку и разблокировку гидротрансформатора.

2.6. Преимущества эксплуатации гидромеханической трансмиссии

Применение этого типа трансмиссий на карьерных самосвалах грузоподъемностью свыше 100 т длительное время сдерживалось отсутствием достаточно надежных и долговечных гидромеханических коробок передач. Однако американская фирма Allison в конце 70-х годов увеличила ресурс своей коробки передач модели DP-8961 с 1500 до 5000...8000 моточасов, что обеспечило возможность ее применения на самосвалах, где раньше применялась только электротрансмиссия.

Практика показывает, что в карьерах с уклоном 10...12 % ресурс гидромеханических трансмиссий приближается к ресурсу электрических.

Существенным преимуществом гидромеханической трансмиссии в сравнении с электрической является ее меньшая стоимость.

Рост цен на цветные металлы, в большом количестве применяемые в конструкции генератора, мотор-колеса и других узлах и деталях электрической трансмиссии, приводит к увеличению ее стоимости. По данным на 2007 г., стоимость только одного мотор-колеса для самосвала класса 110...120 т в два раза выше стоимости гидромеханической коробки передач для такого же самосвала. Капитальный ремонт одного мотор-колеса на один самосвал в 4 раза выше стоимости капитального ремонта гидромеханической трансмиссии.

Еще одним важным преимуществом гидромеханической трансмиссии является меньшая стоимость технического обслуживания – примерно на 75 % ниже, чем электромеханической. Кроме того, потери мощности на привод агрегатов при гидромеханической трансмиссии меньше, чем у самосвалов с электроприводом, что видно из табл. 1.

Таблица 1

| Параметры | Электро- трансмиссия | Гидромеханическая трансмиссия |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Мощность двигателя | 750 | 750 |
| Привод вентилятора, генератора | 60 | 60 |
| Гидротрансформатор | - | 2,25 |
| Насос опрокидывающего механизма | 5,25 | 5,25 |
| Возбудитель генератора | 5,25 | - |
| Вентилятор для охлаждения генератора и мотор-колеса | 26,25 | - |
| Мощность, поступающая в трансмиссию | 653 | 683 |

Более высокий КПД механической трансмиссии обеспечивает еще большее снижение потерь мощности. КПД механической трансмиссии на максимальной скорости достигает 84,5 % против 40 % у электромеханических трансмиссий.

Преимуществом гидромеханической трансмиссии является возможность получения большой мощности тормоза-замедлителя. Например, мощность замедления трансмиссии Allison DP896 превышает 1200 кВт при совместной блокировке замедлителя и двигателя мощностью 50 кВт. Такая эффективность замедлителя обеспечивает безопасный спуск самосвала на уклонах 10...12 %.

Кроме аспекта безопасности замедлители заметно снижают стоимость обслуживания и увеличивают срок службы фрикционных накладок тормозных механизмов (по эксплуатационным данным некоторых карьеров в 2...5 раз).

Гидромеханические передачи имеют преимущества также и по массе.

Сравнение результатов эксплуатации самосвала HD-1600M с самосвалом HD-1200 фирмы Komatsu с электрической трансмиссией в одних и тех же условиях показало увеличение годовой производительности модели HD-1600M против HD-1200 на 57 %.

Еще одним важным преимуществом гидромеханической трансмиссии является нечувствительность к угольной пыли, что делает более предпочтительной эксплуатацию самосвалов с такой трансмиссией на разработках угля.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой грузоподъемности автосамосвалы оснащены гидромеханической трансмиссией?
2. Функции гидромеханической трансмиссии.
3. Основные элементы гидромеханической трансмиссии.
4. Расскажите о конструкции и функциях согласующей передачи.
5. Объясните конструкцию гидротрансформатора.
6. Принцип работы гидротрансформатора.
7. Режимы работы гидротрансформатора.
8. Понятие коэффициента гидротрансформации.
9. Объясните конструкцию коробки передач, представленной на рис. 5.
10. Поясните конструкцию фрикционной муфты (рис 6.) и ее поршня (рис. 7).

11. Назначение гидромеханического тормоза-замедлителя и принцип его работы.

12. Функции гидравлической системы.

13. Преимущества гидромеханической трансмиссии по сравнению с электрической трансмиссией.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. С. Квагинидзе, Г. И. Козовой, В. Б. Корецкий и др. – М. : Горная книга, 2011. – 408 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229079>

2. Астафьев, Ю. П. Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах / Ю. П. Астафьев, Г. К. Полищук, Н. И. Горлов. – М. : Недра, 1986. – 168 с.

3. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Организация дорожного движения» / Л. Л. Афанасьев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 212 с.

4. Васильев, М. В. Автомобильный транспорт карьеров / М. В. Васильев, З. Л. Сироткин, В. П. Смирнов. – М. : Недра, 1973. – 280 с.

5. Васильев, М. В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М. : Недра, 1983. – 295 с.

6. Васильев, М. В. Комбинированный транспорт на карьерах / М. В. Васильев. – М. : Недра, 1975. – 307 с.

7. Потапов, М. Г. Карьерный транспорт : учебник для техникумов. – изд. 4-е, перераб. и доп. / М. Г. Потапов. – М. : Недра, 1980. – 264 с.

8. Хубаев, Б. Г. Особенности конструкции и перспективы развития карьерных самосвалов грузоподъемностью свыше 30 т / Б. Г. Хубаев, М. В. Тверитнев. – М. : НИИНавтопром, 1985. – 60 с.

9. Циперфин, И. М. Карьерный автомобильный транспорт : справочник / И. М. Циперфин, В. Д. Штейн. – М. : Недра, 1992. – 415 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Составители Е. Ю. Темникова
А. Р. Богомолов
С. А. Шевырев

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры ТЭ
Протокол № 5 от 09.12.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 23.03.03
Протокол № 5 от 09.12.2015
Электронная копия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является практическое изучение процессов теплообмена на действующей установке, экспериментальное исследование процесса теплопередачи и освоение методики расчета теплообменника «труба в трубе».

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теплообменники типа «труба в трубе» широко используются в промышленности. Преимущество таких теплообменников заключается в разнообразии компоновок, они могут быть быстро собраны из стандартных элементов. При необходимости поверхность теплообмена может быть увеличена за счет установки дополнительных секций.

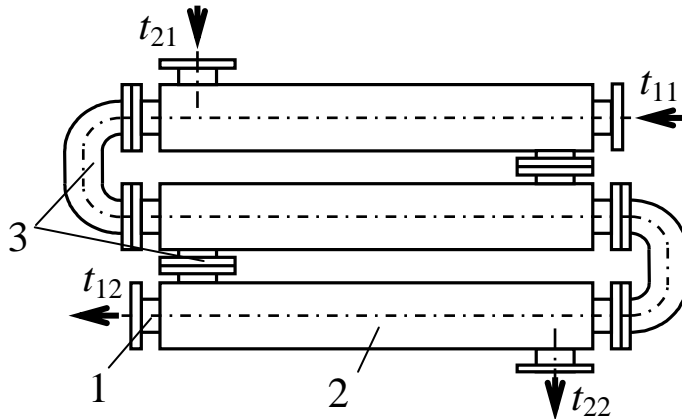


Рис. 1. Теплообменник «труба в трубе»:
1 – внутренняя труба; 2 – наружная труба; 3 – патрубки

Теплообменник «труба в трубе» (рис. 1) представляет собой трубу 1, концентрически размещенную в трубе 2 большего диаметра с патрубками 3 на концах для подвода теплоносителей от одной секции к другой.

Тепло передается от одного теплоносителя к другому через цилиндрическую стенку (рис. 2). Тепловой поток, переданный через стенку, прямо пропорционален движущей силе процесса – средней разности температур между теплоносителями и обратно пропорционален термическому сопротивлению теплопередачи:

$$Q = \frac{\overline{\Delta t} F}{R} = k F \overline{\Delta t}, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, Вт; $\overline{\Delta t}$ – средняя разность температур теплоносителей (температурный напор), °С; R – термическое сопротивление теплопередачи, м²·К/Вт; F – площадь передающей поверхности, м².

Термическое сопротивление теплопередачи складывается из термического сопротивления теплоотдачи от горячего теплоно-

сителя к стенке трубы, термического сопротивления стенки и термического сопротивления теплоотдачи от стенки трубы к холодному теплоносителю.

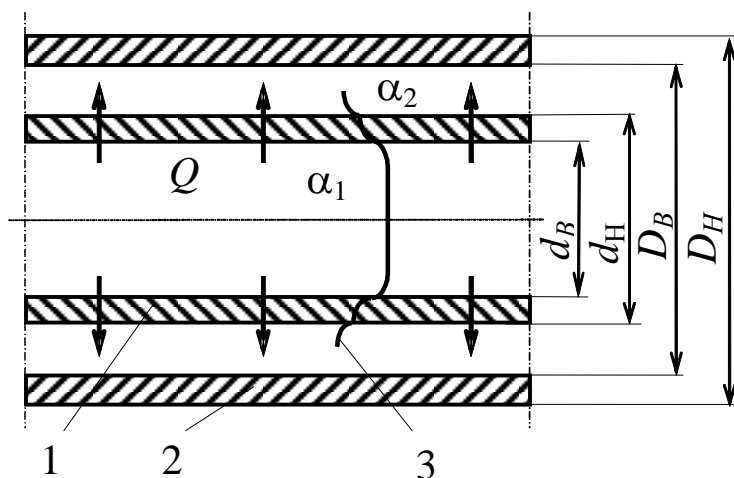


Рис. 2. Теплопередача через цилиндрическую стенку:
1 – внутренняя труба; 2 – кольцевой канал; 3 – профиль температуры

В случае цилиндрической стенки плотность теплового потока зависит от радиуса, поэтому при расчете термического сопротивления теплопередачи цилиндрической стенки плотность теплового потока относят к внутренней или наружной поверхности стенки. Термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки,

отнесенное к единице внутренней поверхности стенки, равно

$$R = R_{\alpha_1} + R_{\lambda} + R_{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_B}{2\lambda_T} \ln \frac{d_H}{d_B} + \frac{d_B}{\alpha_2 d_H}, \quad (2)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, протекающего во внутренней трубе, к внутренней поверхности трубы, Вт/(м²·К); α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к теплоносителю, протекающему в кольцевом канале, Вт/(м²·К); λ_T – коэффициент теплопроводности материала внутренней трубы (для стали 46,5 Вт/(м·К)), Вт/(м·К); d_B , d_H – внутренний и наружный диаметры внутренней трубы, м.

Коэффициент k , обратный термическому сопротивлению теплопередачи, называется коэффициентом теплопередачи и рассчитывается по зависимости:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_B}{2\lambda_T} \ln \frac{d_H}{d_B} + \frac{d_B}{\alpha_2 d_H}}. \quad (3)$$

Средняя разность температур определяется как среднелогарифмическая:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (4)$$

где Δt_{δ} – большая разность температур теплоносителей, °С; $\Delta t_{\text{м}}$ – меньшая разность температур теплоносителей, °С.

Коэффициент теплоотдачи α_1 **при развитом турбулентном течении** в трубах и каналах ($Re > 10^4$) равен

$$\alpha = 0,021 \frac{\lambda}{d} Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{см}}} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

где $Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}$ – критерий Рейнольдса; $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$ – критерий

Прандтля; ω – средняя скорость движения теплоносителя, м/с; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; λ – теплопроводность теплоносителя, Вт/(м·К); c_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К); μ – коэффициент динамической вязкости теплоносителя, Па·с; d – эквивалентный диаметр, для *трубы круглого сечения* равен внутреннему диаметру трубы $d_{\text{в}}$, для *кольцевого канала* $d = D_{\text{в}} - d_{\text{н}}$, м.

Определяющая температура – средняя температура теплоносителя. Расчет критерия $Pr_{\text{см}}$ производится при средней температуре стенки трубы.

При ламинарном и переходном режимах движения теплоносителя ($Re < 10^4$) необходимо учитывать влияние свободно-конвективного движения теплоносителя на теплоотдачу. Степень влияния свободной конвекции зависит от факторов: разности температур стенки и теплоносителя, коэффициента объемного расширения, скорости потока. Эти факторы учитываются комплексом критериев $GrPr$.

При значении комплекса $GrPr > 8 \cdot 10^5$ коэффициент теплоотдачи в горизонтальной гладкой трубе рассчитывают по формулам:

при $Re \leq 3500$:

$$\alpha = 0,8 \frac{\lambda}{d} \left(Re Pr \frac{d}{L} \right)^{0,4} (Gr Pr)^{0,1} \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{см}}} \right)^{0,4}, \quad (6)$$

при $Re > 3500$:

$$\alpha = 0,022 \frac{\lambda}{d} Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_{cm}} \right)^n, \quad (7)$$

где $Gr = \frac{gd^3\rho^2}{\mu^2} \beta \Delta t$ – критерий Грасгофа; β – коэффициент объемного расширения, $1/K$; $\Delta t = (\bar{t} - \bar{t}_{cm})$ – разность температуры теплоносителя и стенки, $^{\circ}C$; \bar{t} – средняя температура теплоносителя, $^{\circ}C$; \bar{t}_{cm} – средняя температура внутренней поверхности трубы (можно принять как среднеарифметическую между средними температурами горячего и холодного теплоносителя), $^{\circ}C$; L – длина трубы (теплопередающей ее части), м; $n = 0,11$ при нагревании теплоносителя; $n = 0,25$ при охлаждении теплоносителя.

При значении комплекса $GrPr \leq 8 \cdot 10^5$ коэффициент теплоотдачи определяется по зависимостям:

при $Re \leq 2300$:

$$\alpha = 1,55 \frac{\lambda}{d} \left(Re Pr \frac{d}{L} \right)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_{cm}} \right)^{0,14}, \quad (8)$$

при $Re > 2300$:

$$\alpha = 0,008 \frac{\lambda}{d} Re^{0,9} Pr^{0,43}. \quad (9)$$

В формулах (6) – (9) определяющая температура – среднеарифметическая температура стенки и теплоносителя. Коэффициент динамической вязкости μ_{cm} находится при температуре стенки. Теплофизические свойства теплоносителей в зависимости от температуры приведены в справочной литературе [2–4].

Тепловой поток, отданный горячим теплоносителем, равен

$$Q_1 = c_{p1} G_1 |t_{11} - t_{12}|, \quad (10)$$

а полученный холодным теплоносителем

$$Q_2 = c_{p2} G_2 |t_{21} - t_{22}|, \quad (11)$$

где G_1, G_2 – массовые расходы горячего и холодного теплоносителей соответственно, кг/с; t_{11}, t_{12} – температура на входе и выходе горячего теплоносителя, $^{\circ}C$; t_{21}, t_{22} – температура на входе и выходе холодного теплоносителя, $^{\circ}C$.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3. Теплообменник «труба в трубе» состоит из 4-х секций, расположенных горизонтально. Секции 1 состоят из наружной трубы большого диаметра 2, и внутри этой трубы проходит труба меньшего диаметра 3, по которой протекает горячая вода. Между наружной и внутренней трубами образуется кольцевой зазор 4, по которому протекает холодная вода (см. сечение А-А). Секции теплообменника соединяются коленами 5, выполненными без теплоизоляции.

В установку из системы холодного водоснабжения подается холодная вода (ХВ), из системы отопления – горячая (ГВ). Расход холодной воды регулируется вентилем 6, горячей – вентилем 7. Расходы холодной и горячей воды измеряются счетчиками 8 и 9.

Холодный поток воды поступает в теплообменник и движется по кольцевому зазору между наружной поверхностью трубы 3 и внутренней поверхностью наружной трубы 2 (см. сечение А-А), называемому межтрубное пространство. Направление движения холодной воды можно изменять вентилями 10, 11, 12, 13 блока управления режимами и схемами движения. Горячая вода подается в малую внутреннюю трубу и движется по трубному пространству. В процессе теплообмена холодная вода нагревается, а горячая охлаждается. Температуры холодного и горячего теплоносителей на входе и выходе теплообменника измеряют термометрами или термопарами, подключенными к показывающим измерителям-регуляторам фирмы «ОВЕН» 14, 15 – холодной воды; 16, 17 – горячей воды.

В табл. 1 представлены основные размеры теплообменного аппарата «труба в трубе».

В ходе выполнения лабораторной работы производят следующие измерения: расходы холодной и горячей воды с помощью счетчиков 8 и 9 за определенное время. Также измеряют температуры холодного и горячего теплоносителей на входе и выходе теплообменника термопарами. Измерения заносят в табл. 1 Приложения.

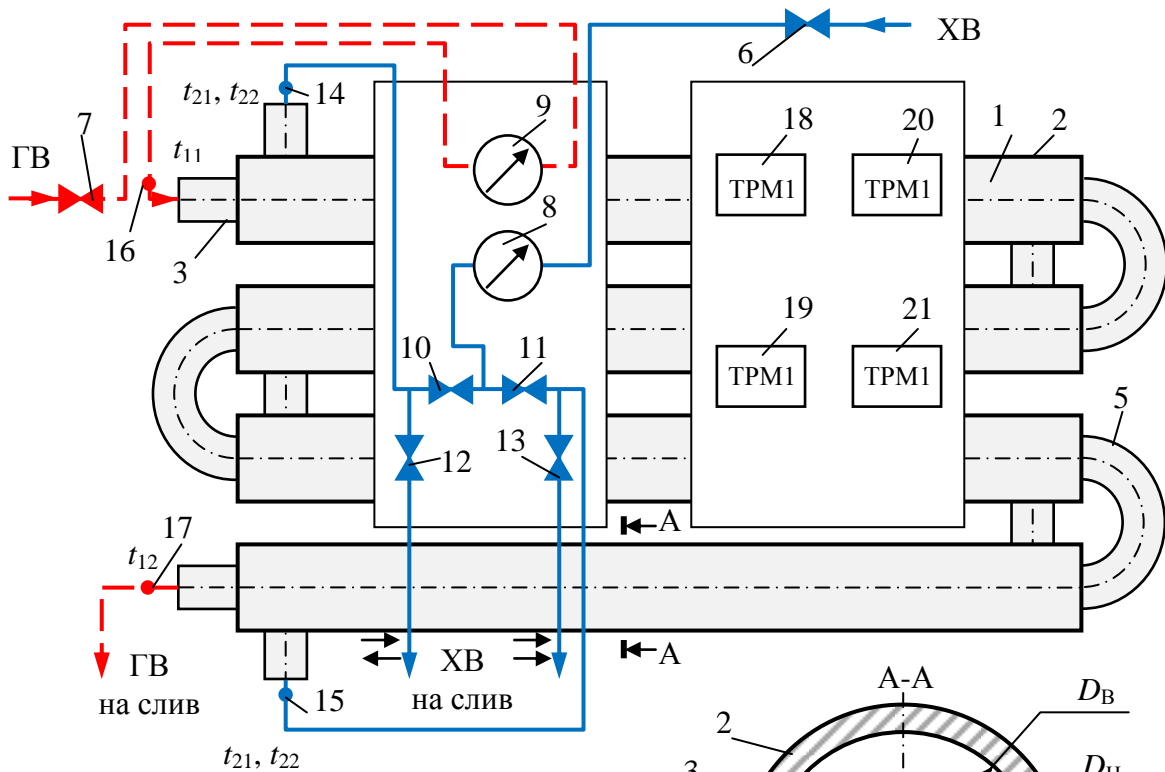


Рис. 3. Схема лабораторной установки «теплообменник «труба в трубе»:

1 – секция теплообменника; 2 – наружная труба; 3 – внутренняя труба; 4 – кольцевой зазор; 5 – соединительное колено; 6 – вентиль подачи; 7 – вентиль подачи горячей воды;

8, 9 – счетчики холодной и горячей воды; 10, 11, 12, 13 – вентили задания схемы движения (прямоток, противоток); 14, 15 – термометры холодной воды; 16, 17 – термометры горячей воды; 18 – измеритель регулятор холодной воды (вход – прямоток; выход – противоток); 19 – измеритель регулятор холодной воды (при прямотоке – на выходе; при противотоке – на входе); 20, 21 – измеритель регулятор горячей воды на входе и выходе; ГВ – горячая вода; ХВ – холодная вода

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Уточняем индексы у теплоносителей и место их движения (пространство теплообменного аппарата).

| Индекс | Теплоноситель | Пространство теплообменника |
|--------|---------------|-----------------------------|
| 1 | горячая вода | трубное пространство |
| 2 | холодная вода | межтрубное пространство |

2. По показаниям счетчиков определяют объемные расходы теплоносителей, м³/с,

$$V_1 = \frac{10^{-3} b_1}{\tau_1}; V_2 = \frac{10^{-3} b_2}{\tau_2}.$$

3. Из геометрических размеров теплообменника (табл. 1) рассчитывают площадь сечения каждого потока, м²,

$$S_1 = \frac{\pi d_B^2}{4}; S_2 = \frac{\pi(D_B^2 - d_H^2)}{4}.$$

Таблица 1

| Наименование элемента | Размер |
|-------------------------------------|--------|
| Наружная труба | |
| - наружный диаметр D_H , м | 0,048 |
| - внутренний диаметр D_B , м | 0,040 |
| - толщина стенки δ_H , м | 0,004 |
| - длина секции аппарата L_c , м | 1,0 |
| - общая длина аппарата $L_{ан}$, м | 4,0 |
| Внутренняя труба | |
| - наружный диаметр d_H , м | 0,025 |
| - внутренний диаметр d_B , м | 0,020 |
| - толщина стенки δ_B , м | 0,0025 |

4. Вычисляют скорости движения теплоносителей, м/с,

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1}; \omega_2 = \frac{V_2}{S_2}.$$

5. Находят определяющие температуры теплоносителей, °С,

$$t_{cp1} = \frac{t_{11} + t_{12}}{2}; t_{cp2} = \frac{t_{21} + t_{22}}{2}.$$

6. Массовые расходы рассчитывают через объемные, кг/с,

$$G_1 = V_1 \rho_1; G_2 = V_2 \rho_2,$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность воды в зависимости от определяющей температуры берут из табл. 3 приложения, кг/м³.

Критерии Re_1 и Re_2 для теплоносителей во внутренней трубе и кольцевом канале теплообменника находят как

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1 \rho_1}{\mu_1}; Re_2 = \frac{\omega_2 d_2 \rho_2}{\mu_2},$$

где μ_1 и μ_2 – динамический коэффициент вязкости в зависимости

от определяющей температуры (табл. 3 приложения), Па·с; определяющий размер – см. описание уравнения (3).

2. По значениям критерия Рейнольдса определяют режим движения теплоносителя (ламинарный, переходный, турбулентный) и рассчитывают коэффициенты теплоотдачи α_1 во внутренней трубе и α_2 в кольцевом канале по формулам (3) – (7). Все теплофизические свойства берут из табл. 3 приложения.

3. Вычисляют термическое сопротивление по уравнению (2) расчетный коэффициент теплопередачи k по формуле (3), среднюю разность температур по формуле (4).

4. По формуле (1) рассчитывают тепловой поток Q , переданный через стенку трубы от одного теплоносителя к другому. Вычисляют количества тепла Q_1 , отданное горячим теплоносителем, по формуле (10) и Q_2 , полученное холодным теплоносителем, по уравнению (11).

5. Полученные данные заносят в табл. 2 Приложения.

6. Выводы формулируются по значениям теплового потока Q , переданного через стенку трубы от одного теплоносителя к другому, количеству теплоты Q_1 , отданное горячим теплоносителем, и Q_2 , полученное холодным теплоносителем.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещается:

1. Производить исправления в электросхеме, находящейся под напряжением.

2. Оставлять работающий лабораторный стенд, находящийся под напряжением без присмотра.

3. Работать с незаземленным оборудованием.

4. Касаться проводников, металлических клемм и других деталей, находящихся под электрическим напряжением.

5. Если возникло возгорание, следует немедленно обесточить лабораторную установку, вызвать пожарную команду и тушить огонь только углекислотным огнетушителем.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

а) титульный лист установленной формы;

- б) краткое изложение теоретических положений;
- в) принципиальную схему установки;
- г) таблицы измеренных и рассчитанных величин;
- д) обработку результатов опыта;
- е) выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расчет теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода.
2. Основные типы теплообменных аппаратов. Достоинства и недостатки теплообменника «труба в трубе».
3. Движущая сила процесса теплопередачи, термическое сопротивление процессу.
4. Расчет среднего температурного напора между теплоносителями при прямотоке, противотоке, перекрестном и смешанном токе.
5. Как выбирается определяющая температура, что такое определяющий размер? Определите эквивалентный диаметр в кольцевом канале.
6. Что является движущей силой при свободной конвекции?
7. Как влияют теплофизические свойства теплоносителей на теплопередачу?
8. Назовите основное уравнение теплопередачи, поясните. Дайте определение коэффициенту теплопередачи.
9. Смысл критерия Нуссельта.
10. Что характеризует критерий Прандтля?

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Измеряемые величины

| Схема движения | Горячий теплоноситель | | | | Холодный теплоноситель | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------|
| | $t_{11},$ °С | $t_{12},$ °С | показание счетчика $b_1,$ л | время $\tau_1,$ с | $t_{21},$ °С | $t_{22},$ °С | показание счетчика $b_2,$ л | время $\tau_2,$ с |
| | | | | | | | | |

Таблица 2

Расчетные величины

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--|
| Горячий теплоноситель | Объемный расход $V_1, \text{ м}^3/\text{с}$ | |
| | Площадь сечения потока $S_1, \text{ м}^2$ | |
| | Определяющая температура $t_{cp1}, \text{ °С}$ | |
| | Массовый расход $G_1, \text{ кг/с}$ | |
| | Скорость потока $w_1, \text{ м/с}$ | |
| | Критерий Рейнольдса Re_1 | |
| | Коэффициент теплоотдачи $\alpha_1, \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$ | |
| | Количество выделившейся теплоты $Q_1, \text{ Вт}$ | |
| Холодный теплоноситель | Объемный расход $V_2, \text{ м}^3/\text{с}$ | |
| | Площадь сечения потока $S_2, \text{ м}^2$ | |
| | Определяющая температура $t_{cp2}, \text{ °С}$ | |
| | Массовый расход $G_2, \text{ кг/с}$ | |
| | Скорость потока $w_2, \text{ м/с}$ | |
| | Критерий Рейнольдса Re_2 | |
| | Коэффициент теплоотдачи $\alpha_2, \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$ | |
| | Количество воспринятой теплоты $Q_2, \text{ Вт}$ | |
| Коэффициент теплопередачи $k, \text{ Вт}/(\text{ м}^2 \cdot \text{ К})$ | | |
| Термическое сопротивление теплопередачи $R, (\text{ м}^2 \cdot \text{ К})/\text{ Вт}$ | | |
| Средний температурный напор $\overline{\Delta t}, \text{ К}$ | | |
| Площадь поверхности теплообмена $F, \text{ м}^2$ | | |
| Тепловой поток, переданный через стенку, $Q, \text{ Вт}$ | | |

Таблица 3

Теплофизические свойства воды в зависимости от температуры

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\mu, \text{мПа}\cdot\text{с}$ | $c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ | $t, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ | $\mu, \text{мПа}\cdot\text{с}$ | $c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 999,8 | 1,792 | 4,217 | 0,5609 | 36 | 993,7 | 0,7085 | 4,179 | 0,6247 |
| 1 | 999,9 | 1,731 | 4,215 | 0,5628 | 38 | 993,0 | 0,6814 | 4,179 | 0,6277 |
| 2 | 999,9 | 1,673 | 4,212 | 0,5647 | 40 | 992,3 | 0,6560 | 4,179 | 0,6307 |
| 3 | 1000,0 | 1,619 | 4,210 | 0,5667 | 42 | 991,5 | 0,6321 | 4,179 | 0,6333 |
| 4 | 1000,0 | 1,567 | 4,207 | 0,5686 | 44 | 990,7 | 0,6097 | 4,180 | 0,6359 |
| 5 | 1000,0 | 1,519 | 4,205 | 0,5705 | 46 | 989,8 | 0,5883 | 4,180 | 0,6384 |
| 6 | 1000,0 | 1,473 | 4,202 | 0,5724 | 48 | 988,9 | 0,5683 | 4,181 | 0,6410 |
| 7 | 999,9 | 1,428 | 4,200 | 0,5743 | 50 | 988,0 | 0,5494 | 4,181 | 0,6436 |
| 8 | 999,9 | 1,386 | 4,197 | 0,5763 | 52 | 987,1 | 0,5315 | 4,182 | 0,6457 |
| 9 | 999,8 | 1,346 | 4,195 | 0,5782 | 54 | 986,2 | 0,5146 | 4,183 | 0,6479 |
| 10 | 999,7 | 1,308 | 4,192 | 0,5801 | 56 | 985,2 | 0,4985 | 4,183 | 0,6500 |
| 12 | 999,6 | 1,236 | 4,190 | 0,5838 | 58 | 984,2 | 0,4832 | 4,184 | 0,6522 |
| 14 | 999,3 | 1,171 | 4,188 | 0,5875 | 60 | 983,2 | 0,4688 | 4,185 | 0,6543 |
| 16 | 999,0 | 1,111 | 4,186 | 0,5911 | 62 | 982,1 | 0,4550 | 4,186 | 0,6560 |
| 18 | 998,7 | 1,056 | 4,184 | 0,5948 | 64 | 981,1 | 0,4418 | 4,187 | 0,6578 |
| 20 | 998,3 | 1,005 | 4,182 | 0,5985 | 66 | 979,9 | 0,4293 | 4,188 | 0,6595 |
| 22 | 997,8 | 0,9579 | 4,181 | 0,6019 | 68 | 978,8 | 0,4174 | 4,189 | 0,6613 |
| 24 | 997,4 | 0,9142 | 4,180 | 0,6053 | 70 | 977,7 | 0,4061 | 4,190 | 0,6630 |
| 26 | 996,8 | 0,8737 | 4,180 | 0,6088 | 72 | 976,5 | 0,3952 | 4,191 | 0,6644 |
| 28 | 996,3 | 0,8360 | 4,179 | 0,6122 | 74 | 975,3 | 0,3849 | 4,192 | 0,6657 |
| 30 | 995,7 | 0,8007 | 4,178 | 0,6156 | 76 | 974,1 | 0,3750 | 4,194 | 0,6671 |
| 32 | 995,1 | 0,7679 | 4,178 | 0,6186 | 78 | 972,9 | 0,3655 | 4,195 | 0,6684 |
| 34 | 994,4 | 0,7371 | 4,178 | 0,6216 | 80 | 971,6 | 0,3565 | 4,196 | 0,6698 |

Составители
Елена Юрьевна Темникова
Александр Романович Богомолов
Сергей Александрович Шевырев

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА
В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»**

«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 0,6.

Тираж 20 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материаловедение» для студентов технических направлений
всех форм обучения

Составитель В. В. Драчев

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 8 от 27.01.2016
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 15.03.05
Протокол № 7 от 27.01.2016
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение классификации, маркировки и области применения наиболее распространенных сплавов цветных металлов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы по технологическому признаку разделяют на деформируемые, которые обрабатывают прокаткой, прессованием, ковкой и штамповкой, и литейные, предназначенные для фасонного литья. Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой делят на сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термообработкой (упрочняющей термической обработкой для алюминиевых сплавов являются закалка и старение – длительная выдержка при нормальной или повышенной температуре).

Деформируемые алюминиевые сплавы (таблица 1) изготавливают по ГОСТ 4784-97.

К сплавам, упрочняемым термической обработкой, относят:

1. Дуралюмины. Это сплавы системы Al-Cu-Mg. Их маркируют буквой Д и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: Д1 – дуралюмин, условный номер 1.

Дуралюмины удовлетворительно обрабатываются резанием, хорошо свариваются точечной сваркой. Из них изготавливают обшивки, шпангоуты и лонжероны самолетов, силовые каркасы, строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей и т.д.

2. Высокопрочные сплавы. К ним относят сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu. Их маркируют буквой В и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: В93 – высокопрочный сплав, условный номер 93.

Высокопрочные сплавы прочнее, чем дуралюмины, но пластичность их ниже. Они хорошо обрабатываются резанием и свариваются точечной сваркой. Такие сплавы применяют в самолетостроении для нагруженных конструкций.

Таблица 1

Химический состав (ГОСТ 4784-97) и механические свойства
некоторых деформируемых алюминиевых сплавов

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Al), % | | | | Вид полуфабриката, вид термической обработки | Механические свойства | | | |
|--------------|-------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|-----|
| | Cu | Mg | Mn | прочие | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | | | | |
| Д1 | 3,5-4,5 | 0,4-0,8 | 0,4-1,0 | - | Листы, закалка и старение | 400 | 240 | 20 | 95 |
| | | | | | Прессованные прутки, закалка и старение | 480 | 320 | 14 | - |
| Д16 | 3,8-4,9 | 1,2-1,8 | 0,3-0,9 | - | Листы, закалка и старение | 440 | 330 | 18 | 105 |
| | | | | | Прессованные прутки, закалка и старение | 530 | 400 | 11 | - |
| В95 | 1,4-2,0 | 1,8-2,8 | 0,2-0,6 | 5-7 Zn, 0,10-0,25 Cr | Листы, закалка и старение | 540 | 470 | 10 | 150 |
| | | | | | Прессованные прутки, закалка и старение | 600 | 560 | 8 | 150 |
| АК6 | 1,8-2,6 | 0,4-0,8 | 0,4-0,8 | 0,7-1,2 Si | Поковки, закалка и старение | 400 | 299 | 12 | 100 |
| АК8 | 3,9-5,0 | 0,2-0,8 | 0,4-1,0 | 0,5-1,2 Si | Поковки, закалка и старение | 480 | 380 | 9 | 135 |
| АМц | - | - | 1,0-1,5 | - | Листы, отжиг | 130 | 50 | 20 | 30 |
| АМг2 | - | 1,7-2,4 | 0,1-0,5 | - | Листы, отжиг | 190 | 100 | 23 | 45 |
| АМг6 | - | 5,8-6,8 | 0,5-0,8 | 0,02-0,10 Ti, 0,002-0,005Be | Листы, отжиг | 340 | 170 | 20 | 70 |

3. Ковочные сплавы. Это сплавы системы Al-Cu-Mg-Si. Их маркируют буквами АК и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: АК6 – алюминиевый ковочный сплав, условный номер 6.

Такие сплавы обладают хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей пластической деформации. Они хорошо обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются контактной сваркой. Ковочные сплавы используют для изготовления средненагруженных деталей сложной формы: подмоторных рам, фитингов, крыльчаток лопастей винтов вертолета и т.д.

К алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относят:

1. Сплавы алюминия с марганцем. Примером такого сплава является сплав АМц, содержащий 1-1,5 % марганца.

2. Сплавы алюминия с магнием. Такие сплавы маркируют буквами АМг и цифрой, указывающей среднее содержание магния в сплаве.

Например: АМг2 – деформируемый сплав алюминия с магнием, содержащий около 2 % магния.

Сплавы алюминия с марганцем и магнием легко обрабатываются давлением, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Обработка резанием затруднена. Их применяют для сварных и клепаных конструкций, испытывающих небольшие нагрузки и требующих высокого сопротивления коррозии: емкости для жидкости, баки для бензина, трубопроводы, палубные надстройки, переборки судов и т.д.

Литейные алюминиевые сплавы (таблица 2) по ГОСТ 1583-93 маркируют буквами и цифрами. Первая буква А означает основу сплава (алюминий), последующие буквы – основные легирующие компоненты (К – кремний, М – медь, Ц – цинк, Мг – магний, Мц – марганец, Кд – кадмий), а цифры – среднее содержание компонентов в процентах. Отсутствие цифры означает, что данного компонента в сплаве около 1 %.

Таблица 2

Химический состав (ГОСТ 1583-93) и механические свойства
некоторых литейных алюминиевых сплавов

| Марка сплава* | Содержание элементов (остальное Al), % | | | | | Способ литья, вид термической обработки | Механические свойства | | | |
|-----------------|----------------------------------------|-----------|---------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|-----|
| | Si | Mg | Cu | Mn | прочие | | σ_B , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | | Не менее | | | |
| АК12 (АЛ2) | 10-13 | - | - | - | - | В песчаные формы, отжиг | 180 | 80 | 6 | 50 |
| АК9 (АЛ4) | 8,0-10,5 | 0,17-0,30 | - | 0,2-0,5 | - | В песчаные формы, закалка и старение | 260 | 200 | 4 | 75 |
| АК7 (АЛ9) | 6-8 | 0,2-0,4 | - | - | - | Под давлением, без т.о. | 220 | 120 | 2 | 50 |
| | | | | | | В песчаные формы, закалка старение | 220 | 160 | 3 | 75 |
| АК8М (АЛ32) | 7,5-9,0 | 0,3-0,5 | 1,0-1,5 | 0,3-0,5 | 0,1-0,3 Ti | Под давлением, без т.о. | 270 | 160 | 3 | 80 |
| АМ5 (АЛ19) | - | - | 4,5-5,3 | 0,6-1,0 | 0,15-0,35 Ti | В песчаные формы, закалка и старение | 360 | 250 | 3 | 100 |
| АМГ10 (АЛ27) | - | 9,5-11,5 | - | - | 0,05-0,15 Be 0,05-0,20 Zr 0,05-0,15 Ti | В песчаные формы, закалка | 360 | 180 | 15 | 75 |

*В скобках приведено старое обозначение марки сплава.

Например: АК5М – литейный алюминиевый сплав, содержащий около 5 % кремния и 1 % меди.

К литейным алюминиевым сплавам относят:

1. Сплавы алюминия с кремнием (силумины) марок АК12, АК9, АК7, АК8М и др. Силумины обладают высокими литейными свойствами, хорошо свариваются, сравнительно легко обрабатываются резанием. Их применяют для изготовления средних и крупных литых деталей ответственного назначения: корпусов компрессоров, картеров и блоков цилиндров двигателей и т.д.

2. Сплавы алюминия с медью марок АМ5, АМ4, 5Кд. Эти сплавы обладают высокой прочностью при обычных и повышенных температурах, хорошо обрабатываются резанием и свариваются, но обладают низкими литейными свойствами. Их используют для отливки небольших деталей простой формы (арматуры, кронштейнов и т.д.).

3. Сплавы алюминия с магнием (магналии) марок АМг10, АМг5Мц и др. Такие сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, прочностью, вязкостью и хорошей обрабатываемостью резанием, но, как и сплавы системы Al-Cu, имеют невысокие литейные свойства. Их применяют для изготовления деталей, работающих в условиях высокой влажности в судостроении и авиации: деталей приборов, вилок шасси и хвостового оперения, штурвалов и т.д.

2.2. Магниево-алюминиевые сплавы

Магниево-алюминиевые сплавы, как и алюминиевые, по технологическому признаку делят на деформируемые и литейные, по способности упрочняться термической обработкой – на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой (закалкой и старением).

Деформируемые магниево-алюминиевые сплавы (таблица 3) разработаны по ГОСТ 14957-76 на базе систем Mg-Mn, Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Li. Их маркируют буквами МА и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: МА5 – деформируемый магниево-алюминиевый сплав, условный номер 5.

Литейные магниевые сплавы (таблица 3) по ГОСТ 2856-79 изготавливают на базе систем Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Nd. Эти сплавы маркируют буквами МЛ и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: МЛ8 – литейный магниевый сплав, условный номер 8.

Сплавы магния обладают малой плотностью, высокой удельной прочностью и удельной жесткостью. Они хорошо обрабатываются резанием, легко шлифуются и полируются, удовлетворительно свариваются дуговой и контактной сваркой. К недостаткам относятся меньшая, чем у алюминиевых сплавов, коррозионная стойкость, худшие литейные свойства, малый модуль упругости, склонность к газонасыщению, окислению и воспламенению при выплавке.

Магниевые сплавы широко применяются в самолетостроении (корпуса приборов, насосов, фонари и двери кабины и т.д.), ракетной технике (корпуса ракет, обтекатели, топливные и кислородные баки, стабилизаторы), конструкциях автомобилей, особенно гоночных (корпуса, колеса, помпы и т.д.), в приборостроении (корпуса и детали приборов).

2.3. Медные сплавы

По химическому составу сплавы меди делят на две основные группы: латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди с другими элементами). Бронзы, в свою очередь, подразделяют на оловянные и безоловянные. По технологическому признаку медные сплавы делят на деформируемые и литейные, по способности упрочняться с помощью термической обработки – на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой.

Сплавы меди маркируют буквами Л (латунь) или Бр (бронза), после чего следуют буквы и цифры, обозначающие составляющие сплав элементы и среднее содержание этих элементов в процентах.

Условные обозначения элементов в медных сплавах: А – алюминий, Б – бериллий, Ж – железо, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель, О – олово, С – свинец, Ф – фосфор, Х – хром, Ц – цинк.

Таблица 3

Химический состав и механические свойства некоторых магниевых сплавов

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Mg), % | | | | Вид термической обработки | Механические свойства | | | |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|---------|---------|------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|----|
| | Mn | Zn | Al | прочие | | σ_b , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | Не менее | | | |
| Деформируемые сплавы (ГОСТ 14957-76) | | | | | | | | | |
| МА5 | 0,15-0,50 | 0,2-0,8 | 7,8-9,2 | - | Закалка и старение | 320 | 220 | 14 | 55 |
| МА11 | 1,5-2,5 | - | - | 2,5-3,5 Nd, 0,10-0,22 Ni | Закалка и старение | 280 | 140 | 10 | - |
| МА14 | - | 5-6 | - | 0,3-0,9 Zr | Закалка и старение | 350 | 300 | 9 | 60 |
| МА19 | - | 5,5-7,0 | - | 0,5-0,9 Zr, 0,2-1,0 Cd, 1,4-2,0 Nd | Закалка и старение | 380 | 330 | 5 | 80 |
| Литейные сплавы (ГОСТ 2856-79) | | | | | | | | | |
| МЛ5 | 0,15-0,50 | 0,2-0,8 | 7,5-9,0 | - | Закалка и старение | 255 | 120 | 6 | 25 |
| МЛ8 | - | 5,5-6,6 | - | 0,7-1,1 Zr, 0,2-0,8 Cd | Закалка и старение | 255 | 155 | 5 | - |
| МЛ12 | - | 4-5 | - | 0,6-1,1 Zr | Закалка и старение | 270 | 160 | 6 | - |
| МЛ10 | - | 0,1-0,7 | - | 0,4-1,0 Zr, 2,2-2,8 Nd | Без т.о. | 200 | 95 | 6 | 26 |
| МЛ15 | - | 4-5 | - | 0,7-1,1 Zr, 0,6-1,2 La | Без т.о. | 210 | 130 | 3 | 28 |

В марках деформируемых латуней (таблица 4) первые две цифры после буквы Л по ГОСТ 15527-2004 обозначают среднее содержание меди в процентах. Цифры, указывающие содержание других элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обозначающих эти элементы. Содержание цинка определяют по разности от 100 %.

Например: Л70 – деформируемая латунь, содержащая около 70 % меди и $100 - 70 = 30$ % цинка;

ЛО70-1 – деформируемая латунь, содержащая 70 % меди, 1 % олова и $100 - 70 - 1 = 29$ % цинка;

ЛАЖ60-1-1 – деформируемая латунь, содержащая 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и $100 - 60 - 1 - 1 = 38$ % цинка.

Деформируемые латуни хорошо поддаются холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют высокую коррозионную стойкость.

Из них изготавливают радиаторные трубки, гильзы патронов и снарядов, сильфоны, втулки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования и т.д.

В литейных латунях (таблица 4) по ГОСТ 17711-93 среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей данный элемент. Отсутствие цифры означает, что данного элемента в сплаве около 1 %. Содержание меди определяют по разности от 100 %.

Например: ЛЦ40С – литейная латунь, содержащая 40 % цинка, 1 % свинца и $100 - 40 - 1 = 59$ % меди;

ЛЦ40Мц3Ж – литейная латунь, содержащая 40 % цинка, 3 % марганца, 1 % железа и $100 - 40 - 3 - 1 = 56$ % меди.

Литейные латуни обладают хорошей жидкотекучестью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, сепараторы шариковых и роликовых подшипников, гребные винты и их лопасти и т.д.

В марках деформируемых бронз (таблица 5) содержание основного компонента – меди – не указывают, а определяют по разности от 100 %. Цифры, указывающие содержание элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обозначающих эти элементы.

Таблица 4

Химический состав и механические свойства некоторых латуней

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Zn), % | | Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья | Механические свойства | | |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----|
| | Cu | прочие | | σ_B , МПа | δ , % | НВ |
| | | | | Не менее | | |
| Деформируемые латуни (ГОСТ 15527-2004) | | | | | | |
| Л90 | 88-91 | - | Листы, отжиг | 230 | 36 | 60 |
| Л63 | 62-65 | - | Листы, отжиг | 290 | 38 | 70 |
| ЛО70-1 | 69-71 | 1,0-1,5 Sn | Трубы, отжиг | 314 | 55 | 47 |
| ЛА77-2 | 76-79 | 1,7-2,5 Al | Трубы, отжиг | 300 | 23 | - |
| ЛК80-3 | 79-81 | 2,5-4,0 Si | Прутки, отжиг | 275 | 53 | 93 |
| ЛАН59-3-2 | 57-60 | 2,5-3,5 Al, 2-3 Ni | Прутки, отжиг | 440 | 40 | 108 |
| Литейные латуни (ГОСТ 17711-93) | | | | | | |
| ЛЦ40Мц3Ж | 53-58 | 0,5-1,5 Fe, 3-4 Mn | В песчаные формы | 441 | 18 | 90 |
| ЛЦ38Мц2С2 | 57-60 | 1,5-2,5 Pb, 1,5-2,5 Mn | В песчаные формы | 245 | 15 | 80 |
| ЛЦ40С | 57-61 | 0,8-2,0 Pb | В кокиль | 215 | 20 | 80 |
| ЛЦ30А3 | 66-68 | 2-3 Al | В песчаные формы | 294 | 12 | 80 |
| ЛЦ16К4 | 78-81 | 3,0-4,5 Si | В песчаные формы | 294 | 15 | 100 |
| ЛЦ14К3С3 | 77-81 | 2-4 Pb, 2,5-4,5 Si | В кокиль | 294 | 15 | 100 |

Таблица 5

Химический состав и механические свойства некоторых бронз

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Cu), % | | | | Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья | Механические свойства | | |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|---------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|-----|
| | Sn | Pb | Zn | прочие | | $\sigma_{\text{в}}$, МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | Не менее | | |
| Деформируемые оловянные бронзы (ГОСТ 5017-2006) | | | | | | | | |
| БрОФ6,5-0,4 | 6-7 | - | - | 0,26-0,40 P, 0,1-0,2 Ni | Полосы, отжиг | 295 | 60 | 69 |
| БрОЦ4-3 | 3,5-4,0 | - | 2,7-3,3 | - | Полосы, отжиг | 290 | 35 | - |
| БрОЦС4-4-2,5 | 3-5 | 1,5-3,5 | 3-5 | - | Полосы, отжиг | 294 | 35 | - |
| Деформируемые безоловянные бронзы (ГОСТ 18175-78) | | | | | | | | |
| БрА5 | - | - | - | 4-6 Al | Листы, отжиг | 274 | 33 | - |
| БрАЖ9-4 | - | - | - | 8-10 Al, 2-4 Fe | Прутки прессованные | 540 | 15 | 110 |
| БрБ2 | - | - | - | 1,8-2,1 Be, 0,2-0,5 Ni | Прутки, закалка и старение | 1080 | 2 | 320 |
| БрКМц3-1 | - | - | - | 2,75-3,50 Si, 1,0-1,5 Mn | Полосы, отжиг | 350 | 35 | - |
| БрКН1-3 | - | - | - | 0,6-1,1 Si, 2,4-3,4 Ni, 0,1-0,4 Mn | Прутки, закалка и старение | 620 | 5 | - |

Продолжение таблицы 5

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Cu), % | | | | Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья | Механические свойства | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|-----|
| | Sn | Pb | Zn | прочие | | σ_b , МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | | | |
| Литейные оловянные бронзы (ГОСТ 613-79) | | | | | | | | |
| БрОЗЦ12С5 | 2,0-3,5 | 3-6 | 8-18 | - | В кокиль | 206 | 5 | 58 |
| БрО5Ц5С5 | 4-6 | 4-6 | 4-6 | - | В песчаные формы | 147 | 6 | 58 |
| БрО10Ц2 | 9-11 | - | 1-3 | - | В песчаные формы | 215,5 | 10 | 63 |
| Литейные безоловянные бронзы (ГОСТ 493-79) | | | | | | | | |
| БрА10Ж3Мц2 | - | - | - | 9-11 Al, 2-4 Fe, 1-3 Mn | В кокиль | 490 | 12 | 117 |
| БрА10Ж4Н4 | - | - | - | 9,5-11,0 Al, 3,5-5,5 Fe, 3,5-5,5 Ni | В кокиль | 587 | 6 | 166 |
| БрА11Ж6Н6 | - | - | - | 10,5-11,5 Al, 5,0-6,5 Fe, 5,0-6,5 Ni | В песчаные формы | 587 | 2 | 245 |

Например: БрОФ6,5-0,4 – деформируемая бронза, содержащая 6,5 % олова, 0,4 % фосфора и $100 - 6,5 - 0,4 = 93,1$ % меди.

Деформируемые оловянные бронзы (ГОСТ 5017-2006) обладают хорошими антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. Их используют для изготовления плоских и круглых пружин, барометрических коробок, мембран, антифрикционных деталей.

К деформируемым безоловянным бронзам (ГОСТ 18175-78) относят:

1. Алюминиевые бронзы БрА5, БрА7, БрАЖ9-4 и др. Они отличаются высокими механическими, антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, фланцы, шестерни, червячные колеса и другие ответственные детали.

2. Бериллиевые бронзы БрБ2 и др. Они имеют высокую прочность, упругость, коррозионную стойкость, хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Эти бронзы используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран, кулачков, пружинящих контактов и т.д.

3. Кремнистые бронзы БрКМц3-1, БрКН1-3. Они характеризуются хорошими механическими, упругими и антифрикционными свойствами. Такие бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются. Кремнистые бронзы используют вместо более дорогих оловянных для изготовления антифрикционных деталей, а также для замены бериллиевых бронз при производстве пружин, мембран и других упругих деталей, работающих в пресной и морской воде.

В марках литейных бронз (см. таблицу 5), как и в литейных латунях, среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей этот элемент.

Например: БрОЗЦ12С5 – литейная бронза, содержащая 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца и $100 - 3 - 12 - 5 = 80$ % меди.

Литейные оловянные (ГОСТ 613-79) и безоловянные бронзы (ГОСТ 493-79) обладают хорошей жидкотекучестью и малой усадкой, что позволяет применять их для изготовления сложных отливок, в частности художественного литья. Высокая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, пресной и морской во-

де способствует их широкому использованию для изготовления паровой арматуры. Литейные бронзы являются также хорошим антифрикционным материалом, их применяют для изготовления подшипников скольжения.

2.4. Цинковые сплавы

Промышленные цинковые сплавы разработаны на базе систем Zn-Al и Zn-Al-Cu. Поскольку цинк относительно плохо деформируется, детали из цинковых сплавов изготавливают литьем.

Литейные цинковые сплавы (таблица 6) по ГОСТ 25140-93 маркируют буквами и цифрами. Первая буква Ц означает основу сплава (цинк), последующие буквы – основные легирующие компоненты (А – алюминий и М – медь), а цифры – среднее содержание компонентов в процентах.

Например: ЦА4М3 – литейный цинковый сплав, содержащий около 4 % алюминия и 3 % меди.

Лучшими способами получения отливок из цинковых сплавов являются литье под давлением и литье в кокиль. Относительно низкая температура литья определяет легкие условия работы пресс-форм и кокилей, а высокая жидкотекучесть позволяет отливать тонкостенные детали сложной формы.

Наиболее широко литейные цинковые сплавы используют в автомобильной промышленности для отливки корпусов карбюраторов, насосов, спидометров, решеток радиаторов, деталей гидравлических тормозов, а также в других отраслях промышленности, бытовой технике для отливки деталей приборов, корпусов, арматуры и т.д.

Таблица 6

Химический состав (ГОСТ 25140-93) и механические свойства
некоторых литейных цинковых сплавов

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Zn), % | | | | Способ литья | Механические свойства | | |
|--------------|-------------------------------------------|---------|-----------|--------------|---------------|-----------------------|--------------|-----|
| | Al | Cu | Mg | прочие | | σ_b , МПа | δ , % | НВ |
| | | | | | | Не менее | | |
| ЦА4 | 3,5-4,5 | - | 0,02-0,06 | - | Под давлением | 256 | 1,2 | 70 |
| ЦА4М1 | 3,5-4,5 | 0,7-1,3 | 0,02-0,06 | - | Под давлением | 270 | 1,7 | 80 |
| ЦА4М3 | 3,5-4,5 | 2,5-3,7 | 0,02-0,06 | - | Под давлением | 290 | 1,5 | 90 |
| ЦА8М1 | 7,1-8,9 | 0,7-1,4 | 0,01-0,06 | - | В кокиль | 235 | 1,5 | 70 |
| ЦА30М5 | 28,5-32,1 | 3,8-5,6 | 0,01-0,08 | 0,01-0,50 Fe | В кокиль | 435 | 8 | 115 |

2.5. Титановые сплавы

Титановые сплавы по технологии изготовления подразделяют на деформируемые и литейные; по способности упрочняться термической обработкой – на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой; по структуре в отожженном состоянии – на α - (имеют гексагональную кристаллическую решётку), β - (с кубической объёмно-центрированной решёткой) и $(\alpha + \beta)$ -сплавы.

К α -сплавам относятся сплавы титана с алюминием, а также сплавы дополнительно легированные оловом или цирконием. Они характеризуются средней прочностью при 20 °С, высокими механическими свойствами при пониженных и повышенных температурах. Такие сплавы обладают отличной свариваемостью и удовлетворительной обрабатываемостью резанием. Недостатки сплавов с α -структурой – неупрочняемость термической обработкой и низкая технологическая пластичность.

Двухфазные $(\alpha + \beta)$ -сплавы обладают лучшим сочетанием механических и технологических свойств. Они легированы в основном алюминием с добавками ванадия, молибдена, хрома, железа. Сплавы $\alpha + \beta$ упрочняются термической обработкой – закалкой и старением. В отожжённом состоянии они имеют хорошую пластичность, а после закалки и старения – высокую прочность при 20 °С и при повышенных температурах. Двухфазные сплавы удовлетворительно свариваются и обрабатываются резанием.

Однофазные β -сплавы не имеют промышленного применения, так как обладают пониженной удельной прочностью и высокой стоимостью.

Маркировка деформируемых титановых сплавов (таблица 7) по ГОСТ 19807-91 отражает наименование организации-разработчика и порядковый номер разработки сплава. Так, марка ВТ означает «ВИАМ титан» (ВИАМ – Всероссийский институт авиационных материалов); марка ОТ означает «Опытный титан» – сплавы, разработанные совместно ВИАМом и заводом ВСМПО (г. Верхняя Салда, Свердловской области); марка ПТ означает «Прометей титан» – разработчик ЦНИИ КМ («Прометей», г. Санкт-Петербург).

Таблица 7

Химический состав (ГОСТ 19807-91) и механические свойства
некоторых деформируемых титановых сплавов

| Марка сплава | Содержание элементов (остальное Ti), % | | | | Структура, вид термической обработки | Механические свойства | | | |
|--------------|----------------------------------------|---------|---------|------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | Al | V | Mo | прочие | | σ_b , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % , не менее | КСУ, МДж/м ² , не менее |
| BT5 | 4,5-6,2 | 1,2 | 0,8 | 0,3 Zr | α -сплавы, отжиг | 700-950 | 660-850 | 10 | 0,5 |
| BT5-1 | 4,3-6,0 | 1,0 | - | 2-3 Sn 0,3 Zr | | 750-950 | 650-850 | 10 | 0,4 |
| OT4 | 3,5-5,0 | - | - | 0,8-0,2 Mn 0,3 Zr | | 700-900 | 550-650 | 12 | 0,5 |
| BT6 | 5,3-6,8 | 3,5-5,3 | - | 0,3 Zr | $\alpha+\beta$ -сплавы, закалка и старение | 1100-1150 | 1000-1050 | 14 | 0,3 |
| BT14 | 3,5-6,3 | 0,9-1,9 | 2,5-3,8 | 0,3 Zr | | 1150-1400 | 1080-1300 | 6 | - |
| BT22 | 4,4-5,7 | 4,0-5,5 | 4,0-5,5 | 0,5-1,5 Cr 0,5-1,5 Fe 0,3 Zr | | 1100-1250 | - | 9 | 0,4 |

Литейные титановые сплавы специально не создавались. Для фасонного литья используют сплавы тех же составов (с несколько большим содержанием примесей), что и для производства деформируемых заготовок. В конце марки литейного сплава добавляют букву «Л» (например, ВТ20Л). Такие сплавы обладают более низкими механическими свойствами, чем деформируемые. Упрочняющая термическая обработка резко снижает пластичность литейных сплавов и поэтому не применяется.

Титановые сплавы получили широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении, химической и других отраслях промышленности. Их используют для обшивки сверхзвуковых самолетов, изготовления деталей реактивных авиационных двигателей, корпусов ракетных двигателей, баллонов для сжатых и сжиженных газов, обшивки морских судов, подводных лодок и т.д.

2.6. Антифрикционные сплавы

Антифрикционные сплавы применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Эти сплавы должны иметь достаточную твердость, но не очень высокую, чтобы не вызвать сильного износа вала; сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений, т.е. быть пластичными; удерживать смазочный материал на поверхности; иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником; обладать хорошей теплостойкостью для обеспечения интенсивного теплоотвода от поверхностей трения; быть устойчивыми к коррозии.

Для обеспечения этих свойств структура антифрикционных сплавов должна быть неоднородной и состоять из мягкой и пластичной основы с включениями твердых частиц (реже из твердой основы и мягких включений).

В качестве антифрикционных сплавов используют чугуны, сплавы на основе меди-бронзы и латуни, сплавы на оловянной, свинцовой, цинковой и алюминиевой основе.

Чугунные вкладыши изготавливают из серых чугунов СЧ15, СЧ20 (ГОСТ 1412-85) и легированных антифрикционных чугунов: серых АЧС-1, АЧС-2 и др.; высокопрочных АЧВ-1 и АЧВ-2; ковких АЧК-1 и АЧК-2 (ГОСТ 1585-85). Они предназначены для работы при значительных давлениях и малых скоростях

скольжения. К достоинствам чугунов можно отнести их невысокую стоимость, к недостаткам – плохую прирабатываемость, чувствительность к недостаточности смазочного материала и пониженную стойкость к воздействию ударных нагрузок.

Бронзы имеют лучшие, чем чугуны, антифрикционные свойства. Чаще всего используют оловянные и свинцовые бронзы БрО10Ф1, БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3 (ГОСТ 613-79), БрС30 (ГОСТ 493-79). Бронзы применяют для монолитных подшипников скольжения турбин, электродвигателей, компрессоров, работающих при значительных давлениях и средних скоростях скольжения.

Латуни применяют в качестве заменителей бронз для опор трения. Однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам. Латуни ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и др. (ГОСТ 17711-93) применяют при малых скоростях скольжения и невысоких нагрузках. Их часто используют для опор трения приборов.

Антифрикционные сплавы на оловянной или свинцовой основе называют баббитами (таблица 8). В соответствии с ГОСТ 1320-74 к сплавам на оловянной основе относят баббиты Б83 (содержит примерно 83 % олова), Б88 (88 % олова) и Б83С (83 % олова, со свинцом), на свинцовой основе – Б16 (16 % олова), БС6 (6 % олова, с сурьмой) и БН (с никелем). Другую группу образуют более дешевые свинцово-кальциевые баббиты (ГОСТ 1209-90) БКА (с кальцием и алюминием), БК2 (2 % олова, с кальцием) и др.

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. Поэтому баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Наилучшими свойствами обладают оловянные баббиты. Их используют для подшипников ответственного назначения (дизелей, паровых турбин и т.п.), работающих при больших скоростях и нагрузках.

Таблица 8

Химический состав некоторых антифрикционных сплавов

| Марка сплава | Содержание элементов, % | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------------------|
| | Sn | Sb | Cu | Pb | Al | Ni | прочие |
| Баббиты (ГОСТ 1320-74) | | | | | | | |
| Б83 | остальное | 7,3-7,8 | 2,5-3,5 | - | - | 0,15-0,25 | 0,8-1,2 Cd |
| Б88 | остальное | 10-12 | 5,5-6,5 | - | - | - | - |
| Б83С | остальное | 9-11 | 5-6 | 1,0-1,5 | - | - | - |
| Б16 | 15-17 | 15-17 | 1,5-2,0 | остальное | - | - | - |
| БС6 | 5,5-6,5 | 5,5-6,5 | 0,1-0,3 | остальное | - | - | - |
| БН | 9-11 | 13-15 | 1,5-2,0 | остальное | - | - | - |
| Баббиты (ГОСТ 1209-90) | | | | | | | |
| БКА | - | - | - | остальное | 0,05-0,20 | - | 0,95-1,15 Ca, 0,7-0,9 Na |
| БК2 | 1,5-2,1 | - | - | остальное | - | - | 0,30-0,55 Ca, 0,2-0,4 Na, 0,06-0,11 Mg |

Продолжение таблицы 8

| Марка сплава | Содержание элемента, % | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|----|---------|----|-----------|---------|------------------------------|
| | Sn | Sb | Cu | Pb | Al | Ni | прочие |
| Цинковые антифрикционные сплавы (ГОСТ 21438-95) | | | | | | | |
| ЦАМ10-5 | - | - | 4,0-5,5 | - | 9-12 | - | 0,03-0,06 Mg остальное Zn |
| ЦАМ9-1,5 | - | - | 1-2 | - | 9-11 | - | 0,03-0,06 Mg остальное Zn |
| Алюминиевые антифрикционные сплавы (ГОСТ 14113-78) | | | | | | | |
| АО6-1 | 5-7 | - | 0,7-1,3 | - | остальное | 0,7-1,3 | - |
| АО9-2 | 8-10 | - | 2,0-2,5 | - | остальное | 0,8-1,2 | 0,3-0,7 Si |
| АО20-1 | 17-23 | - | 0,7-1,2 | - | остальное | - | - |

К антифрикционным цинковым сплавам по ГОСТ 21438-95 (см. таблицу 8) относят ЦАМ10-5 (содержит 10 % алюминия и 5 % меди) и ЦАМ9-1,5 (9 % алюминия и 1,5 % меди). Отличаясь высокими антифрикционными свойствами и достаточной прочностью при комнатной температуре, эти сплавы могут заменять бронзы для узлов трения, температура которых не превышает 100 °С. При более высоких температурах сплавы размягчаются и налипают на вал.

Алюминиевые антифрикционные сплавы изготавливают по ГОСТ 14113-78 (см. таблицу 8). К ним относят АО6-1 (содержит 6 % олова и 1 % меди), АО9-2 (9 % олова и 2 % меди) и др. Алюминиевые сплавы обладают достаточно высокими антифрикционными свойствами, но по технологичности уступают баббитам. Их более высокая твердость требует обработки цапф с повышенной чистотой, а высокий коэффициент линейного расширения – более тщательной сборки с большими зазорами. Алюминиевые сплавы применяют вместо баббитов и свинцовой бронзы в подшипниках, работающих при высоких нагрузках и средних скоростях.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с классификацией, маркировкой, свойствами и областью применения сплавов цветных металлов.
2. Расшифровать марки цветных сплавов по варианту задания, взятому из приложения.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение основных теоретических положений.
3. Расшифровку марок заданных сплавов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам классифицируют алюминиевые сплавы?

2. Какие алюминиевые сплавы можно упрочнить термической обработкой?

3. Как маркируют деформируемые и литейные алюминиевые сплавы?

4. Назовите основные элементы, входящие в состав латуней.

5. Какие сплавы называют бронзами?

6. Как маркируют деформируемые латуни и бронзы?

7. Как маркируют литейные латуни и бронзы?

8. Как классифицируют титановые сплавы по структуре в отожженном состоянии?

9. Сплавы каких цветных металлов используют как антифрикционные?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение : учебник для вузов / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 648 с.

2. Лахтин, Ю. М. Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва : Альянс, 2009. – 528 с.

3. Гуляев, А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – Москва : Альянс, 2011. – 644 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Задание на расшифровку марок чугунов и цветных сплавов

| Номер варианта | Сплавы |
|----------------|-----------------------------|
| 1 | Д16; ЛК80-3; МА5 |
| 2 | ЛН65-5; В95; ЦА4 |
| 3 | АМг6; БрО3Ц12С5; МЛ5 |
| 4 | ЛО62-1; АК8М; ЦАМ10-5 |
| 5 | БрОЦС5-5-5; МА11; АМ5 |
| 6 | ЛА77-2; БрА5; АМц |
| 7 | БрО4Ц4С17; МА14; ЦАМ9-1,5 |
| 8 | ЛАН60-1-1; АМг3; МЛ8 |
| 9 | БрБ2; Л63; ЦА30М5 |
| 10 | ЛЖМц59-1-1; БрКН1-3; Д1 |
| 11 | БрА7; ЛЦ30А3; МЛ10 |
| 12 | Б88; Л90; БрА11Ж6Н6 |
| 13 | БрАЖ9-4; ЦА4М3; ЛК80-3 |
| 14 | АМг5; ЛЦ40С; БрОЦ4-3 |
| 15 | БрО5ЦНС25; ЛАН59-3-2; МА14 |
| 16 | ЛК80-3; АМг6; ЦА8М1 |
| 17 | В95; ЛЦ40Мц3Ж; БрОЦС4-4-2,5 |
| 18 | БрОФ4-0,25; ЛЦ40С; ЦА30М5 |
| 19 | ЛА77-2; Д18; БрО3Ц12С5 |
| 20 | БрОЦС5-5-5; ЛЦ16К4; АЧС-1 |
| 21 | АМц; БрА10Ж3Мц2; МЛ12 |
| 22 | ЛАН60-1-1; БрО10Ц2; ЦА4М1 |
| 23 | АМг2; ЛЖМц59-1-1; МЛ15 |
| 24 | БрБ2; ЛЦ38Мц2С2; МА19 |
| 25 | Л90; Д18; БрА10Ж3Мц2 |
| 26 | БрА7; ЛО70-1; АМг2 |
| 27 | АЧК-1; ЛЦ30А3; БрАЖ9-4 |
| 28 | БрА10Ж4Н4; ЛЦ40С; МЛ8 |
| 29 | БрАЖМц10-3-1,5; МА14; Л63 |
| 30 | АЧВ-2; ЛН65-5; БрО10Ц2 |

Составитель
Вячеслав Владиславович Драчев

**КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материаловедение» для студентов технических направлений
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 04.04.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 30 экз. Заказ.

КузГТУ. 650000, Кемерово, уд. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составители
А. С. Фурман
Н. В. Фурман

**КОНСТРУКЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

Методические указания по выполнению курсового проекта

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»
в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2015

Рецензенты

Стенин Д. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей

Подгорный А. И. – доцент, кандидат технических наук, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Фурман Андрей Сергеевич, Фурман Наталья Владимировна. Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: методические указания к выполнению курсового проекта [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», образовательная программа «Автомобили и автомобильное хозяйство», всех форм обучения / А. С. Фурман, Н. В. Фурман. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Изложены содержание и порядок выполнения курсового проекта.

© КузГТУ, 2015
© Фурман А. С.,
Фурман Н. В., 2015

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цели и задачи курсового проектирования

Курсовой проект выполняется с целью закрепления знаний, полученных студентами при изучении курса "Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования".

Целями курсового проекта являются:

– систематизация, закрепление и углубление знаний, полученных студентами по дисциплине "Конструкция и эксплуатационные свойства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования";

– привитие навыков в использовании специальной литературы, посвященной исследованиям эксплуатационных свойств ТиТТМО;

– выработка навыков самостоятельного анализа и оценки эксплуатационных свойств ТиТТМО.

Эти цели достигаются при решении в процессе выполнения курсового проекта следующих задач:

– развивая умения, творчески использовать теорию ТиТТМО для оценки эксплуатационных свойств конкретного образца ТиТТМО;

– приобретение навыков инженерного анализа и оценки степени соответствия эксплуатационных свойств автотранспортных средств действующим требованиям, критериям и оценочным показателям.

1.2. Состав проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Примерное содержание пояснительной записки следующее:

- а) титульный лист,
- б) задание на курсовой проект,
- в) техническое задание,
- г) расчет эксплуатационных свойств ТиТТМО,
- д) список использованной литературы,
- е) приложения

Графическая часть проекта включает в себя:
лист эскизной компоновки ТиТТМО и кинематической схемы трансмиссии.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

2.1. Техническое задание

2.1.1. Цель разработки и область применения

В первой разделе необходимо указать тип ТиТТМО, ее назначение, дать краткую характеристику области ее применения, дорожных условий и режимов эксплуатации, перевозимых грузов, указать наименование и обозначение прототипа и зарубежных аналогов, привести их параметры.

2.1.2. Технические требования

В разделе указывают показатели и эксплуатационные характеристики ТиТТМО с учетом действующих стандартов и норм, современного технического уровня и тенденций развития конструкций ТиТТМО.

Данный раздел курсового проекта должен состоять из восьми подразделов:

а) Основные параметры и размеры. Проводится выбор основных конструктивных параметров ТиТТМО, к которым относятся:

масса ТиТТМО и ее распределение по осям, при необходимости ограничение масс отдельных агрегатов, база и габаритные размеры, размеры грузовой платформы для грузовых ТиТТМО или вместимость кузова по длине и ширине для легковых автомобилей и автобусов, мощность и рабочий объем двигателя, удельные показатели: отношение рабочего объема двигателя к массе снаряженного автомобиля для легковых автомобилей, удельная мощность для грузовых ТиТТМО, коэффициент снаряженной массы.

Полная масса ТиТТМО определяется в кг

– для грузовых и автобусов:

$$M_a = M_{сн} + M_{зр} + 75n, \quad (1)$$

– для легковых:

$$M_a = M_{\text{сух}} + M'_{\text{сн}} + M_{\text{б}} + 75n, \quad (2)$$

где n – число пассажиров (включая водителя), чел.; $M_{\text{сн}}$ – снаряженная масса автомобиля, кг; $M_{\text{гр}}$ – масса перевозимого груза, кг; $M_{\text{сух}}$ – сухая масса автомобиля, кг; $M'_{\text{сн}}$ – масса снаряжения, кг; $M_{\text{б}}$ – масса багажа, кг.

Значения параметров $M_{\text{сн}}$, $M_{\text{гр}}$, $M_{\text{сух}}$, $M'_{\text{сн}}$ берутся из справочной литературы, $M_{\text{б}}$ принимается 10 кг на одного пассажира.

Основные параметры ТиТТМО должны быть обоснованы. Для этого необходимо дать критический анализ и привести необходимый статистический материал (в виде таблиц или графиков), относящийся к конструкциям, однотипным с проектируемым. Следует рассмотреть опыт эксплуатации прототипа, отметить недостатки его конструкции и возможные пути их исправления. Выбранные параметры должны быть даны в сравнении с параметрами прототипа и с современными аналогичными образцами зарубежной автомобильной техники.

б) Эксплуатационные свойства. Приводятся параметры эксплуатационных свойств, которые должна иметь проектируемая ТиТТМО: максимальная скорость, время разгона до заданной скорости, максимальный преодолеваемый подъем, максимальное замедление, тормозной путь, контрольный расход топлива, дорожный просвет, углы свеса, радиус проходимости, коэффициент сцепной массы и удельное давление в контакте колеса с дорогой, минимальный радиус поворота, габаритный радиус поворота, габаритная полоса движения, запас хода по топливу. В данном подразделе выбираются также остальные параметры ТиТТМО, необходимые при расчете эксплуатационных свойств: КПД трансмиссии, шины, фактор обтекаемости.

Выбор шин производится по наиболее нагруженным колесам с помощью таблиц ГОСТ 4754-74 (для легковых автотранспортных средств), ГОСТ 5513-69 и ГОСТ 14917-69 (для грузовых автотранспортных средств и автобусов), ГОСТ 13298-70 (для автотранспортных средств повышенной проходимости).

Таблица 1

Распределение полной массы между осями ТиТТМО

| Тип ТиТТМО | Масса, приходящая на заднюю ось (в долях от полной массы) |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Грузовые (грузоподъемностью более 1 т) | 0,67-0,75 |
| Грузовые (грузоподъемностью менее 1 т) | 0,53-0,58 |
| Автобусы (для сельской местности) | 0,70-0,73 |
| Автобусы (городские, междугородные) | 0,63-0,66 |
| Легковые: | |
| -двигатель спереди, ведущие колеса сзади | 0,52-0,55 |
| -с задним расположением двигателя | 0,56-0,6 |
| -переднеприводные | 0,43-0,47 |
| Повышенной проходимости: | |
| -двухосные | 0,50-0,54 |
| -трехосные | 0,70-0,72 (для тележки) |

В графе «Максимально допустимая нагрузка и давление, соответствующие этой нагрузке» соответствующего ГОСТа находят нагрузку, равную массе, приходящейся на наиболее нагруженные колеса, или ближайшую большую нагрузку; в графе «Обозначение шины» – соответствующее этой нагрузке обозначение шины в графе «статический радиус» – $r_{ст}$.

При тяговом расчете принимаем $r_k = r_d = r_{ст}$.

Выбор фактора обтекаемости (kF) производится по статистическим данным.

Здесь k – коэффициент обтекаемости, зависящий от формы автотранспортного средства, $Нс^2/м^4$; F – лобовая площадь его проекции на плоскость, перпендикулярную продольной оси ТиТТМО, $м^2$.

Точное определение лобовой площади затруднительно, и на практике пользуются эмпирической формулой

– для грузовых и автобусов:

$$F = B H_2, \quad (3)$$

– для легковых:

$$F = 0,8B_2 H_2, \quad (4)$$

где B – колея автотранспортного средства, м; B_2 – габаритная ширина ТИТМО, м; H_2 – габаритная высота ТИТМО, м.

Таблица 2

Средние значения коэффициента обтекаемости

| Тип автотранспортного средства | $k, \text{Нс}^2/\text{м}^4$ |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Легковые | 0,2-0,35 |
| Грузовые | 0,6-0,7 |
| Грузовые автопоезда | 0,75 |
| Автобусы | 0,25-0,4 |
| Гоночные | 0,13-0,15 |

Коэффициент полезного действия трансмиссии выбирается в зависимости от типа автотранспортного средства.

Таблица 3

Рекомендуемые значения КПД трансмиссии

| Тип автотранспортного средства | $\eta_{\text{тр}}$ |
|------------------------------------------------|--------------------|
| Легковые | 0,92 |
| Грузовые 2-осные с одинарной главной передачей | 0,9 |
| Грузовые 2-осные с двойной главной передачей | 0,88 |
| Грузовые 3-осные | 0,84 |
| Автобусы | 0,88-0,9 |
| Полноприводные легковые | 0,86 |
| Полноприводные грузовые | 0,80 |

в) Надежность конструкции. Указываются амортизационный пробег и срок службы ТИТМО в годах, пробег до капитального ремонта, требования к равнопрочности или к кратности ресурсов составных частей ТИТМО.

г) Эксплуатационная и ремонтная технологичность. Приводятся периодичность технического обслуживания (ТО), трудоемкости ТО и текущего ремонта (ТР), требования к приспособленности и удобству проведения ТО и ТР, а также диагностирования.

д) Безопасность конструкции. Указываются требования по обеспечению конструктивной безопасности: требования к узлам, определяющим безопасность движения, к приборам сигнализации и освещения, требования по обеспечению необходимых обзора и видимости, обеспечению защиты водителя, пассажиров и пешеходов при аварии, требования к вибрационным нагрузкам и другие требования в соответствии с действующими санитарными нормами.

е) Эстетические и эргономические показатели. Указываются требования к технической эстетике, комфортабельности и использованию внутреннего объема кабины или кузова, основанные на данных анализа тенденций развития внешних форм, внутреннего пространства в отделке ТиТТМО. В подразделе также указывают предельные значения внешнего и внутреннего шума, токсичности отработавших газов, параметров обитаемости кабины (температура, вентиляция) и усилий, необходимых для управления ТиТТМО.

ж) Составные части, исходные и эксплуатационные материалы. Приводится краткая характеристика агрегатов и систем ТиТТМО: указываются исходные (металлы, пластмассы, резина, краски) и эксплуатационные (топливо, масла, жидкости) материалы, намечаемые для применения.

з) Специальные требования. Указываются специальные дополнительные требования, вытекающие из специфики ТиТТМО.

2.1.3. Приложения к техническому заданию

В приложениях приводятся чертеж общего вида и эскизная компоновка ТиТТМО.

Эскизная компоновка производится на листе формата А1, где выполняется чертеж ТиТТМО в трех проекциях. ТиТТМО показываются движущейся влево в ее проектное положение. В ходе эскизного проектирования выбирается наиболее рациональное размещение основных агрегатов ТиТТМО и определяются их

установочные размеры, планируется рабочее место водителя и места пассажиров, выбирается положение грузовой платформы.

Эскизная компоновка проводится следующим образом:

- выбрать компоновочную схему ТиТМО;
- определить положение водителя, для чего изготовить шаблон фигуры человека, построить линию внутренних границ пола и линию уровня подушки сидения, подобрать и построить контурную линию сидения;
- построить контурную линию крыши кузова или кабины;
- установить положение силового агрегата, двигателя, сцепления, коробки передач (для приближенного определения размеров агрегатов применяют метод пропорционального пересчета размеров существующих агрегатов прототипа);
- установить положение осей колес;
- построить линию осей карданной передачи;
- определить основные размеры поперечного сечения ТиТМО по осям переднего и заднего мостов;
- определить положение рулевого колеса, педалей, рычагов панели приборов;
- построить линии контура рамы или основания кузова;
- выбрать место расположения топливного бака, запасного колеса, определить контур багажника;
- для автобусов определить место расположения и контуры дверей;
- построить (завершить) линию контура ТиТМО: построить линию крыши капота, крыши багажника, ветрового стекла и стекла заднего окна, нанести границы переднего и заднего свесов, построить контуры поперечных сечений;
- для грузовых автомобилей построить линию контура грузовой платформы;
- проверить полученные габаритные размеры и параметры массы на соответствие значениям, установленным в техническом задании (отразить в пояснительной записке).

Изображение эскизной компоновки ТиТМО выполняют с максимальными упрощениями, предусмотренными ЕСКД для рабочих чертежей. Узлы и агрегаты изображают только контурными линиями. Допускается изображать одновременно контуры одних и тех же агрегатов при различных вариантах расположения.

На компоновочной схеме ТиТТМО должны быть указаны габаритные размеры ТиТТМО, установочные размеры основных узлов и агрегатов относительно осей и верхней полки лонжерона рамы или опорной поверхности, дорожные просветы, углы свеса, углы установки карданных валов, угол наклона двигателя, смещения от продольной оси автомобиля, зазоры между подрессоренными и неподрессоренными частями. Положение двигателя на чертежах задают точкой пересечения оси коленчатого вала с плоскостью переднего торца блока цилиндров. Высотные размеры, изменяющиеся при загрузке ТиТТМО, указывают для двух состояний: без нагрузки и под нагрузкой.

При компоновке грузового ТиТТМО с опрокидывающейся кабиной кабину изображают в транспортном и откинутом положении и наносят размеры, определяют угол опрокидывания кабины. При компоновке автомобилей-самосвалов кузов также изображается в транспортном и откинутом положении.

Полученные в результате эскизной компоновки габаритные размеры не должны превышать предельные значения, установленные нормативными документами.

Компоновочная схема проектируемой ТиТТМО должна быть шагом вперед по сравнению со схемой прототипа, с учетом современного состояния и тенденций развития конструкций ТиТТМО.

На чертеже эскизной компоновки АТС приводится кинематическая схема трансмиссии.

2.2. Расчет эксплуатационных свойств ТиТТМО.

2.2.1. Внешняя скоростная характеристика двигателя.

Внешняя скоростная характеристика двигателя представляет собой зависимость мощности и крутящего момента двигателя от частоты вращения коленчатого вала.

Внешняя скоростная характеристики двигателя строится с помощью следующих формул:

$$N_e = N_{\max} \left[a \left(\frac{n_e}{n_N} \right) + b \left(\frac{n_e^2}{n_N^2} \right) - c \left(\frac{n_e^3}{n_N^3} \right) \right], \quad (5)$$

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n_e}, \quad (6)$$

где M_e – крутящий момент двигателя, Нм; N_e – значение мощности, развиваемое двигателем, кВт; n_N – частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности (номинальная), об/мин; n_e – задаваемая частота вращения, об/мин; N_{max} – максимальная мощность двигателя, кВт.

По формулам определяются значения мощности и крутящего момента двигателя от 0,1 до 1,2 номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя с интервалом 0,1 от номинальной частоты, при этом начальные обороты двигателя, т.е. обороты холостого хода, должны находиться в пределах:

500-600 об/мин – дизельные двигатели;

500-1000 об/мин – карбюраторные, в зависимости от быстротходности.

Коэффициенты a , b и c зависят от типа и особенности конструкции двигателя. Для карбюраторных двигателей можно принимать $a = b = c = 1$, а для дизелей, в зависимости от типа камеры сгорания, могут быть приняты следующие значения коэффициентов:

Таблица 4

Значения коэффициентов Лейдермана для дизелей

| Тип камеры сгорания: | a | b | c |
|----------------------|------|------|------|
| предкамера | 0,87 | 1,13 | 1 |
| вихревая камера | 0,6 | 1,4 | 1 |
| неразделенная камера | 0,53 | 1,56 | 1,09 |

2.2.2. Определение максимальной скорости.

Для определения максимальной скорости ТиТТМО в формулу (7) подставляем несколько значений скоростей. По полученным значениям строим кривую изменения мощностей сил сопротивления в зависимости от скорости движения. На этом же графике проводим скоростную мощность автомобиля N_v , выдаваемую двигателем. В точке пересечения этих кривых и будет находиться максимальная скорость автомобиля.

$$N_v = \frac{\kappa F V_{a \max}^3}{1000 \eta_{TP}} + \frac{M_a g \psi V_{a \max}}{1000 \eta_{TP}}, \quad (7)$$

где κ – коэффициент обтекаемости, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$; F – лобовая площадь автомобиля, м^2 ; $V_{a \max}$ – максимальная скорость АТС, $\text{м}/\text{с}$; η_{TP} – КПД трансмиссии; M_a – масса АТС, кг ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; ψ – коэффициент общего дорожного сопротивления.

При расчете значение N_v принимать равным N_e по внешней скоростной характеристике с отношением частот вращения коленчатого вала двигателя 1,1 для карбюраторных двигателей без ограничителей, 0,9 для карбюраторных двигателей с ограничителем и 1,0 для дизелей.

При $V_a \geq 15$ $\text{м}/\text{с}$ коэффициент общего дорожного сопротивления корректируется по формуле

$$\psi = \psi_0 \left(1 + \frac{V_a^2}{1500} \right), \quad (8)$$

где ψ_0 – коэффициент общего дорожного сопротивления при $V_a < 15$ $\text{м}/\text{с}$, $\psi_0 = 0,016$.

2.2.3. Выбор передаточных чисел трансмиссии

Передаточное число главной передачи рассчитывают из условия обеспечения максимальной скорости движения на высшей передаче. Частоту вращения коленчатого вала двигателя соответствующую максимальной скорости принять равной: номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя для дизеля, 0,9 от номинальной для карбюраторного двигателя с ограничителем, и 1,1 от номинальной для карбюраторного двигателя без ограничителя.

$$i_z = 0,105 \frac{n_v r_d}{V_{a \max} i_{KB} i_d}, \quad (9)$$

где r_d – радиус колеса динамический, м ; i_{KB} – передаточное число высшей передачи КПП; i_d – передаточное число дополнительной коробки.

Передаточное число первой передачи КПП выбирается из условий преодоления максимального дорожного сопротивления и сохранения сцепления ведущих колес с дорогой по формулам

$$i_{k1} = \frac{M_a g \psi_{\max} r_{\partial}}{M_{e \max} i_2 i_{\partial} \eta_{mp}}, \quad (10)$$

где $M_{e \max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Нм; i_2 – передаточное число главной передачи; i_{∂} – передаточное число дополнительной коробки; ψ_{\max} – максимальный коэффициент общего дорожного сопротивления принимается равным максимальному динамическому фактору; η_{mp} – КПД трансмиссии.

$$i_{k1} \leq \frac{M_{авед} g \varphi r_{\partial}}{M_{emax} i_2 i_{\partial} \eta_{TP}}, \quad (11)$$

где $M_{авед}$ – масса, приходящаяся на ведущие колеса автомобиля, кг; φ – коэффициент сцепления колес с дорогой (принимается 0,8 для легковых автомобилей и 0,7 для грузовых).

Передаточные числа промежуточных ступеней рассчитываются по формуле

$$i_k = \sqrt[n-1]{i_{k1}^{n-k} i_{кв}^{k-1}}, \quad (12)$$

где k – номер ступени КПП; n – число ступеней в КПП.

2.2.4. Тяговый баланс.

Уравнение тягового баланса решается графическим путем: строится тяговая характеристика $T_{иГТМО}$ на каждой ступени коробки передач, кривая силы общего дорожного сопротивления, а также кривая суммы сил сопротивления воздуха и общего дорожного сопротивления.

Формулы для расчета:

- Скорость на i -й передаче:

$$V_a = 0,105 \frac{n_e r_k}{i_{k1} i_2}, \quad (13)$$

где r_k – радиус колеса кинематический, м; i_k – передаточное число i -й передачи КПШ; i_r – передаточное число главной передачи.

- Сила тяги на i -й передаче:

$$P_m = \frac{M_e i_k i_r \eta_{mp}}{r_d}, \quad (14)$$

где M_e – крутящий момент двигателя, Нм.

– Сила сопротивления воздуха:

$$P_v = \kappa F V_a^2. \quad (15)$$

– Сила общего дорожного сопротивления:

$$P_d = M_a g \psi. \quad (16)$$

2.2.5. Динамическая характеристика.

Для построения динамической характеристики определяют динамический фактор ТиТТМО для скоростей движения от минимальной до максимальной на каждой ступени коробки передач с интервалом, соответствующим частотам вращения вала двигателя через 0,1 от номинальной частоты. На динамической характеристике наносят кривую коэффициента общего дорожного сопротивления, а также дополняют номограммой нагрузок.

Динамический фактор определяют по формуле

$$D = \frac{P_m - P_v}{M_a g}, \quad (17)$$

где P_m – сила тяги автомобиля, Н; P_v – сила сопротивления воздуха, Н.

Масштабный коэффициент для перехода к оси D_0 (ось поперечной ТиТТМО) можно рассчитать по формуле

$$M_{D0} = M_D \frac{M_a g}{M_0 g}, \quad (18)$$

где M_D – масштабный коэффициент по оси D , 1/мм; M_0 – снаряженная масса, кг.

2.2.6. Ускорение

Ускорение определяют, используя величины динамического фактора, для тех же значений скоростей движения на каждой ступени коробки передач по формуле

$$j = \frac{(D - \psi)g}{\delta j}, \quad (19)$$

где D – динамический фактор; δj – коэффициент учета вращающихся масс.

Коэффициент учета вращающихся масс определяется по формуле

$$\delta j = 1,04 + 0,04i_k^2, \quad (20)$$

где i_k – передаточное число i -й передачи КПП.

2.2.7. Время и путь разгона

Данные показатели приемистости ТиТТМО определяются аналитическим способом. Для расчета используется график ускорений. Переключение передач осуществляется при скоростях, соответствующих пересечению кривых ускорений, либо, если пересечения нет, при скоростях соответствующих номинальным оборотам двигателя на предыдущей ступени. Время на переключение передач принимается равным одной секунде для легковых, а также микроавтобусов и грузовых автомобилей малой грузоподъемности. Для остальных ТиТТМО время переключения передач составляет две секунды. На графиках времени и пути разгона отмечают значения, соответствующие разгону легковых ав-

томобилей до 100 км/ч, остальных АТС до 60 км/ч. Расчет проводится следующим образом.

Кривая ускорения для каждой передачи разбивается на ряд интервалов скоростей и принимается, что в каждом интервале скорости движение происходит с постоянным ускорением j_{cp} м/с²:

$$j_{cp} = \frac{j_1 + j_2}{2}, \quad (21)$$

где j_1 и j_2 – соответственно величины ускорений в начале и конце выбранного интервала скорости, м/с².

При изменении скорости в интервале ΔV среднее ускорение можно определить как

$$j_{cp} = \frac{V_1 - V_2}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (22)$$

отсюда время разгона в том же интервале изменения скорости:

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{j_{cp}}. \quad (23)$$

Подставляя значение j_{cp} , можно определить время разгона в данном интервале скоростей. Общее время разгона от минимально устойчивой скорости V_{min} до конечной V_{max} получается суммированием времени разгона на отдельных интервалах:

$$\sum tp = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n. \quad (24)$$

Путь разгона в интервале скорости ΔV определяется при помощи графика времени разгона по формуле

$$\Delta S = V_{c\delta} \Delta t = \frac{V_1 + V_2}{2} \Delta t, \quad (25)$$

где V_1 и V_2 – соответственно скорости движения в начале и конце интервала времени Δt .

Общий путь разгона $\sum Sp$ от минимальной скорости до конечной определяется суммированием пути разгона всех предыдущих участков:

$$\sum Sp = \Delta S1 + \Delta S2 + \dots \Delta Sn . \quad (26)$$

2.2.8. Мощностной баланс АТС

График мощностного баланса строят, используя уравнение мощностного баланса для определения мощностей сопротивления движению и сопротивления воздуха, делят их значения на коэффициент полезного действия трансмиссии, приводя таким образом мощности сил сопротивления к мощности двигателя. Внешнюю скоростную характеристику двигателя наносят на график для каждой ступени коробки передач, используя соотношение между скоростью движения ТиТМО и частотой вращения коленчатого вала двигателя. Суммарные кривые мощности сопротивления воздуха и дороги строят для двух значений коэффициента дорожного сопротивления: 0,016 и 0,025 (учитывая их изменение от скорости движения при значениях, больших 15 м/с).

Расчет производится по формулам

$$\frac{N_d}{\eta_{mp}} = \frac{M_a g \psi V_a}{1000 \eta_{mp}} , \quad (27)$$

$$\frac{N_e}{\eta_{mp}} = \frac{\kappa F V_a^3}{1000 \eta_{TP}} . \quad (28)$$

2.2.9. Остановочный путь.

Определяется при экстренном торможении со скоростей высшей передачи КПП до полной остановки. Коэффициент сцепления принимается равным 0,3; 0,5; 0,8 для легковых автомобилей, микроавтобусов и грузовых автомобилей малой грузоподъемности; 0,2; 0,4; 0,6 – для остальных типов ТиТМО. На графике отмечаются нормативные показатели тормозного пути для заданного типа ТиТМО. Расчет проводится по формуле

$$S_o = \left(\tau_p + \tau_{cp} + 0,5\tau_n \right) V_a + \frac{V_a^2}{2\phi g} , \quad (29)$$

где τ_p – время реакции водителя, с; $\tau_{ср}$ – время срабатывания тормозного привода, с; τ_n – время нарастания замедления, с; φ – коэффициент сцепления колес с дорогой.

2.2.10. Топливо-экономическая характеристика.

Топливо-экономическая характеристика строится для высшей ступени коробки передач при двух значениях коэффициента дорожного сопротивления: 0,016 и 0,025 (учитывая их изменение от скорости движения при значениях, больших 15 м/с). Расчет проводят по формуле

$$Q_s = \frac{g_e(N_d + N_e)}{36\rho_m V_a \eta_{mp}}, \quad (30)$$

где g_e – удельный расход топлива, г/кВтч; ρ_m – плотность топлива, кг/м³ (принимается для дизеля 0,825, а для карбюраторного двигателя 0,75).

Удельный расход топлива для дизеля можно рассчитать по формуле

$$g_e = g_N \left[1,55 - 1,55 \frac{n_e}{n_N} + \frac{n_e^2}{n_N^2} \right], \quad (31)$$

где g_N – удельный расход топлива при максимальной мощности, г/кВтч.

А для ТигТМО с карбюраторным двигателем расчет проводят по формуле

$$g_e = g_N K_u K'_u, \quad (32)$$

где, K_u – коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива от степени использования мощности; K'_u – коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Коэффициенты K_u , K'_u можно рассчитать по формулам

$$K_u = A - Bu + Cu^2, \quad (33)$$

$$K'_u = A' - B' \frac{n_e}{n_N} + C' \frac{n_e^2}{n_N^2}, \quad (34)$$

где u – степень использования мощности двигателя.

A, B, C, A', B', C' – вспомогательные коэффициенты; $A=2,75$; $B=4,61$; $C=2,86$; $A'=1,23$; $B'=0,79$; $C'=0,56$.

Степень использования мощности можно рассчитать по формуле

$$u = \frac{N_d + N_v}{N_e \eta_{mp}}. \quad (35)$$

3. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА

Расчетно-пояснительная записка оформляется в соответствии с ГОСТ 2.105-95 "Общие требования к текстовым документам".

Изложение расчетно-пояснительной записки должно быть кратким, но достаточно аргументированным. Пространные рассуждения, повторение общеизвестных истин, доказательств, обширные выписки из литературных источников не допускаются.

Результаты всех расчетов должны оцениваться в сравнении с действующими нормами. При использовании справочных материалов (нормативов, рекомендаций, статистических данных, предельных значений параметров, формул и т.п.) необходима ссылка на литературные или иные источники.

Для сокращения объема пояснительной записки при циклических расчетах необходимо привести расчетные формулы, пример расчета одной величины, а все результаты расчета свести в таблицы.

Графическая часть проекта выполняется в соответствии с требованиями ГОСТов.

СПИСОК РЕКОМЕДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Общие вопросы проектирования АТС

1. Автомобильные транспортные средства / под ред. Д. П. Великанова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 326 с.
2. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля. / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Илларионов. – Москва : Транспорт, 1983. – 276 с.
3. Бухарин, И. А. Автомобили. / И. А. Бухарин, В. С. Прозоров, М. М. Щукин. – Санкт-Петербург : Машиностроение, 1973. – 504 с.
4. Грузовые автомобили / под ред. М. С. Высоцкого, Ю. Ю. Беленького и др. – Москва : Машиностроение, 1979. – 384 с.
5. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / под ред. И. Ф. Бочарова, И. С. Цитовича. – Москва : Машиностроение, 1983. – 299 с.
6. Краткий автомобильный справочник. – Москва : Транспорт, 1995. – 464 с.
7. Лукин, П. П. Конструирование и расчет автомобиля / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Родионов. – Москва : Машиностроение, 1984. – 376 с.
8. Осепчугов, В. В. Автобусы. – Москва : Машиностроение, 1971. – 312 с.
9. Островцев, А. Н. Основы проектирования автомобиля. – Москва : Машиностроение, 1978. – 254 с.
10. Родионов, В. Ф. Проектирование легковых автомобилей. / В. Ф. Родионов, Б. М. Фиттерман. – Москва : Машиностроение, 1980. – 379 с.

Эксплуатационные свойства АТС

11. Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля. – Санкт-Петербург : БХВ–Петербург, 2006. – 478 с.
12. Илларионов, В. А. Теория и конструкция автомобиля / В. А. Илларионов, М. М. Морин. – Москва : Машиностроение, 1985. – 358 с.
12. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. – Москва : Машиностроение, 1982. – 284 с.
13. Литвинов, А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – Москва : Машиностроение, 1989. – 264 с.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

**МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ
ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ
РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПОДВЕСКИ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«**Материалы в автомобилестроении**» для студентов
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов, образовательная
программа «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
всех форм обучения

**Составители Д. В. Видин
К. П. Петренко**

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 4 от 20.10.2016
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 23.03.03
Протокол № 3 от 07.11.2016
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2017

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель – изучение материалов, применяемых для изготовления основных деталей и механизмов рулевого управления и подвески, их упрочняющей термической обработки.

2. МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рулевое управление обеспечивает необходимое направление движения автомобиля путем отдельного или согласованного поворота его управляемых колес. Совокупность механизмов, служащих для поворота управляемых колес, называется рулевым управлением. Рулевое управление включает рулевой механизм, который осуществляет передачу усилия от рулевого механизма к управляемым колесам, а у некоторых автомобилей – рулевой усилитель, облегчающий поворот управляемых колес. Схема рулевого управления и конструкция шарнира рулевых тяг показаны на рис. 1 и 2 соответственно.

Основные детали рулевого механизма это: вал рулевой сошки 1, червяк 2, зубчатый сектор 3, вал рулевой сошки 4, рулевая сошка 5, вал рулевого механизма 6, продольная рулевая тяга 7 и поперечная рулевая тяга 8 (рис. 1), шаровые пальцы 1, сухари (вкладыши) 2 (рис. 2). Материалы для изготовления этих деталей и рекомендации по методам термической обработки представлены в табл. 1.

К техническому состоянию рулевого управления предъявляются повышенные требования в связи с его большим влиянием на безопасность движения и технико-экономические показатели работы автомобилей. На любой стадии эксплуатации рулевое управление должно обеспечивать легкое и быстрое изменение направления их движения при различных скоростях и нагрузках, надежное удержание управляемых колес в прямолинейном или другом необходимом положении и минимальный износ шин.

При взаимодействии управляемых колес автомобиля с дорогой возникают разнообразные знакопеременные нагрузки, которые воспринимаются деталями привода рулевого управления.

К основным неисправностям рулевого управления относятся повышенный износ деталей привода, увеличенный свободный ход рулевого колеса и заедание деталей рулевого управления. Срок службы деталей рулевого механизма значительно превышает ресурс деталей привода рулевого управления. К быстроизнашивающимся деталям последнего, лимитирующим надежность всего автомобиля, относятся шаровое сочленение продольной и поперечной рулевых тяг (рис. 2), шарниры гидроусилителя, шкворневое соединение поворотного кулака (рис. 1).

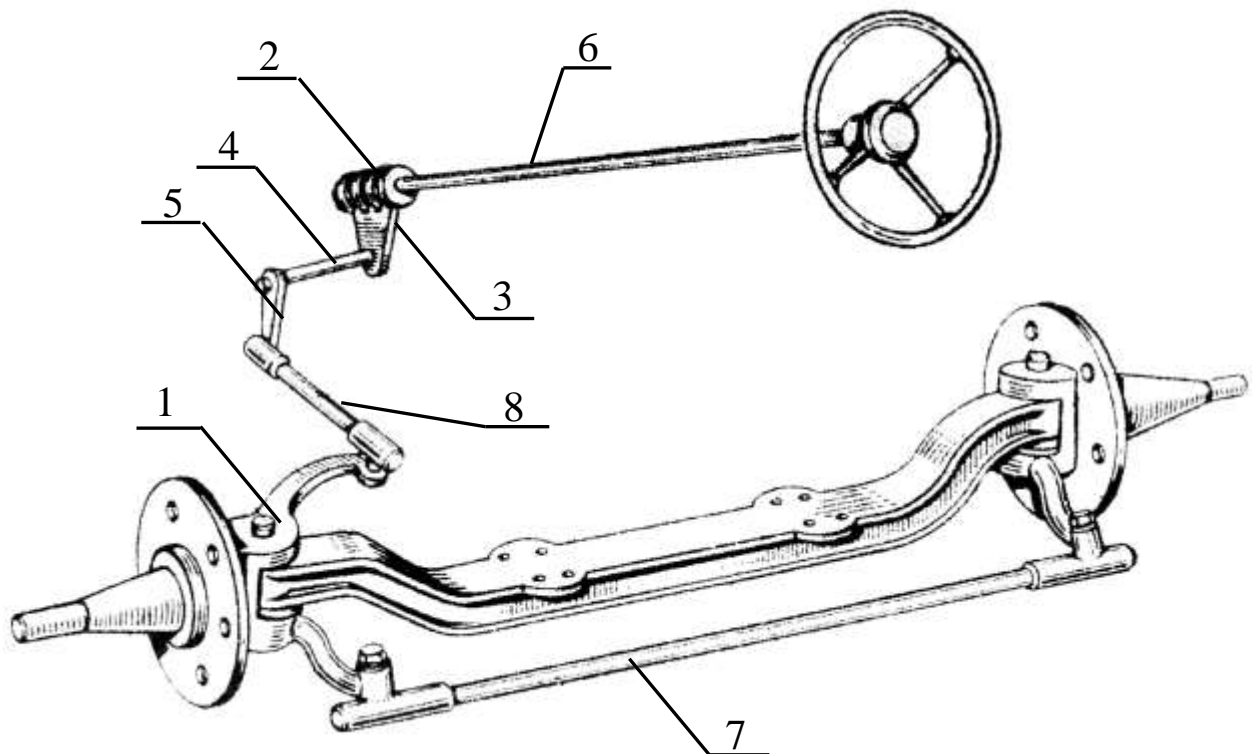


Рис. 1. Схема рулевого управления

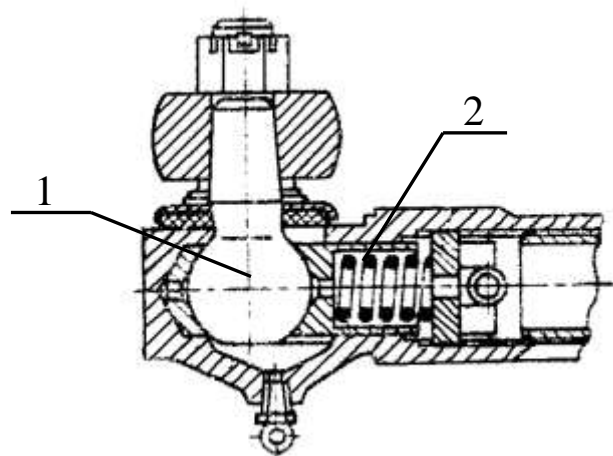


Рис. 2. Конструкция шарнира рулевых тяг

Таблица 1

Материалы некоторых основных деталей трансмиссии и рекомендации по методам их упрочнения

| Основные детали | Материалы | Метод упрочнения поверхности |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Корпус амортизатора | Сталь 45 | Закалка ТВЧ |
| Шток амортизатора | Сталь 45 | Закалка ТВЧ |
| Опора шаровая (палец) | Сталь 40 X | Закалка ТВЧ |
| Тяга поперечной устойчивости | Сталь 35 | Нормализация |
| Рычаг подвески | Сталь 45 | Улучшение |
| Седло клапана амортизатора | Сталь 40X | Закалка, с.о. |
| Шаровые пальцы | 40ХН, 45 | Закалка ТВЧ, н.о. |
| | 12ХГТ3А, 12Х2Н4А | Цементация, закалка, н.о. |
| Сухари, вкладыши | 18ХГТ, 20Х, 20 | Цементация, закалка, н.о. |
| Шкворень | 18ХГТ | Цементация, закалка, н.о. |
| | 50Г, 40Х, 45 | Закалка ТВЧ, н.о. |
| Втулки шкворневого сочленения | ЛО90–1, ЛО60–1, БрАМЦ10–3–1,5, БрОЦ5–5–5, БрОЦС3,5–7–5, БрАЖМц10–3–1,5 | Отжиг |
| Зубчатая передача: червяк, шестерни, зубчатая рейка, зубчатый сектор | 18ХГТ, 25ХГТ, 35Х, 20ХН3А, 20ХН2М, АС30ХГМ, АС30ХН | Цианирование, закалка, н.о. |

| | | |
|---------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Вал рулевой сошки | 18ХГТ, 20ХН3А, 20Х2Н4А, 30Х, 30ХН, 40Х, 40ХГНМ | Цианирование или цементация, закалка, н.о. |
| Рулевая сошка | 30Х, 35Х, 38ХГМ, 40Х | Закалка, н.о. |
| Вал рулевого механизма | 35, 40, 45 | Нормализация, закалка ТВЧ, н.о. |
| | 25ХГТ, АС14, АС35Г2 | Цементация, закалка, н.о. |
| Картер рулевого механизма | КЧ 35–10, КЧ 37–12 | Отжиг |
| | АЛ9В, АК9 | Стабилизирующее старение |
| Крышка картера | КЧ 35–10, КЧ 37–12 | Отжиг |
| | АЛ4, АЛ9В | Стабилизирующее старение |
| | 08кп, 40Л, 45Л | Нормализация |

Из-за недостаточной герметичности узла или повреждения уплотнителя в процессе эксплуатации в шаровые сочленения попадают абразивные частицы. В зависимости от их формы, размера, материала и количества осуществляется пластическое деформирование поверхностных слоев металла, его окисление и последующий износ образующихся пленок (механохимическое разрушение). Может также происходить внедрение абразивных частиц и разрушение объемов металла со снятием стружки (механическое разрушение). Такой износ протекает более интенсивно и является недопустимым процессом. Источником абразивного повреждения поверхности также могут быть частицы разрушающегося материала, его окислы, частицы выкрошившихся вторичных структур и т.д.

В зависимости от изменения контактных давлений и скоростей скольжения, шероховатости поверхности и наличия смазки, присутствия разных по величине и твердости абразивных частиц в шаровых сочленениях рулевого управления автомобиля могут возникать различные виды трения и износа. Наиболее часто разрушение трущихся поверхностей происходит вследствие абразивного износа, усталостного выкрашивания и износа схватыванием.

Таким образом, к деталям рулевого управления, учитывая условия эксплуатации, предъявляют повышенные требования по износостойкости поверхности, поэтому основными материалами являются цементуемые и улучшаемые стали, подвергаемые закалке ТВЧ, а литые детали (корпусные детали) изготавливают из литейных сплавов – чугунов или алюминиевых сплавов (табл. 1).

Для изготовления шаровых пальцев используются стали 12ХГТЗА, 12Х2Н4А либо стали 40ХН, 45, поверхность которых цементуют либо подвергают закалке ТВЧ для соответствующих сталей. Сухари или вкладыши изготавливаются из цементуемых сталей 18ХГТ, 20Х, 20.

Недостаточным сроком службы обладают шкворневые сочленения передней оси: шкворень – втулки поворотного кулака. Относительное возвратно-вращательное движение при скольжении в ограниченных по углу поворота пределах (в условиях граничного трения) и попадании в сочленение абразивных частиц приводит к преждевременному износу трущихся поверхностей шкворня и втулок. Часто на изношенных поверхностях шкворней наблюдаются задиры, наплывы, вызванные схватыванием стального шкворня с бронзовыми втулками. Повышенный износ чаще всего наблюдается в парах, работающих в условиях недостаточной смазки. Поэтому для изготовления шкворней чаще всего применяется поверхностно-упрочняемая цементуемая сталь 18ХГТ или углеродистые стали 50Г, 40Х, 45. Втулки изготавливаются из антифрикционных материалов – оловянистых латуней ЛО90–1, ЛО60–1, бронз БрОЦ5–5–5, БрОЦС3,5–7–5, алюминиево-железисто-марганцевистых бронз БрАМЦ10–3–1,5, БрАЖМц10–3–1,5.

При движении автомобиля зубчатая передача рулевого механизма воспринимает высокие контактные напряжения, сопровождаемые ударными нагрузками, передаваемыми от управляемых колес. В условиях знакопеременных нагрузок с недостатком смазочного материала в зоне граничного трения происходит износ зубчатой пары – червяка и зубчатого сектора или шестерни и зубчатой рейки.

Для изготовления червяка и зубчатого сектора рулевых механизмов используют стали марок 18ХГТ, 25ХГТ, 35Х, 20ХНЗА, 20ХН2М, АС30ХГМ, АС30ХН, подвергающиеся жидкостному

или газовому цианированию с последующими закалкой и низкотемпературным отпуском (табл. 1).

Вал рулевой сошки 4 (рис. 1) передает усилие от зубчатого сектора на сошку 5. При этом при работе на кручение вал воспринимает и ударные нагрузки, передаваемые от управляемых колес, в то время как сошка воспринимает только изгибающие нагрузки.

Для изготовления вала рулевой сошки применяют стали повышенной прочности и вязкости марок 18ХГТ, 20ХНЗА, 20Х2Н4А, 40ХГНМ и др., подвергая их газовому цианированию или цементации с последующей закалкой и низким отпуском. Рулевую сошку изготавливают из среднеуглеродистых сталей марок 30Х, 35Х, 38ХГМ, 40Х и подвергают полной закалке и низкотемпературному отпуску с целью обеспечения повышенной статической прочности.

3. МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДВЕСКИ

Подвеска (рис. 3) соединяет раму или кузов с колесами автомобиля и состоит из упругих элементов, направляющих устройств и амортизаторов. Рессорная подвеска является основной для грузовых автомобилей. Она содержит минимальное число структурных элементов – рессору с узлами крепления и амортизатор (не всегда). Рессора состоит из стальных листов, имеющих одинаковую ширину и различную длину выгнутой формы, собранных вместе. С помощью коренного листа, имеющего наибольшую длину, концы рессор крепятся к раме или кузову автомобиля. Рессорные листы просты в изготовлении и удобны в ремонте, однако металлоемки и имеют ограниченный срок службы. Рессорные листы 2 эксплуатируются в паре с кронштейнами 1 или накладками (вкладышами) рессор в условиях отсутствия смазки и обильного абразива в зоне контакта между совершающими возвратно-поступательное скольжение трущимися поверхностями.

Основной причиной отказа подвески следует считать выход из строя пары: коренной лист 2 – вкладыши (накладки) кронштейна рессоры. Листы рессоры приходят в негодность из-за

разрушения в месте их крепления к накладке и абразивного износа скользящих концов коренных листов, работающих под опорами кронштейна.

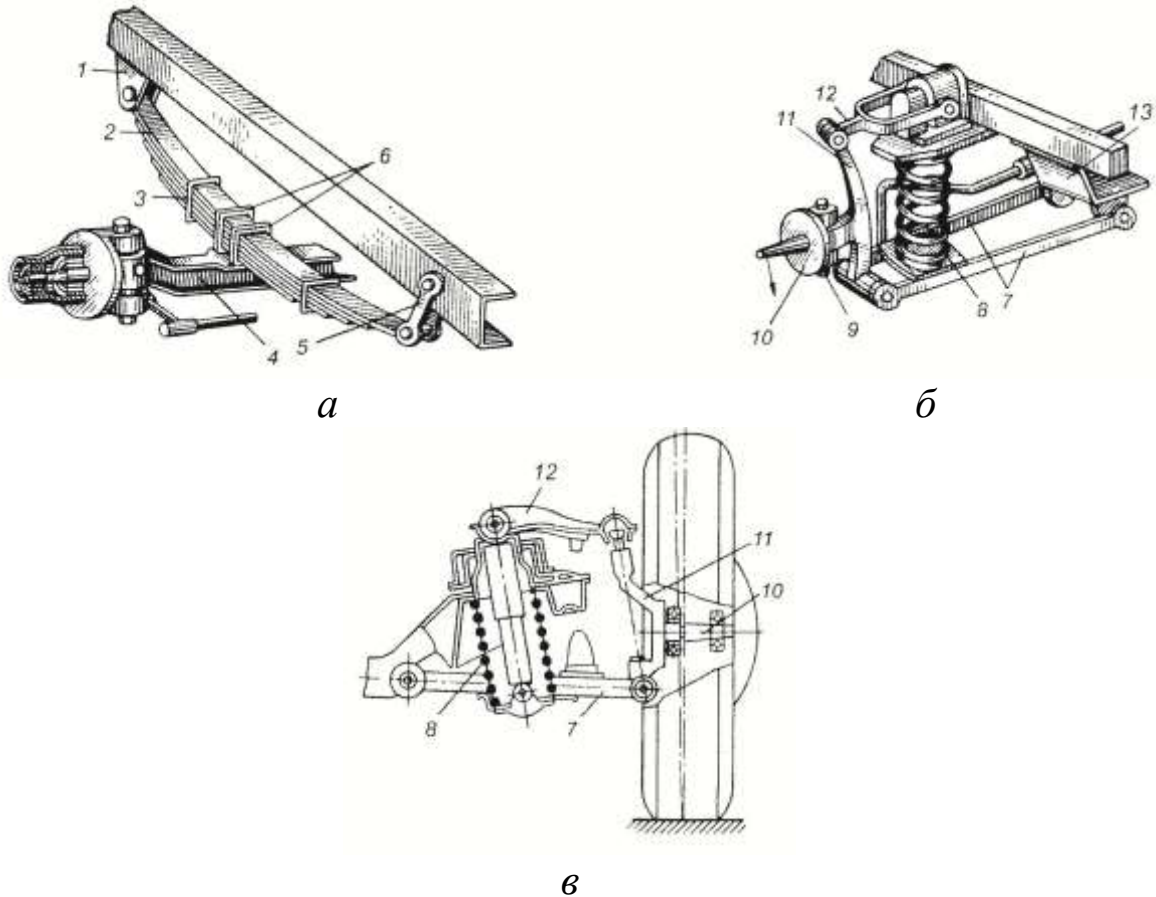


Рис. 3. Подвески автомобилей: *а* – зависимая; *б* – независимая шкворневая; *в* – независимая бесшкворневая; 1 – кронштейн; 2 – рессора; 3 – хомут; 4 – балка переднего моста; 5 – серьга; 6 – стремянка; 7 и 12 – рычаги; 8 – пружина; 9 – шкворень; 10 – поворотный кулак; 11 – поворотная стойка; 13 – поперечина подрамника

Спиральные пружины применяются главным образом для легковых автомобилей. Энергоемкость и долговечность пружин больше, чем у листовых рессор, а масса меньше, однако при использовании пружин возникает необходимость в направляющем устройстве подвески

Пружины подвески и коренной лист рессоры изготавливают из сталей марок 50ХГА, 55С2А, 60С2А, 60С2Г, 60С2ГФ, 60С2ХГ, подвергая закалке и последующему среднему отпуску на твер-

дость НВ 360 – 450. Вкладыши изготавливают из этих же сталей, но обрабатывают на меньшую твердость за счет улучшения.

Основное разрушение пружин происходит из-за усталостного износа. Для его избежания необходимо правильно подбирать размеры пружин и их количество под испытываемые нагрузки, а также структура по всему сечению должна быть однородной.

Для обеспечения длительного срока эксплуатации кронштейны рессоры изготавливают из сталей марок 45, 50, 55, подвергая их закалке с высоким отпуском (улучшению) на твердость НВ 240 – 300.

Шарнирные сочленения подвески: палец – втулка ушка рессоры эксплуатируются в иных условиях. Здесь предусмотрена смазка трущихся поверхностей солидолом. Однако обильное присутствие абразива, знакопеременный случайный характер нагрузки, возвратно-вращательное движение втулки при вращении ее в ограниченных по углу поворота пределах приводят к преждевременному износу трущихся поверхностей. Износостойкость таких сопряжений зависит от твердости деталей и их соотношения. Износ пальца (втулки) при определенном фиксированном значении его (ее) твердости уменьшается с увеличением твердости втулки (пальца), а минимальный износ пальца и втулки обеспечивается при максимальной твердости их рабочих поверхностей. Причем более твердая деталь всегда подвержена более интенсивному износу, потому что частицы абразива, внедряясь в относительно мягкую деталь, закрепляются на ней и интенсивно изнашивают более твердую поверхность. При некоторых определенных соотношениях твердости поверхностей можно достичь одинаковой интенсивности износа каждой детали трущейся пары. Высокая износостойкость деталей и соединений в целом достигается не только при высоких абсолютных значениях твердости на двух сопряженных поверхностях деталей пары, но и при высокой твердости одной из поверхностей при относительно низкой твердости другой.

Для обеспечения длительной непрерывной эксплуатации ОСТ 37.001.076–76, 37.001.077–76, 37.001.078–76 «Элементы листовых рессор автомобильного подвижного состава» предусматривает необходимость термической обработки пальцев до твердости не менее HRC 52, а втулок – до твердости не менее HRC

56. При изготовлении пальцев и втулок из цементуемых сталей марок 19ХГС, 18ХГТ, 20ХГТ их подвергают закалке ТВЧ после цементации, а при изготовлении из среднеуглеродистых сталей марок 40Л, 45 – закалке ТВЧ с последующим низким отпуском.

Широкое распространение в трехосных автомобилях получила рессорная балансирующая подвеска задних ведущих мостов (рис. 4). Они соединяются с кронштейнами рамы реактивными штангами 1 и 5, воспринимающими нагрузку от мостов, передающими на нее тяговые и тормозные усилия и обеспечивающими движение мостов относительно рамы. Каждый ведущий мост прикрепляется к кронштейнам 4 рамы тремя штангами. В зависимости от режима движения автомобиля и ровности дороги в реактивных штангах возникают значительные изгибающие напряжения.

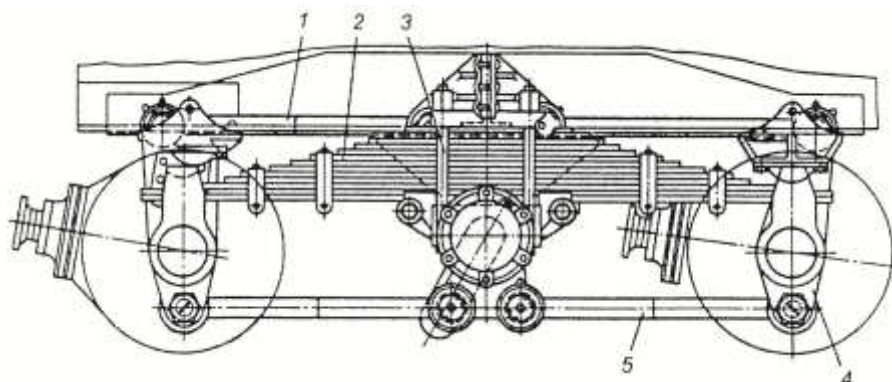


Рис. 4. Балансирная подвеска промежуточного и заднего мостов:
1 и 5 – реактивные штанги; 2 – рессора; 3 – стремянка;
4 – кронштейн

Для обеспечения длительного срока эксплуатации реактивные штанги изготавливают из сталей марок 45, 50, 55 в виде полых труб и подвергают их закалке с высоким отпуском (улучшению) на твердость НВ 240 – 300.

4. ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ РЕЖИМА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПОДВЕСКИ

В соответствии с индивидуальным заданием, приведенным в прил. 1, используя справочную литературу, выполнить для конкретной детали рулевого управления или подвески следующую работу:

- Составить таблицу химического состава используемых материалов.
- Определить вид материала и способы его упрочнения.
- Исходя из требований к детали назначить режим упрочняющей термической обработки.
- Зарисовать типовой режим упрочняющей термообработки в виде графика в координатах " $T, ^\circ\text{C} - \tau, \text{мин}$ ". Пояснить его структурными превращениями.
- Указать основные свойства материалов ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{т}}$, δ , KCV, HB (HRC)) до и после упрочняющей термообработки. Данные представить в виде таблицы (прил. 2, табл. 1).
- Дать характеристику технологических свойств материалов, представить их в виде таблицы (прил. 2, табл. 2).
- Провести анализ химического состава с упрочняющей термообработкой на основные свойства детали рулевого управления или подвески.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Для названной детали рулевого управления или подвески сформулировать:

- Условия эксплуатации.
- Требования, предъявляемые к ней.
- Варианты достижения указанных свойств за счет:
 - а) выбора материала;
 - б) упрочняющей термообработки.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение: учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ, 2001. – 648 с.
2. Материаловедение и технология материалов / Г. П. Фетисов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2002. – 638 с.
3. Мотовилин, Г. В. Автомобильные материалы: справочник / Г. В. Мотовилин, М. А. Масино, О. М. Суворов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1989. – 464 с.
4. Масино, М. А. Автомобильные материалы: справ. инженера-механика / М. А. Масино, В. Н. Алексеев, Г. В. Мотовилин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1979. – 288 с.
5. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
6. Металлы и сплавы: справочник / под ред. Ю. П. Солнцева. – СПб.: АНО НПО «Профессионал»; АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1066 с.
7. Машиностроительные стали: справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – М. : Машиностроение, 1992. – 391 с.
8. Конструкционные материалы: справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
9. Лукин, П. П. Конструирование и расчет автомобиля: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Радионов. – М. : Машиностроение, 1984. – 376 с.
10. Михайловский, Е. В. Устройство автомобиля: учеб. для учащихся автотранспортных техникумов / Е. В. Михайловский, К. Б. Серебряков, Е. Я. Тур. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 352 с.
11. Автомобиль: Основы конструкции: учеб. для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / Н. Н. Вишняков [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 304 с.

Варианты индивидуальных заданий

| № п/п | Деталь | LADA | | КамАЗ–65117 | | БелАЗ–7555 | |
|----------|----------------------------------------|-------------------|--------------|----------------------|--------------|------------------------------------------|------------------------|
| | | Материал | Твёрдость | Материал | Твёрдость | Материал | Твёрдость |
| 1 | Шаровые пальцы | Сталь 45 40X | HRC 56 – 62 | – | – | 40X | HB 241 – 285 HRC 50 |
| 2 | Сухари, вкладыши | Сталь 20 | HRC 58 – 60 | 18ХГТ | HRC 60 – 62 | – | – |
| 3 | Шкворень | – | – | 18ХГТ | HRC 60 – 62 | 40X | HB 241 – 285 HRC 46 |
| 4 | Втулки шкворневого со- членения | – | – | БрОЦ 5–5–5 | – | Лента метал- лопластмас- совая «С» | – |
| 5 | Червяк (винт), шестерни | АС30ХГМ АС30ХН | HRC 56 – 58 | 12ХН3А 25ХГТ | HRC 58 – 64 | – | – |
| 6 | Зубчатая рейка, зубча- тый сектор | 25ХГТ | HRC 58 – 62 | 20ХН2М | HRC 60 – 62 | – | – |
| 7 | Вал рулевой сошки | 30ХН 40ХГНМ | HRC 56 – 58 | Сталь 45 25ХГТ | HRC 58 – 62 | – | – |
| 8 | Рулевая тяга | 38ХГМ | HRC 56 – 58 | 40X | HRC 56 – 58 | 40X | HRC 47 – 56 |
| 9 | Вал рулевого механизма | АС35Г2 | HRC 56 – 60 | 20Х2Н4А | HRC 60 – 62 | 20X | HRC 56 – 62 |
| 10 | Картер рулевого меха- низма | АК9 | HB 137 | КЧ 35–10 КЧ 37–12 | HB 140 – 152 | 45 | Штамповка |
| 11 | Крышка картера | 08кп | HB 140 | АЛ4 | HB 140 | 45 | Штамповка |
| 12 | Пружины | 60С2ГФ | HB 360 – 450 | – | – | – | – |
| 13 | Рессорные листы | – | – | 60С2ХГ | HB 363 – 415 | – | – |
| 14 | Кронштейны рессоры | – | – | Сталь 50 | HB 240 – 300 | – | – |
| 15 | Шарнирные сочленения: палец, втулка | – | – | 20ХГТ | HRC 52 – 56 | 20ХН3А | HRC 32 HRC 58 – 64 |
| 16 | Реактивные штанги | Сталь 45 | HB 156 – 197 | Сталь 55 | HB 212 – 248 | | |

Основные свойства

| Материал | Твердость после предварительной т.о. (НВ) | Свойства после упрочняющей термической обработки | | | | |
|----------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------|
| | | Твердость, НРС (НВ) | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % | КСУ, МДж/м ² |
| | | | | | | |

Таблица 2

Технологические свойства

| Материал | Обработываемость давлением | Свариваемость | Обработываемость резанием | Шлифуемость | Прокаливаемость d ₅₀ , мм |
|----------|----------------------------|---------------|---------------------------|-------------|--------------------------------------|
| | | | | | |

Составители
Денис Владимирович Видин
Константин Петрович Петренко

**МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ
ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ
РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПОДВЕСКИ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материалы в автомобилестроении» для студентов
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов, образовательная
программа «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 03.04.2017. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 20 экз. Заказ _____.

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет»
имени Т. Ф. Горбачева

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «**Материалы в автомобилестроении**»
для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов»,
образовательная программа «Автомобили и автомобильное
хозяйство», всех форм обучения

**Составители Д. В. Видин
Д. Б. Шатько**

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 12 от 11.05.2016
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 23.03.03
Протокол № 8 от 07.06.2016
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучение материалов, применяемых для изготовления основных деталей и механизмов двигателя внутреннего сгорания (ДВС);

- ознакомление с методами упрочняющей термической обработки данных деталей.

2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ДВС. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

На большинстве современных автомобилей установлены поршневые двигатели внутреннего сгорания. В них теплота, выделяющаяся при сгорании топлива в цилиндрах, преобразуется в механическую работу. Детали двигателя можно объединить в две основные группы: кривошипно-шатунный механизм и механизм газораспределения (табл. 1).

Таблица 1

Материалы некоторых основных деталей ДВС
и рекомендации по методам их упрочнения

| Основные детали | Материал | Метод упрочнения |
|-----------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Блок цилиндров | АК7ч (АЛ9) | Закалка, старение |
| | СЧ26, СЧ25, СЧ20 | Отжиг |
| | МЛ5 | Закалка, старение |
| Гильзы | ЧН15Д7, ЧН2Х, ЧНХТ, ЧН11Г7Х2Ш, ЧН19Х3Ш | Закалка ТВЧ, н.о. |
| Головка блока | АК5М (АЛ5), АК7ч (АЛ9), АК9ч (АЛ4), АК6М2 | Старение |
| Маховик | СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ26, СЧ30, СЧ35 | Отжиг |
| Зубчатый венец | 45 | Закалка, н.о. |
| Коленчатый вал | 45, 50 | Закалка, н.о. |
| | 45, 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 50Г, 50ХФА, 60ХФА, 42ХМФА | Улучшение, закалка ТВЧ, н.о. |
| | СЧ40, ВЧ 50 | Закалка ТВЧ, н.о. |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Поршень | АЛ1, АК7Ц9 (АЛ11), АЛ21, АЦ4Мг (АЛ24), АК10М2Н, АЛ30, АК18 | Закалка, старение |
| Поршневой палец | 15Х, 15ХА, 15ХМ, 12ХН, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 12ХН2 | Цементация, закалка, н.о. |
| | 45 | Улучшение, закалка ТВЧ, н.о. |
| Шатун | 40, 40Г, 45Г2, 40ХФА, 40Х, 40ХНР, 40ХР, 40Х2МА | Улучшение, ППД |
| Болты шатунные | 40Х, 38ХА, 40ХН, 35Х, 30Х, 40ХН2МА, 40ХФА, 35ХМ, 30ХМА, 30ХН3А | Улучшение |
| Распределитель- ный вал | 40, 45, 45Л | Закалка, н.о. |
| | | Улучшение, закалка ТВЧ, н.о. |
| | 15Х, 15ХФ, 18ХГТ, 15ХН2М | Цементация (цианирование), закалка, н.о. |
| | СЧ40, СЧ45, ВЧ 50, ВЧ 55 | Отбел |
| | | Закалка ТВЧ, н.о. |
| Азотирование | | |
| Гайки шатунных болтов | 30, 35, 30Х, 30ХМ, 35Х, 40ХН, 40ХН2МА | Улучшение |
| Толкатели клапа- нов | 35, 40, 45 | Закалка ТВЧ, н.о. |
| | 15Х, 20Х, 15кп, 20кп | Цементация (цианирование), закалка, н.о. |
| Коромысла | 40Х, 45ЛК-I | Улучшение, закалка ТВЧ, н.о. |
| Клапаны: <i>Впускные клапаны</i> При Т до 600 °С <i>Выпускные клапаны</i> При Т до 700 °С При Т 750÷900 °С | 40Х9С2, 40Х10С2М 45Х14Н14В2М, 45Х22Н4М3, 55Х20Г4АН4 ХН77ТЮР, ХН55ВМТКЮ | Закалка и старение |

2.1. Кривошипно-шатунный механизм

Кривошипно-шатунный механизм преобразует прямолинейное возвратно-поступательное движение поршней, воспринимающих давление газов, во вращательное движение коленчатого вала. Детали кривошипно-шатунного механизма можно разделить на две группы: подвижные и неподвижные. К первым относятся поршень с кольцами и поршневым пальцем, шатун, коленчатый вал и маховик, ко вторым – блок цилиндров, головка блока цилиндров, крышка блока распределительных зубчатых колес и поддон (картер). В обе группы входят также и крепежные детали.

Продольный разрез двигателя внутреннего сгорания представлен на рис. 1.

Неподвижные детали кривошипно-шатунного механизма.

Блок цилиндров, или блок-картер, 1 является остовом двигателя. На нем и внутри него расположены основные механизмы и детали систем двигателя. Блок цилиндров – это сложная отливка коробчатой формы из серого чугуна марок СЧ20, СЧ25, СЧ26, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 или из алюминиевого сплава марок АК12 (АЛ2), АК9ч (АЛ4), АК9чп (АЛ4–1), АК7ч (АЛ9), АК7чп (АЛ9–1), АК8 (АЛ34) (табл. 1). Блок цилиндров может быть отлит вместе с цилиндрами или иметь вставные цилиндры-гильзы. Гильзы цилиндров отливают из специальных жаропрочных чугунов марок ЧН15Д7, ЧН2Х, ЧНХТ и др. (табл. 1) и устанавливают в блок цилиндров. Зеркало цилиндра – верхняя поверхность цилиндра, внутри которой перемещается поршень, для повышения износостойкости и долговечности подвергают закалке с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) и тщательно обрабатывают для уменьшения трения при движении в цилиндре поршня с кольцами.

Головка блока 2 является крышкой, закрывающей цилиндры. Головки блоков представляют собой отливку из легированного серого чугуна или алюминиевого сплава марок АК9ч (АЛ4), АК9чп (АЛ4–1), АК7ч (АЛ9), АК7чп (АЛ9–1), АК6М2 (табл. 1).

После литья блок цилиндров и головку блока из алюминиевого сплава для повышения прочности подвергают искусственному старению либо закалке и старению. Чугунное литье проходит деформационное старение с целью уменьшения коробления в процессе эксплуатации и обеспечения сохранности правильной

геометрической формы.

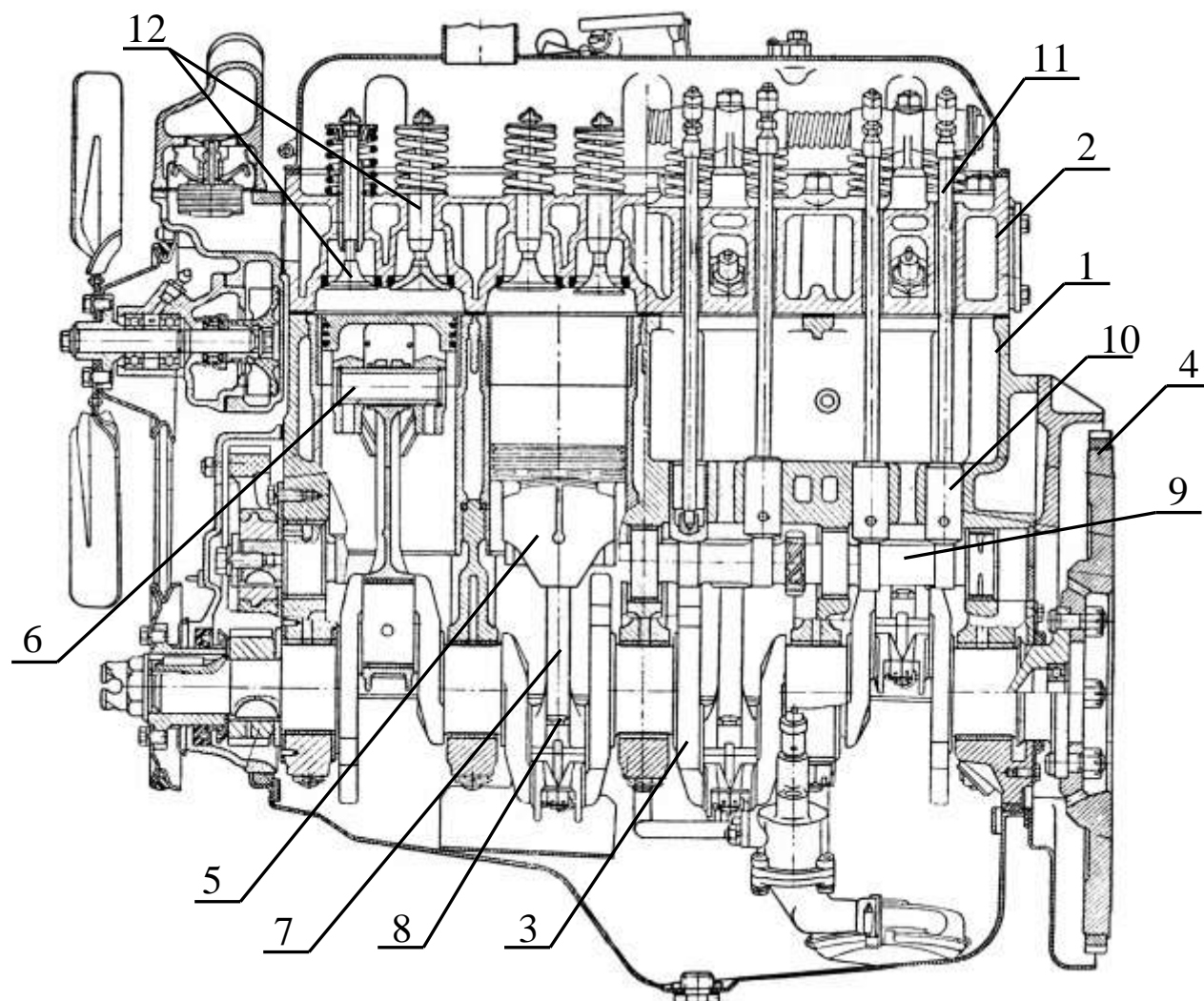


Рис. 1. Продольный разрез двигателя автомобиля ГАЗ-24 «Волга»

Подвижные детали кривошипно-шатунного механизма

Коленчатый вал 3 испытывает большие нагрузки и подвергается скручиванию, изгибу и механическому изнашиванию. Крутящий момент, развиваемый на коленчатом валу, передается на трансмиссию автомобиля, а также используется для привода в действие различных механизмов двигателя.

Коленчатый вал в соответствии с ГОСТ 4669–68¹ изготавливают горячей штамповкой из сталей марок 45, 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 50Г и 50ХФА вместе с противовесами или без них (табл. 1). Поковки из углеродистой стали должны быть нормали-

¹ Отменен в 1982 году

зованы, а из легированной улучшены, т.е. закалены и отпущены на твердость НВ 163÷269 (разность показаний не должна превышать 50 единиц НВ). Для повышения износостойкости и долговечности шатунных и коренных шеек, их закаливают с нагревом ТВЧ (HRC 52÷62) на глубину 1,5÷3 мм, после чего шлифуют и полируют.

Маховик 4 служит для накопления энергии в течение рабочего хода и вращения коленчатого вала во время вспомогательных тактов, а также для уменьшения неравномерности вращения вала, сглаживания момента перехода деталей кривошипно-шатунного механизма через мертвые точки, облегчения пуска двигателя и трогания автомобиля с места.

Маховик отливают из серого чугуна марок СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ26, СЧ30, СЧ35 (НВ 170÷235) (табл. 1), располагая основную массу металла на ободке для увеличения момента инерции. На обод маховика напрессовывают или надевают зубчатый венец, необходимый для вращения коленчатого вала при пуске двигателя стартером. Зубчатый венец изготавливают из углеродистой конструкционной стали 45 с последующей закалкой и низким отпуском до HRC 48÷56. Поверхность маховика, соприкасающуюся с ведомым диском сцепления, шлифуют и полируют.

Шатунно-поршневая группа включает в себя поршень 5, поршневые пальцы 6, шатуны 7, болты шатунные 8.

Поршень предназначен для преобразования кинетической энергии взрыва в поступательное движение. В результате неравномерного движения поршня возникают большие силы инерции, на величину которых влияют масса поршня и угловая скорость коленчатого вала. Кроме механических нагрузок поршень подвергается действию высоких температур в период сгорания топлива и расширения образовавшихся газов. Он нагревается также вследствие трения его боковой поверхности о стенки цилиндра. В автомобильных двигателях чаще устанавливают поршни, изготовленные из алюминиевых сплавов АЛ1, АК7Ц9 (АЛ11), АЛ21, АЦ4Мг (АЛ24), АК10М2Н, АЛ30, АК18 (табл. 1), так как они достаточно прочные, легкие, имеют высокую теплопроводность и хорошие антифрикционные свойства. Для повышения прочности, надежности и обеспечения постоянства размеров и формы

поршни из алюминиевого сплава подвергают упрочняющей термической обработке – закалке с последующим старением.

Поршиновой палец соединяет поршень с верхней головкой шатуна. Он должен быть прочным, легким и износостойким, т.к. во время работы подвергается трению и большим механическим нагрузкам, переменным по величине и направлению.

Наружная цилиндрическая поверхность пальцев, изготовленных из сталей 15X, 15XA, 15XM, 12XН, 12XН2, 12XН3А, 12X2Н4А, в местах, указанных на чертежах, должна быть упрочнена цементацией с последующей закалкой и низким отпуском, а из стали 45 – поверхностной закалкой ТВЧ с последующим низким отпуском. Заготовки пальцев, подвергаемые поверхностной закалке, должны быть предварительно улучшены (табл. 1).

После такого упрочнения наружная поверхность пальца твердая HRC 56÷65 на глубине 1÷1,5 мм, а сердцевина вязкая. Твердость сердцевины пальцев, подвергаемых цементации, должна быть не менее HRC 20÷40, а твердость сердцевины пальцев, подвергаемых закалке ТВЧ, после улучшения – не менее HRC 25÷35.

Шатун соединяет поршень с коленчатым валом и преобразует возвратно-поступательные движения поршня во вращательное движение коленчатого вала. Шатун воспринимает большие нагрузки, меняющиеся по величине и направлению. Он подвергается сжатию, изгибу и растяжению. Чтобы выдержать такие нагрузки, шатун должен быть прочным, жестким и легким. Готовый шатун должен иметь высокую усталостную прочность, оптимальную теплопроводность и высокий предел выносливости.

В соответствии с ГОСТ 845–67² шатун штампуют из стали марок 40 «селект», 40Г, 45Г2, 40X, 40XН, 40XP, 40XН2МА и подвергают термическому улучшению (табл. 1). Шатуны и их крышки должны иметь твердость не ниже НВ 217÷289. При необходимости повышения усталостной прочности их поверхность обрабатывают дробью или другими способами ППД.

Болты шатунные изготавливают из сталей 40X, 38XA, 40XН, 40XН2МА, 40XФА, 35XM, 30XМА, 30XН3А, гайки шатунных болтов изготавливают из сталей 30, 35 или 30X, 30XM, 35X, 40XН,

² Отменен в 1982 году

40ХН2МА (табл. 1). Готовый болт и гайки должны быть механически прочными, поэтому они должны быть подвергнуты термическому улучшению и иметь твердость НРС 25÷38. На поверхности гаек и болтов не допускаются трещины, плены, окалина, закаты, заусенцы и забоины.

2.2. Детали механизма газораспределения

Распределительный вал 9 (рис. 1) передает движение от коленчатого вала через кулачки клапанам, открывая и закрывая их. Готовый вал должен иметь оптимальную структуру, обеспечивающую хорошее сопротивление износу, высокие механические свойства на сжатие, изгиб и срез, достаточно высокую твердость и хорошую вязкость, высокую теплопроводность, хорошую сопротивляемость усталостному разрушению, удовлетворительную коррозионную стойкость.

В соответствии с ГОСТ 8007–67³ распределительный вал изготавливают из сталей 40 и 45, 45Л или 15Х, 15ХФ и 18ХГТ, а также из стали 15ХН2М. Для некоторых моделей автомобилей используются для распределительных и коленчатых валов серые модифицированные чугуны СЧ40, СЧ45 и высокопрочные ВЧ 50, ВЧ 55. Рабочие поверхности кулачков, опорных шеек, эксцентриков и зубчатых колес стальных распределительных валов подвергают термической либо химико-термической обработке с последующим шлифованием для повышения надежности и износостойкости.

Валы из углеродистых улучшаемых сталей подвергают поверхностной закалке (табл. 1), при этом твердость кулачков и эксцентрика бензинового насоса должны быть не менее НРС 54, зубьев колес – не менее НРС 40 на глубине 2÷5 мм, на носике кулачка допускается глубина до 10 мм. Валы из цементуемых сталей по поверхностям, оговоренным в чертежах, должны подвергаться цементации на глубину 1÷2 мм и последующей закалке с низким отпуском. У чугунных валов для повышения износостойкости кулачки и опорные шейки подвергают одному из трех

³ Отменен в 1982 году

видов упрочняющей обработки: отбеливанию с поверхности, закалке ТВЧ или азотированию.

Толкатели 10 передают усилия от кулачка распределительного вала к клапану или штанге. Готовый толкатель должен иметь высокие физико-механические свойства, обеспечивающие длительную работу без разрушения.

Толкатели клапанов изготавливают из легированных сталей 15Х, 20Х или углеродистых 35, 40, 45, 15кп и 20кп (табл. 1). Рабочие поверхности из низкоуглеродистых сталей подвергают цементации на глубину $0,8 \div 1,5$ мм с последующей закалкой и низкотемпературным отпуском, при этом резкий переход от цементованного слоя к сердцевине не допускается. Толкатели из среднеуглеродистой стали упрочняют закалкой ТВЧ с последующим низкотемпературным отпуском. Глубина закаленного слоя на торце толкателя при поверхностной закалке должна быть не менее 2 мм; твердость рабочей поверхности торца толкателя – не менее HRC 55÷62, цилиндрической части толкателя – не менее HRC 33.

Износ рабочей пары будет меньше, если толкатели чугуновые, а распределительный вал стальной. Если толкатели и вал стальные, то тарелку толкателя наплавляют отбеленным чугуном.

Коромысла передают усилие от штанги 11 к клапану 12 и представляют собой стальной неравноплечий рычаг. Это ответственная деталь, изготавливаемая из улучшаемых легированных сталей 40Х, 45ЛК–I. Поверхность конца коромысла, соприкасающуюся со стержнем клапана, называют бойком. Поверхности бойка и регулировочного винта, соприкасающиеся с наконечником штанги, термически обрабатывают на высокую твердость HRC 56÷62 закалкой ТВЧ с предварительным улучшением сердцевины, шлифуют для повышения надежности и износостойкости.

Клапаны 12 предназначены открывать и закрывать впускное или выпускное отверстия, расположенные в головке блока (двигатели с верхним расположением клапанов) или в блоке цилиндров (двигатели с нижним расположением клапанов). Основными частями клапана являются головка и стержень.

Клапаны работают при высокой температуре и подвергаются коррозионному действию газов. Готовый клапан должен иметь

достаточную твердость и прочность при повышенных температурах – жаропрочность, постоянство механических и физических свойств при нагреве и охлаждении, высокую окалинотойкость и износостойкость, низкий коэффициент линейного расширения, хорошую теплопроводность при высоких температурах, хорошую сопротивляемость термической и механической усталости.

В особо тяжелых условиях работают выпускные клапаны. Поэтому материал, применяемый для их изготовления, должен быть коррозионно- и износостойким. Этим требованиям удовлетворяют высоколегированные жаропрочные стали и сплавы.

Впускные клапаны изготавливают цельными, сварными и с наплавкой. Для изготовления применяют стали хромонсилы 40X9C2, 40X10C2M и др. с рабочей температурой до 600 °С (табл. 1).

Выпускные клапаны изготавливают цельными, сварными, пустотелыми, с наплавкой коррозионно-, жаро- и износостойких материалов. Материал выбирают в зависимости от условий работы клапанов по рабочей температуре. Клапаны, работающие при температурах до 700 °С, изготавливают из жаропрочных сталей 45X14H14B2M, 45X22H4M3, 55X20Г4АН4; клапаны, работающие при температурах 750÷900 °С, – из хромоникелевых сплавов, например ХН77ТЮР, ХН55ВМТКЮ (табл. 1).

Жаропрочность сталей и сплавов обеспечивается закалкой с последующим старением, вызывающим дисперсионное твердение твердых растворов мартенсита или аустенита.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В соответствии с индивидуальным заданием, приведенным в прил. 1, табл. 1, используя справочную литературу, выполнить для конкретной детали ДВС следующую работу:

1. Составить таблицу химического состава используемых материалов.
2. Определить вид материала и способы его упрочнения.
3. Исходя из требований к детали, назначить режим упрочняющей термической обработки (см. пример назначения режима упрочняющей термической обработки, прил. 3).

4. Зарисовать типовой режим упрочняющей термообработки в виде графика в координатах “Т, °С – τ, мин”. Пояснить его структурными превращениями.

5. Указать основные свойства материалов (σ_B , σ_T , δ , KCV, HB (HRC)) до и после упрочняющей термообработки. Данные представить в виде таблицы (прил. 2, табл. 1).

6. Дать характеристику технологических свойств материалов, представить их в виде таблицы (прил. 2, табл. 2).

7. Провести анализ химического состава с упрочняющей термообработкой на основные свойства детали ДВС.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите неподвижные детали кривошипно-шатунного механизма и дайте им характеристику.

2. Назовите подвижные детали кривошипно-шатунного механизма и опишите их служебное назначение.

3. Из каких деталей состоит механизм газораспределения? Какие функции выполняют эти детали?

4. Для названной детали ДВС сформулировать:

- условия эксплуатации;

- требования, предъявляемые к ней;

- варианты достижения указанных свойств за счет:

а) выбора материала;

б) упрочняющей термообработки.

5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Изучить неисправности кривошипно-шатунного механизма. [12, гл. 2, с. 22]. 1 час.

2. Изучить неисправности механизма газораспределения. [12, гл. 2, с. 32]. 1 час.

3. Ознакомиться с методами ремонта кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов. [13, гл. 10, с. 128]. 2 часа.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Альянс, 2009. – 528 с.

2. Короткова, Л. П. Конструкционные материалы [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / ГОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т". – Кемерово, 2005. – 156 с. – 74 экз.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90168&type=utchposob:common>

3. Колесник, П. А. Материаловедение на автомобильном транспорте : учебник для студентов учреждений высш. проф. образования / П. А. Колесник, В. С. Кланица. – 5-е изд., испр. – Москва: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – (Сер. Бакалавриат).

4. Мотовилин, Г. В. Автомобильные материалы : справочник / Г. В. Мотовилин, М. А. Масино, О. М. Суворов. – Москва: Транспорт, 1989. – 463 с.

5. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – Москва : Машиностроение, 2001. – 672 с.

6. Материаловедение : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки и специальностям в области техники и технологии / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 648 с.

7. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. В. Видин [и др.]; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2011. – 163 с.

[http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90704&type=utchposob:common.](http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90704&type=utchposob:common)

8. Материаловедение. Применение и выбор материалов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. П. Солнцев [и др.]. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. – 200 с.

www.bibliociub.ru/102722_Materialovedenie_Primenenie_i_vybor_materialov_Uchebnoe_posobie.html

9. Металлы и сплавы: справочник / под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург : АНО НПО «Профессионал»; АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1066 с.

10. Кузнецов, А. С. Слесарь по ремонту автомобилей (моторист). – Москва : Академия, 2011. – 304 с.

11. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: учебник для студентов вузов / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2007.

12. Шестопалов, К. С. Легковые автомобили / К. С. Шестопалов, С. Ф. Демиховский. – М. : Изд-во ДОСААФ, 1989. – 302 с.

13. Карагодин, В. И. Слесарь по ремонту автомобилей : учеб. пособие / В. И. Карагодин, С. К. Шестопалов. – Москва : Высшая школа, 1985. – 192 с.

14. ГОСТ 380-88, ГОСТ 1050-88, ГОСТ 1435-90, ГОСТ 4543-71, ГОСТ 801-78, ГОСТ 5632-72, ГОСТ 5950-73, ГОСТ 19255-73, ГОСТ 19281-89, ГОСТ 1412-85, ГОСТ 7293-85, ГОСТ 1215-79, ГОСТ 4784-74, ГОСТ 2685-75, ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80, ГОСТ 5017-74, ГОСТ 18175-78, ГОСТ 613-79, ГОСТ 493-79.

Варианты индивидуальных заданий

| № п/п | Деталь | LADA | | КамАЗ-65117 | | БелАЗ-7555 | |
|----------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Материал | Твердость | Материал | Твердость | Материал | Твердость |
| 1 | Блок цилиндров | СЧ26 | HB 160÷240 | СЧ20 | HB 170÷241 | СЧ30 | HB 180÷250 |
| 2 | Головка блока | АК6М2 | HB 140÷160 | АК9 (АЛ4) | HB 75 | АК9 (АЛ4) | HB 75 |
| 3 | Шатун | Сталь 40 | HB 217÷250 | 40ХН2МА | HB 207÷255 | 40Х2Н2А | HB 207÷255 |
| 4 | Поршневой палец | 12ХН | HRC 56÷62 HB ≥ 229 | 12ХН2 | HRC ≥ 58 HB ≥ 229 | 12Х2Н4А | HRC ≥ 58 HB ≥ 229 |
| 5 | Поршень | АК10М2Н | HB 180÷220 | АК18 | HB 250 | АК10М2Н | HB 250 |
| 6 | Коленчатый вал | СЧ25 | HB ≥ 187 | 42ХМФА | HRC 52÷62 | ВЧ50 | HB ≥ 260 |
| 7 | Маховик | СЧ26 | HB ≥ 187 | СЧ 20 | HB 170÷229 | СЧ30 | HB ≥ 187 |
| 8 | Впускной клапан | 40Х9С2 | HRC 35÷40 | 40Х10С2М | HRC 35÷40 | 40Х10С2М | HRC 35÷40 |
| 9 | Выпускной клапан | 55Х20Г9АН4, НХ26С2Р2 | HRC 32÷38 HB ≥ 207 | 55Х20Г9АН4, ЭП869 | HRC 32÷38 HRC 20÷30 | 45Х22Н4М3, ХН55ВМТКЮ | HRC 32÷38 HRC 20÷30 |
| 10 | Распределительный вал | ВЧ 65 | HB 190÷280 | 18ХГТ | HRC 56÷63 | 15ХН2М | HRC 58÷63 |
| 11 | Коромысло | 40Х | HRC 56÷63 | – | – | – | – |
| 12 | Зубчатый венец маховика | Сталь 45 | HRC 48÷50 | Сталь 45 | HRC 49÷55 | Сталь 50 | HRC 52÷58 |
| 13 | Впускной трубопровод | АК9 (АЛ4) | HB 75 | СЧ15 | HB 163÷220 | СЧ15 | HB 163÷220 |
| 14 | Выпускной трубопровод | СЧ190 (нормаль 52205) | HB 183÷235 | СЧ15 | HB 163÷220 | СЧ15 | HB 163÷220 |
| 15 | Картер сцепления | АК12М2 (нормаль 53228) | HB 180÷220 | СЧ20 | HB 170÷229 | СЧ20 | HB 170÷229 |
| 16 | Нажимной диск сцепления | СЧ26 | HB ≥ 187 | СЧ25 | HB ≥ 187 | СЧ25 | HB ≥ 187 |

Основные свойства

| Материал | Твердость после предварительной т.о. (НВ) | Свойства после упрочняющей термической обработки | | | | |
|----------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------|
| | | Твердость, НРС (НВ) | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % | КСУ, МДж/м ² |
| | | | | | | |

Технологические свойства

| Материал | Обработываемость давлением | Свариваемость | Обработываемость резанием | Шлифуемость | Прокаливаемость D_{50} , мм |
|----------|----------------------------|---------------|---------------------------|-------------|-------------------------------|
| | | | | | |

ПРИМЕР НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Разработать режим упрочняющей термической обработки распределительного вала ДВС различных марок автомобилей, изготовленного из следующих материалов: сталь 18ХГТ (КамАЗ-65117), 40ХНЗФА (ЗИЛ-130), ВЧ 60 (КамАЗ-740).

Распределительный вал передаёт движение от коленчатого вала через кулачки клапанам, открывая и закрывая их. Готовый вал должен иметь оптимальную структуру, обеспечивающую хорошее сопротивление износу, высокие механические свойства на сжатие, изгиб и срез, достаточно высокую твердость и хорошую вязкость, высокую теплопроводность, хорошую сопротивляемость усталостному разрушению, удовлетворительную коррозионную стойкость.

Рабочие поверхности кулачков, опорных шеек, эксцентриков и зубчатых колёс стальных распределительных валов подвергаются термической либо химико-термической обработке с последующим шлифованием для повышения надёжности и износостойкости.

Валы из углеродистых улучшаемых сталей подвергаются поверхностной закалке, при этом твердость кулачков и эксцентрика бензинового насоса должны быть не менее HRC 54, зубьев колёс – не менее HRC 40 на глубине 2÷5 мм, на носике кулачка допускается глубина до 10 мм. Валы из цементуемых сталей по поверхностям, оговоренным в чертежах, должны подвергаться цементации на глубину 1÷2 мм и последующей закалке с низким отпуском. У чугунных валов для повышения износостойкости кулачки и опорные шейки подвергаются одному из трех видов упрочняющей обработки: отбеливанию с поверхности, закалке ТВЧ или азотированию.

Химический состав стали 18ХГТ

| Материал | C | Si | Mn | Cr | Ti | P | S |
|----------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| 18ХГТ | 0,17-0,23 | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 | 1,0-1,3 | 0,03-0,09 | < 0,035 | < 0,035 |

Сталь 18ХГТ – цементуемая сталь перлитного класса.

Распределительный вал подвергается цементации с последующей закалкой и низким отпуском. Термическая обработка направ-

лена на получение высокой твердости на поверхности и повышенной вязкости в сердцевине.

В качестве предварительной термической обработки проводится нормализация (930–960 °С, воздух).

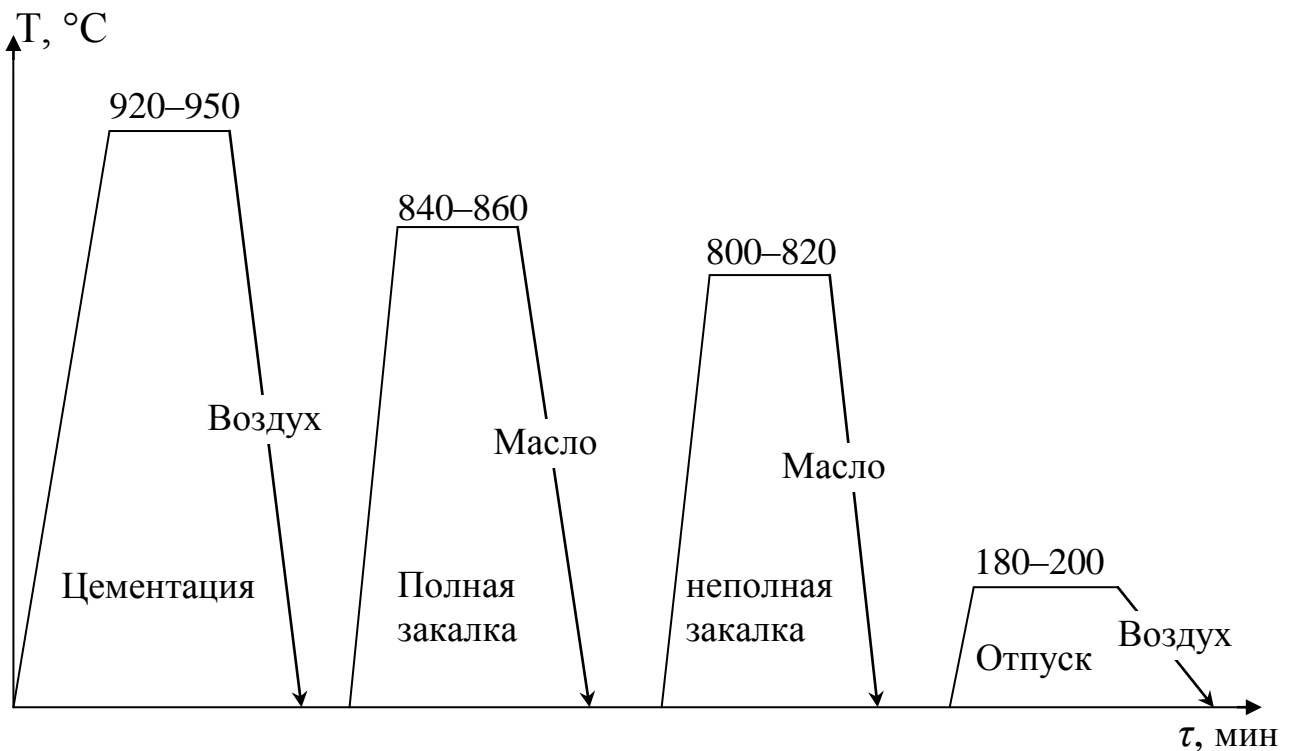
Упрочняющая обработка включает следующие операции:

Цементация 920–950 °С, воздух;

Полная закалка 840–860 °С, масло;

Неполная закалка 800–820 °С, масло;

Отпуск 180–200 °С, воздух.



Цементация проводится на насыщение поверхностного слоя детали углеродом до 0,8–1,0%. Полная закалка необходима для измельчения зерна и устранения цементитной сетки. Неполная закалка направлена на обеспечение максимальной твердости на поверхности. Заключительной операцией обязательно является низкий отпуск, цель которого снять напряжения и ликвидировать остаточный аустенит.

После химико-термической обработки структура состоит на поверхности из мартенсита и вторичных карбидов (HRC 56-63). Структура сердцевины – сорбит (HB 285).

40ХНЗФА (аналог по ГОСТ 38ХНЗМФА) – улучшаемая сталь.

Химический состав стали 38ХНЗМФА

| Материал | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | V | P | S |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 38ХНЗМФА | 0,33- | 0,17- | 0,25- | 1,20- | 3,00- | 0,35- | 0,10- | <0,035 | <0,035 |
| А | 0,40 | 0,37 | 0,50 | 1,50 | 3,50 | 0,45 | 0,18 | | |

Для достижения вязкой сердцевины и высокой твердости на поверхности распределительный вал подвергается улучшению с последующими закалкой ТВЧ и низким отпуском.

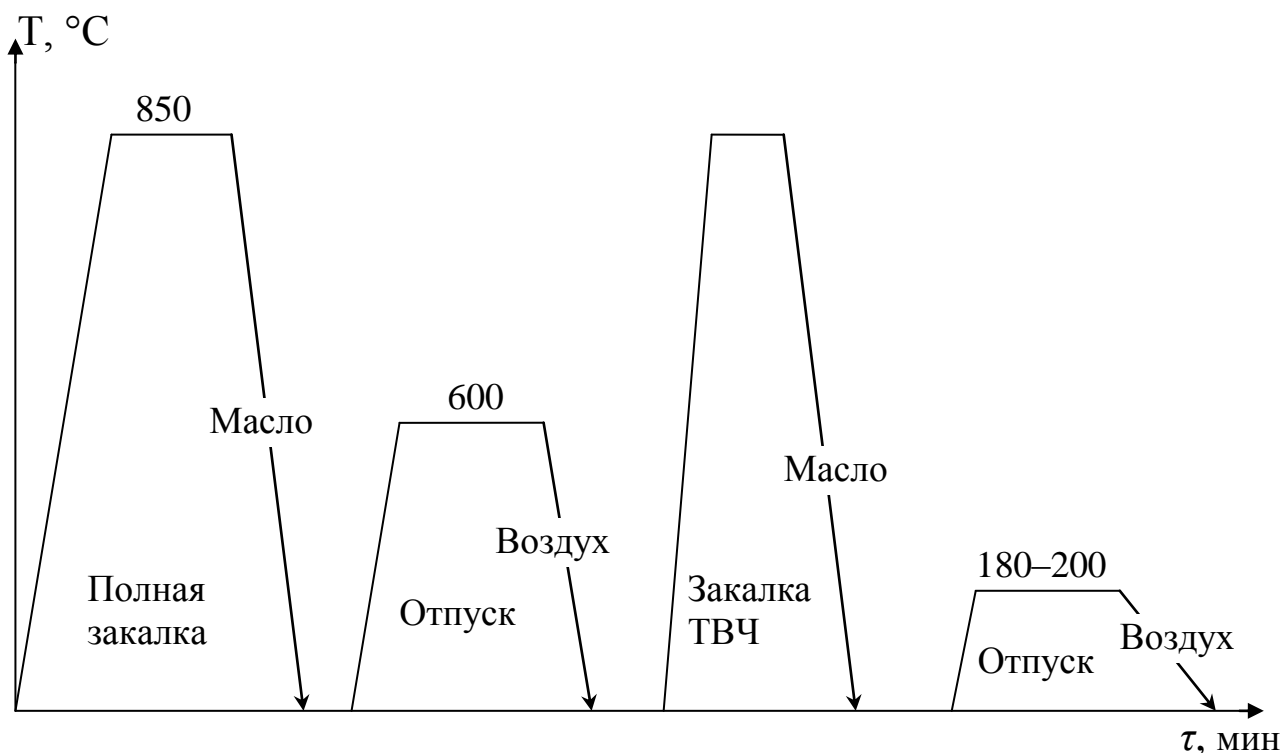
Улучшение:

Полная закалка 850 °С, масло;

Высокий отпуск 600 °С, воздух.

Закалка ТВЧ, масло;

Низкий отпуск 180–200 °С, воздух.



Улучшение обеспечивает высокую конструкционную прочность сердцевины, а закалка ТВЧ – высокую твердость и износостойкость поверхности.

После термической обработки мы имеем структуру среднелегированного сорбита в сердцевине (HRC 39) и мелко игольчатого мартенсита на поверхности (HRC 54-58).

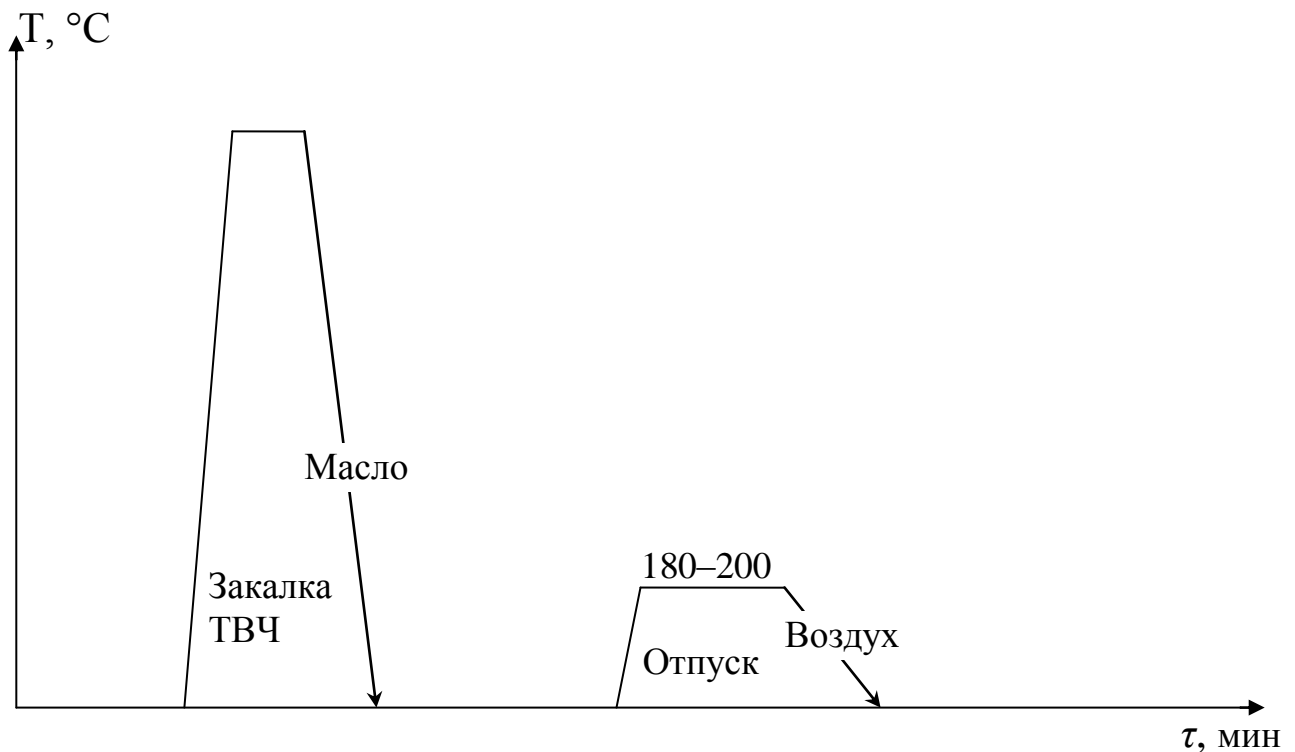
ВЧ 60 – серый высокопрочный чугун, структура состоит из шаровидного графита с перлитной основой.

В качестве предварительной термической обработки проводится отжиг для снятия внутренних напряжений и исключения возможности коробления детали (деформационное старение).

Распределительный вал, изготавливаемый из высокопрочного чугуна, подвергается закалке ТВЧ для получения высокой твердости на поверхности и сохранения относительной вязкости сердцевины. После закалки проводим низкий отпуск для снятия внутренних напряжений.

Закалка ТВЧ, масло;

Низкий отпуск 180–200 °С, воздух.



После термической обработки деталь имеет структуру мелко-игольчатого мартенсита с включениями графита на поверхности (HRC 52-54), что значительно повышает ее твердость при относительно вязкой сердцевине (HB 280). При этом неметаллические включения графита отлично удерживают смазку и сами являются антифрикционным материалом.

Составители
Видин Денис Владимирович
Шатько Дмитрий Борисович

**МАТЕРИАЛЫ И ТИПОВЫЕ РЕЖИМЫ
ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС**

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «**Материалы в автомобилестроении**»
для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»,
образовательная программа «Автомобили и автомобильное
хозяйство», всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 27.06.2016. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 30 экз. Заказ
КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составитель
А. В. Кудреватых

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ ВОДИТЕЛЕЙ

**Методические указания к самостоятельной работе
для студентов очной формы обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2016

Рецензенты:

Стенин Д. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Подгорный А. И. – кандидат технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссией направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Методические основы подготовки водителей: методические указания к самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», очной формы обучения / сост. А. В. Кудреватых; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб ; Windows 95; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены цели и задачи курса, распределение часов самостоятельной работы по темам, список учебно-методических материалов, задания для самостоятельной работы, выполнение которых в указанном порядке обеспечивает усвоение основ курса. Типы заданий охватывают ряд основных тем, читаемых в курсе «Методические основы подготовки водителей».

© КузГТУ, 2016

© Кудреватых А. В.,
составление, 2016

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Методические основы подготовки водителей» рассчитан на студентов, специализирующихся в области технической эксплуатации и ремонта автомобилей.

Настоящие методические указания подготовлены для студентов очной формы обучения в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и учебным планом по профилю «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Цель преподавания дисциплины – изучение студентами основ теории и практики методических основ подготовки водителей.

Цель самостоятельной работы студентов – получить новые знания по дисциплине «Методические основы подготовки водителей».

Задачи самостоятельной работы студентов:

- изучение современной методики обучения (подготовки) водителей всех категорий;
- подготовка специалистов, способных преподавать в образовательных учреждениях, осуществляющих подготовку водителей на право управления автотранспортными средствами, всех категорий;
- изучение требований нормативных документов к производственно-технической базе, документации, персоналу образовательных учреждений, занимающихся подготовкой водителей;
- рассмотрение примерных учебных планов подготовки водителей.

Освоение дисциплины «Методические основы подготовки водителей» направлено на формирование:

Освоение дисциплины «Методические основы подготовки водителей» направлено на формирование:

Освоение дисциплины «Методические основы подготовки

водителей» направлено на формирование:

- общекультурных компетенций

ОК-4 – способность использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности/

- общепрофессиональных компетенций

ПК-25 – способность к работе в составе коллектива исполнителей в области реализации управленческих решений по организации производства и труда, организации работы по повышению научно-технических знаний работников;

ПК-26 – готовность использовать приемы и методы работы с персоналом, методы оценки качества и результативности труда персонала;

ПК-33 – владение знаниями основ физиологии труда и безопасности жизнедеятельности, умение грамотно действовать в аварийных и чрезвычайных ситуациях, являющихся следствием эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.

Студент должен:

Знать: 1) основы существующей системы формирования и направления совершенствования нормативно-правовой базы, системы нормативно-технических документов (регламентов, отраслевых норм, технических правил и требований), определяющих порядок разработки, внедрения и эксплуатации современных технических систем; 2) анатомофизиологические воздействия на человека опасных и вредных факторов, среды обитания, поражающих факторов; 3) характеристики чрезвычайных ситуаций, принципы организации мер по их ликвидации

Уметь: 1) пользоваться имеющейся нормативно-технической и справочной документацией; 2) составлять техническую документацию, а также установленную отчетность по утвержденным формам.

Владеть: 1) методиками безопасной работы и приемами охраны труда; 2) методиками проведения исследований объектов профессиональной деятельности.

2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Методические основы подготовки водителей» предусматривает проведение практических занятий и самостоятельную работу студентов.

Промежуточный контроль – экзамен по дисциплине.

Распределение часов самостоятельной работы студентов осуществляется в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Распределение часов по темам занятий

| Порядковый номер работы | № недели | Вид СРС | Объем в часах |
|-------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | 1-4 | Зарубежный опыт организации обучения водителей транспортных средств[3]. | 9 |
| 2 | 5-8 | Особенности подготовки водителей различных категории [1, 2, 3]. | 9 |
| 3 | 9-12 | Характеристика транспортных средств[1]. | 9 |
| 4 | 13-16 | Решение экзаменационных билетов на право управления транспортными средствами категорий «А», «В», «С», «D» [2, 7]. | 11 |
| ИТОГО | | | 38 |

По 1-3 работам студентами должны быть изучена литература по вопросам, представленным в таблице 1, составлены конспекты, которые предоставляются преподавателю. Написанные конспекты проверяются преподавателем и подлежат защите студентами.

Работа 4 заключается в самостоятельном решении экзаменационных билетов на право управления транспортными средствами категорий «А», «В», «С», «D».

Формами контроля самостоятельной работы студентов являются:

- оценка уровня подготовки студента в процессе проведения преподавателем практических занятий;
- сдача конспектов и опрос по ним;
- выполнение 2 контрольной работы, представляющей собой решение экзаменационных билетов на право управления транспортными средствами категорий «А», «В», «С», «D»;
- экзамен по дисциплине.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

1. Перечень основных нормативно-правовых документов, регулирующих подготовку (переподготовку) водителей транспортных средств.
2. Характеристика образовательных учреждений, имеющих право на организацию подготовки водителей транспортных средств.
3. Характеристика программ и форм обучения.
4. Требования к водителям, предъявляемые при переподготовке на другие категории.
5. Требования к инженерно-педагогическому составу.
6. Порядок комплектования персонала образовательного учреждения.
7. Организация подготовки (переподготовки) и повышения квалификации преподавателей и мастеров производственного обучения (инструкторов), осуществляющих подготовку водителей.
8. Перечень документов, необходимых при приеме лиц на обучение профессии «Водитель транспортного средства».
9. Договор на оказание образовательных услуг: требования, примерная форма, порядок заключения.
10. Содержание рабочих учебных планов и программ.
11. Содержание занятий.
12. Учет проведения теоретических занятий и индивидуальных карточек учета вождения транспортных средств.
13. Организация итоговой аттестации в образовательном учреждении.
14. Направления и этапы итоговой аттестации.

15. Требования, предъявляемые к аттестационной комиссии.
16. Документы, выдаваемые по итогам аттестации, их учет.
17. Организация методического руководства и координации деятельности образовательных учреждений и организаций в области подготовки и переподготовки водителей транспортных средств.
18. Порядок оценки качества усвоения учебного материала.
19. Организация контроля за соблюдением образовательным учреждением лицензионных условий.
20. Периодичность и объем проверок исполнения государственных образовательных стандартов.
21. Порядок проведения комплексного обследования образовательного учреждения.
22. Ответственность образовательных учреждений за некачественную подготовку и переподготовку водителей.
23. Задачи подразделений ГИБДД в пределах обслуживаемой территории в области организации подготовки водителей.
24. Организация сдачи экзаменов кандидатов в водители в подразделениях ГИБДД.
25. Методы обучения.
26. Методические приемы в деятельности преподавателя.
27. Особенности профессионального обучения.
28. Перечень требований, предъявляемых к индивидуальному предпринимателю, осуществляющему подготовку водителей транспортных средств категорий «А» и «В».
29. Требования к самостоятельной подготовке граждан на право управления транспортными средствами категорий «А» и «В».
30. Особенности подготовки водителей транспортных средств из лиц с ограниченными возможностями.
31. Определение автодрома.
32. Требования, предъявляемые к учебному автодрому.
33. Понятие системы «водитель-автомобиль-дорога».
34. Цели и задачи функционирования системы «водитель-автомобиль-дорога».
35. Характеристика автомобильных дорог и дорожных условий.
36. Психофизиологические и психические качества водите-

лей.

37. Гигиена труда водителя.

38. Влияние лекарственных препаратов, наркотиков на надежность водителя.

39. Этика водителя.

40. Механика движения транспортного средства.

41. Свойства транспортного средства.

42. Влияние свойств транспортного средства на надежность управления.

43. Влияние на штатность дорожно-транспортных ситуаций видимости, ширины проезжей части, состояния обочин, радиуса поворота, коэффициента сцепления шин с дорогой, транспортного потока.

44. Роль квалификации водителя в обеспечении безопасности движения.

45. Пользование внешними световыми приборами и звуковыми сигналами.

46. Перечень неисправностей и условий, при которых запрещается эксплуатация транспортных средств.

47. Организация перевозки людей.

48. Движение через железнодорожные пути.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Список основной литературы

1. Кудреватых, А. В. Методические основы подготовки водителей: учеб. пособие [Электронный ресурс]: для студентов очной и заочной форм обучения бакалавриата по направлению 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А. В. Кудреватых, Н. В. Кудреватых. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 81 с. – Режим доступа:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90850&type=utchposob:common>

Список дополнительной литературы

2. Правила дорожного движения Российской Федерации: Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению без-

опасности дорожного движения (с иллюстрациями): по сост. на январь 2012 г. / Г. Б. Громоковский, Л. А. Ерусалимская, Ю. Г. Петрова. – Москва: ИДТР, 2012. – 64 с.

3. Андреев, И. В. Основы законодательства в сфере дорожного движения: учеб. пособие. – Москва: Форум, 2011. – 224 с.

4. Комментарии к Правилам дорожного движения Российской Федерации: изд. содержит новый (вступающий в силу 20.11.2010) и действующий тексты Правил / В. Ф. Яковлев. – Москва: Третий Рим, 2010. – 176 с.

Нормативные документы

5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (в последней редакции).

6. Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» (в последней редакции).

7. Правила дорожного движения Российской Федерации (в последней редакции).

8. Приказ Министерства образования и науки РФ от 26.12.2013 № 1408 «Об утверждении примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий».

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

При изучении дисциплины «Методические основы подготовки водителей» могут быть использованы следующие компьютерные программы MicrosoftOffice: MicrosoftWord, MicrosoftExcel, MicrosoftPowerPoint; базы данных, информационно-справочные и поисковые системы (Справочная правовая система «КонсультантПлюс», Справочная правовая система «Гарант»), а также официальные сайты Управлений ГИБДД УМВД РФ.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составитель
Н. А. Андреева

**МЕХАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ И АВТОРЕМОНТНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Методические указания к самостоятельной работе
для студентов заочной формы обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» в качестве электронного издания
для самостоятельной работы студентов

Кемерово 2016

Рецензенты:

Стенин Д. В. – доцент кафедры эксплуатации автомобилей
Подгорный А. И. – председатель учебно-методической комиссии
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»

Андреева Надежда Александровна

Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий: методические указания [Электронный ресурс]: для студентов направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» заочной формы обучения / Н. А. Андреева; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016.

Приведены все сведения, необходимые для самостоятельной работы студентов заочной формы обучения при освоении материала дисциплины «Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий» (выписка из учебного плана; рабочая программа и методические указания к изучению разделов дисциплины; вопросы для самопроверки по каждой теме; задание и содержание контрольной работы; списки литературы разделов и для выполнения контрольной работы). Наличие методических указаний позволяет студентам самостоятельно получать необходимый объем знаний по дисциплине.

© КузГТУ, 2016
© Андреева Н. А.,
составление, 2016

Цель методических указаний – помочь студентам-заочникам направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в самостоятельной работе по изучению дисциплины «Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий».

Одной из основных причин недостатков в работе производственных подразделений АТП и АРП является преобладание ручного труда при техническом обслуживании (ТО) и ремонте (Р) подвижного состава, наличие тяжелых, трудоемких операций и неблагоприятных условий работы исполнителей.

Одной из наиболее важных задач повышения производительности и эффективности производства в условиях ресурсных ограничений, имеющих на автомобильном транспорте, является совершенствование технологических процессов на основе применения современной и новой техники, т. е. осуществление мероприятий по механизации и автоматизации технологических процессов ТО и Р.

Механизация создает необходимые технические и экономические предпосылки для применения высокопроизводительных методов и совершенных технологий при выполнении работ по ТО и Р автомобилей на АТП и АРП, использования различных средств обустройства рабочих мест, обеспечивающих благоприятные санитарно-технические и безопасные условия труда, а также применения современных систем управления производством.

Цель изучения дисциплины:

- дать студентам необходимые знания по проектированию и разработке технологических процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей с использованием современного технологического оборудования;
- дать студентам необходимые знания по проектированию и расчету технологического оборудования и приспособлений.

Дисциплину «Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий» изучают студенты-заочники направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в соответствии с учебным планом.

| Форма обучения | Заочная |
|--------------------------------|-------------|
| Курс/Семестр | 5 / 9 |
| Всего, ч | 144 |
| Лекций, ч | 6 |
| Практические занятия, ч | 6 |
| Лабораторные работы, ч | - |
| Самостоятельная работа, ч | 123 |
| Форма промежуточной аттестации | Экзамен / 9 |

Самостоятельная работа студентов заочной формы обучения заключается в изучении теоретического материала в объеме очной формы обучения, подготовке к практическим занятиям, выполнении контрольной работы и подготовке к промежуточной аттестации экзамену.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕХАНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ И АВТОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

Введение. Раздел 1. Уровни механизации АТП и АРП. Основные понятия и определения по механизации работ. Определение уровней механизации работ. Основные аспекты механизации работ на АТП и АРП. Влияние уровней механизации на показатели деятельности предприятия. Перспективы повышения уровня механизации работ.

Литература [1; 6; 11].

Методические указания

Одной из основных причин недостатков в работе производственных подразделений АТП и АРП является преобладание ручного труда при техническом обслуживании (ТО) и ремонте (Р) подвижного состава, наличие тяжелых, трудоемких операций и неблагоприятных условий работы исполнителей.

С одной стороны, это свидетельствует о недостаточно высокой эксплуатационной технологичности автомобилей, а с другой стороны – о малой эффективности производственных процессов АТП, недостаточной оснащенности их технологическим оборудованием.

Одной из наиболее важных задач повышения производительности и эффективности производства в условиях ресурсных ограничений, имеющих на автомобильном транспорте, является совершенствование технологических процессов на основе применения современной и новой техники, т. е. осуществление мероприятий по механизации и автоматизации технологических процессов ТО и Р.

Определение фактических уровней механизации (автоматизации) технологических процессов технического обслуживания и ремонта на АТП и АРП имеет большое значение, так как позволяет оценить их фактическое состояние, выявить долю ручного (в том числе тяжелого и неквалифицированного) труда и оборудования с высоким удельным весом ручных приемов, определить наиболее эффективные направления механизации, разработать комплекс мероприятий по повышению уровней механизации. При этом важно проанализировать фактические уровни механизации не только по предприятию в целом, но и для отдельных его подразделений, зон, участков и служб.

Вопросы для самопроверки

1. Основные понятия и определения по механизации.
2. Определение уровней механизации работ.
3. Основные аспекты механизации работ на АТП и АРП.
4. Влияние уровней механизации на показатели деятельности предприятия.
5. Перспективы повышения уровня механизации работ.

Раздел 2. Типизация технологического оборудования и потребность в нем АТП и АРП. Обобщенная характеристика и укрупненная классификация оборудования. Типизация оборудования. Потребные и фактические номенклатура и объем производства технологического оборудования. Определение экономической эффективности внедрения средств механизации работ.

Литература [1; 6; 8; 11].

Методические указания

Технологическое оборудование и специализированный инструмент, предназначенные для ТО и ремонта автомобилей, являются первоосновой механизации. Они определяют технический уровень производства и совершенство технологических процессов.

Разнообразие выполняемых функций и назначения технологического оборудования вызывает, с одной стороны, необходимость дифференцированного подхода к его применению при решении вопросов механизации на конкретном предприятии, а с другой - свидетельствует о необходимости иметь большой комплекс различных образцов оборудования и инструмента.

Под типизацией оборудования подразумевается его характеристики и группировка по критериям, в наибольшей степени оценивающих и выражающих его качество как средство механизации ТО и ремонта, отдельных работ, комплексов операций и т. д. Принципы типизации оборудования заключаются в определении этих критериев и оценке по ним образца.

Уровень механизации технологических процессов ТО и ТР подвижного состава автомобильного транспорта на АТП зависит непосредственно от номенклатуры и количества выпускаемого технологического оборудования. Увеличения числа типов выпускаемого оборудования позволяет механизировать большее число операций ЕО, ТО-1, ТО-2 и ТР.

Повышение уровня механизации технологических процессов ТО и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта не должно быть самоцелью. Его необходимость определяется прежде всего экономической эффективностью, которая может быть рассчитана с большей или меньшей точностью. Методика определения экономической эффективности от внедрения новой техники изучается студентами в объеме экономических дисциплин.

Вопросы для самопроверки

1. Потребность в технологическом оборудовании и чем она вызвана?
2. Обобщенная характеристика технологического оборудования.
3. Укрупненная классификация технологического оборудования.
4. Что подразумевается под типизацией технологического оборудования?
5. В чем заключаются принципы типизации технологического оборудования?
6. Чем определяется необходимость повышения уровня механизации технологических процессов ТО и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта?

Раздел 3. Классификация, проектирование и расчет технологического оборудования. Классификация технологического оборудования, используемого при техническом обслуживании, ремонте, хранении и заправке автомобилей.

Технологическое оборудование для механизации технического обслуживания и ремонта по видам работ. Оборудование для уборочно-моечных работ. Подъемно-транспортное оборудование. Подъемно-осмотровое оборудование при ТО автомобилей. Заправочно-смазочное оборудование. Контрольно-диагностическое оборудование. Оборудование для контроля, обслуживания и ремонта систем питания двигателей, электрооборудования. Шиномонтажное и шиноремонтное оборудование. Оборудование для кузовных, малярных, обойных, сварочных, кузнечных и медницких работ.

Литература [1; 4; 6; 8; 11].

Методические указания

Для современных автопредприятий (АТП, АРП, СТО) промышленностью выпускается большая номенклатура технологического оборудования, которое различается по конструктивному устройству и принципу действия. В системе Российского автотранспорта действует «Табель технологического оборудования».

При уборочных работах используют пылесосы переносного и стационарного типа.

Мойка автомобилей – один из наиболее трудоемких процессов ТО и ремонта. В настоящее время в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание сокращению трудоемкости моечных работ.

По конструкции механизированные моечные установки бывают трех типов:

- струйные;
- щеточные;
- струйно-щеточные;
- высокого давления.

Для осуществления подъема и транспортирования различных грузов при ТО и ТР используются различные передвижные краны, тележки, электротельферы, кран-балки.

Перемещение автомобилей с поста на пост при поточном методе обслуживания осуществляется с помощью гаражных конвейеров. Получили распространение конвейеры непрерывного (применяются при ЕО) и периодического действия (ЕО, ТО-1, ТО-2). Конвейеры подразделяются также по способу передачи движения автомобилю на толкающие, несущие и тянущие.

Для выполнения работ ТО требуется доступ к автомобилю сверху, сбоку и снизу. Для обеспечения наиболее рациональной позы рабочего при производстве работ ТО сверху и снизу автомобиля, а следовательно, для обеспечения высоких производительности труда, качества и безопасности работ, применяется подъемно-осмотровое оборудование.

Заправочно-смазочное оборудование имеет общие конструктивные элементы: насос, резервуар, приборы (манометры, расходомеры), раздаточные устройства (пистолет, сопла).

Используемое при диагностировании контрольно-диагностическое оборудование позволяет обнаруживать скрытые дефекты автомобилей с количественной оценкой параметров, и при этом нет необходимости разбирать механизм или агрегат. Диагностическое оборудование имеет очень широкую номенклатуру по диагностическим параметрам.

Необходимо ознакомиться с классификацией и конструкцией технологического оборудования по видам выполняемых работ.

Вопросы для самопроверки

1. Где используется специализированное технологическое оборудование?
2. Где используется оборудование общего назначения?
3. Какое оборудование используется для уборочных работ?
4. Что позволяет обеспечить современная мойка автомобилей?
5. Классификация моечного оборудования.
6. Классификация подъемно-транспортного оборудования.
7. Классификация подъемно-осмотрового оборудования.
8. Что включает в себя комплекс смазочно-заправочных работ?
9. В какие группы объединяется оборудование для смазочно-заправочных работ?
10. Классификация средств технического диагностирования (СТД).
11. Классификация и общая техническая характеристика стендов для измерения тягово-экономических характеристик автомобилей.
12. Классификация средств технического диагностирования тормозов.

Основы конструирования технологического оборудования. Конструирование и расчет рабочих зон моечного оборудования. Расчет и кон-

струирование струйных установок.

Литература [1; 2; 4; 6; 8; 9; 11].

Методические указания

Разработка конструкторской документации на изделие представляет собою сложный многостадийный процесс постепенного совершенствования технического решения до такого уровня, когда показатели изготовленного по разработанной документации изделия будут полностью отвечать или превосходить требования. Многостадийность разработки конструкторской документации обусловлена сложностью создания новой техники, а также важностью исключения ошибок. задании, и соответствовать высшим достижениям науки и техники.

Конструирование и расчет рабочих зон очистного оборудования выполняют в определенной последовательности (определяют плановую часовую производительность оборудования, решают вопрос о способе подачи изделий в рабочую зону, определяют количество условных объектов очистки, которые находятся в рабочей зоне одновременно и объем рабочей зоны).

Расчет и конструирование струйных моечных установок включает расчеты элементов конструкции установки и потерь напора в гидравлической сети.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлена многостадийность разработки конструкторской документации?
2. Перечислите пять стадий последовательности разработки конструкторской документации?
3. Как определяют плановую часовую производительность оборудования?
4. Как определяют количество условных объектов очистки, которые находятся в рабочей зоне одновременно?
5. Как определяют объем рабочей зоны?
6. Последовательность расчета струйной моечной установки.

Методы проектирования агрегатов, узлов технологического оборудования для технического обслуживания и ремонта автомобилей. Оборудование и приспособления для ремонта автомобилей. Классификация приспособлений.

Установочные элементы приспособлений. Установка на плоскости, на установочные пальцы, на призмы, опоры самоустанавливающиеся.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Методы проектирования агрегатов, узлов технологического оборуду-

дования для технического обслуживания и ремонта автомобилей изучались в дисциплинах «Теория механизмов и машин», «Детали машин и основы конструирования», «Гидравлика и гидропневмопривод».

Металлорежущий станок - это машина, предназначенная для обработки заготовок в целях образования заданных поверхностей путем снятия стружки или путем пластической деформации. Обработка производится преимущественно путем резания лезвийным или абразивным инструментом. Станки применяют также для выглаживания поверхности детали, для обкатывания поверхности роликами. Металлообрабатывающие станки осуществляют резание неметаллических материалов, например, дерева, текстолита, капрона и других пластических масс. Специальные станки обрабатывают также керамику, стекло и другие материалы.

Приспособлениями называются вспомогательные устройства к технологическому оборудованию, используемые при выполнении операций механической обработки, сборки, разборки или контроля. Наибольшую группу (около 70 %) составляют приспособления для механической обработки на станках.

Приспособления имеют практически одинаковую структуру, куда входят различные элементы, механизмы и детали.

Вопросы для самопроверки

1. Определение металлорежущего станка.
2. Назначение металлорежущих станков.
3. Группы металлорежущих станков.
4. Классификация станков.
5. Классификация приспособлений.
6. Основные элементы приспособлений.

Установочные элементы приспособлений. Установка на плоскости, на установочные пальцы, на призмы, опоры самоустанавливающиеся.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Установочные элементы (опоры) служат для ориентации детали или заготовки в пространстве при обработке, сборке или контроле.

Число опор должно быть равно числу устраняемых степеней свободы. Для повышения жесткости и виброустойчивости дополнительно используют вспомогательные регулируемые или самоустанавливающиеся опоры.

Форма установочных элементов зависит от формы базовой поверхности детали или заготовки.

В качестве установочных элементов при базировании заготовок по плоским поверхностям используют точечные опоры со сферической, плос-

кой и насеченной опорными поверхностями, опорные пластины и шайбы.

Регулируемые опоры бывают винтовые и клиноплунжерные. Их применяют в качестве основных и вспомогательных опор.

Установку деталей и заготовок по отверстию осуществляют с использованием установочных пальцев, оправок и самоцентрирующих патронов.

Установочные пальцы служат для установки на них одним или двумя отверстиями обрабатываемых деталей.

В призмы устанавливают заготовки деталей типа тел вращения с обработанными и необработанными базовыми поверхностями.

Для установки заготовок по центровым отверстиям используют центры с углом при вершине 60° .

Вопросы для самопроверки

1. Назначение установочных элементов.
2. Требования, предъявляемые к установочным элементам.
3. Установочные элементы при базировании заготовок по плоским поверхностям.
4. Какими бывают регулируемые опоры?
5. Установка деталей и заготовок по отверстию.
6. Назначение оправок.
7. Виды пальцев по конструктивному исполнению.
8. Какие детали устанавливаются в призмы?
9. Какие приспособления используют для установки заготовок по центровым отверстиям?

Зажимные устройства приспособлений. Назначение зажимных устройств. Винтовые зажимы и резьбовые прихваты. Эксцентриковые зажимы. Клиновые зажимы, рычажные зажимы, центрирующие зажимные устройства. Мембранные патроны, реечно-рычажные зажимы. Механизмы-усилители.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Зажимные элементы приспособлений служат для закрепления заготовки в приспособлении. К ним относят прижимы, прихваты, зажимы различных конструкций. Зажимы состоят как правило из собственно зажима и привода зажимного устройства. Собственно зажим (элемент, контактирующий с заготовкой) выполняют в виде нажимного винта (с пяткой или без нее), прихвата, кулачка (в патронах), цанги и т. п.

Конструкции прихватов и зажимных устройств должны обеспечивать их быстрый отвод-подвод, минимальное участие человека в этой операции, высокую жесткость и стабильность положения в процессе зажима и

обработки заготовки. Поэтому в качестве привода зажимных элементов часто применяют не только механические, но также пневматические, гидравлические, электрические устройства. Эти устройства могут быть встроены в **приспособления** или могут составлять отдельный узел.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение зажимных устройств.
2. Какую роль выполняют прихваты?
3. Виды зажимных устройств.
4. Приводы зажимных устройств.
5. Какие силы действуют на заготовку в процессе обработки?
6. Требования, предъявляемые к зажимным устройствам.
7. В каких случаях исключается использование зажимных устройств?
8. Достоинства и недостатки каждого вида зажимных устройств.
9. Расчет винтовых зажимов.
10. Расчет резьбовых прихватов.
11. Расчет эксцентриковых зажимов.

Методика расчета сил зажима. Зажимное устройство, предупреждающее смещение изделия от действия сил. Зажимное устройство, предотвращающее проворачивание изделия от действия момента. Расчетные формулы для определения сил зажима.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Расчет сил зажима производится в два основных случаях:

- при конструировании новых специальных приспособлений;
- при использовании имеющихся приспособлений с зажимными устройствами, развивающими определенные силы.

Для расчета сил зажима, в первом случае, необходимо знать условия проектируемой обработки: величину, направление и место приложения сил, сдвигающих заготовку, а также схему ее установки и закрепления.

Во втором случае расчет сил зажима носит поверочный характер. Найденная из условий обработки необходимая сила зажима должна быть меньше или равна той силе, которую развивает зажимное устройство используемого универсального приспособления. Если это условие не выдерживается, то производят изменение условий обработки с целью уменьшения необходимой силы зажима с последующим новым поверочным расчетом.

Изучая эту тему, обратите внимание на схемы действующих на изделие сил при расчете сил зажима зажимного устройства, предупреждающего смещение изделия от действия сил, и зажимного устройства, предотвращающего проворачивание изделия от действия момента.

Вопросы для самопроверки

1. Для каких случаев делают расчет сил зажима?
2. На какие основные группы разделены зажимные устройства приспособлений?
3. Какие зажимные устройства относятся к 1 и 2 группам?
4. Расчет сил зажима зажимного устройства, предупреждающего смещение изделия от действия сил.
5. Расчет сил зажима зажимного устройства, предотвращающего проворачивание изделия от действия момента.

Основы проектирования гидравлических, пневматических, механических, энергетических и электронных установок для технологического оборудования. Пневматический привод. Гидравлический привод. Пневмогидравлический привод.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Исходной энергией в пневматических приводах является энергия сжатого воздуха.

По схеме действия пневмоцилиндры подразделяются на односторонние и двусторонние.

Пневмокамеры применяют в зажимных, фиксирующих, переключающих, тормозных, прессующих устройствах станков, прессов, варочных и других машин, в приводах арматуры с тяжёлыми условиями работы, обусловленными загрязнённостью окружающей среды, низким качеством очистки сжатого воздуха от механических частиц и влаги.

Гидравлический привод – это самостоятельная установка, состоящая из нагнетательной аппаратуры, гидродвигателя, системы управления, распределительных и предохранительных устройств, трубопроводов. В качестве рабочей жидкости в гидравлических приводах обычно служит масло индустриальное И20А или И40А.

Пневмогидравлические приводы состоят из преобразователя давления, который соединен с гидроцилиндрами приспособлений и необходимой аппаратурой. Преобразователи предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в энергию масла с увеличенным давлением. В пневмогидравлическом приводе исходной энергией является энергия сжатого воздуха, которая преобразуется вначале в энергию сжатой жидкости, а уже затем в силу на штоке.

Вопросы для самопроверки

1. Что является исходной энергией пневматического, гидравлического и пневмогидравлического приводов?
2. Достоинства и недостатки пневматического, гидравлического и пневмо-

гидравлического приводов?

3. Конструкции и применение пневматического, гидравлического и пневмогидравлического приводов?

4. Расчет усилия на штоке пневматического и гидравлического приводов?

Сборочные приспособления. Типы сборочных приспособлений. Элементы сборочных приспособлений. Специфика конструирования сборочных приспособлений. Приспособления для изменения положения собираемой сборочной единицы.

Литература [1; 5; 7; 11].

Методические указания

Сборочные приспособления устройства и механизмы употребляют в машиностроении для установки, закрепления, правильного взаимного расположения собираемых деталей и сборочных единиц.

Сборочные приспособления используют при узловой и общей сборке изделий. Они являются простыми, доступными и эффективными средствами механизации ручной сборки, а также необходимыми дополнительными устройствами обычного и автоматизированного сборочного оборудования. Сборочные приспособления обеспечивают быструю установку и закрепление сопрягаемых элементов изделия.

Использование сборочных приспособлений улучшает качество изделий, облегчает труд сборщиков и повышает производительность их труда.

По степени специализации их подразделяют на универсальные и специальные.

Универсальные приспособления применяют в единичном и мелкосерийном производстве. К ним относят плиты, сборочные балки, призмы и угольники, струбины, домкраты и различные вспомогательные детали и устройства (подкладки, клинья, винтовые прихваты).

Специальные приспособления применяют в крупносерийном и массовом производстве для выполнения определенных сборочных операций.

Специальные сборочные приспособления состоят из корпуса и смонтированных на его основе установочных элементов и зажимных устройств.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение сборочных приспособлений.
2. Как подразделяют сборочные приспособления по степени специализации?
3. Где используют универсальные сборочные приспособления?
4. Где используют специальные сборочные приспособления?
5. Какие сборочные приспособления относят к универсальным?
6. На какие типы разделены специальные сборочные приспособления?
7. Из каких элементов состоят специальные сборочные приспособления?
8. Специфика конструирования специальных сборочных приспособлений.

Контрольные приспособления. Назначение и типы контрольных приспособлений. Основные элементы контрольных приспособлений.

Литература [1; 5; 7; 11]

Методические указания

В условиях современного производства задача повышения производительности и точности средств технических измерений может быть с успехом решена широким внедрением контрольных приспособлений.

Контрольными приспособлениями проверяются самые различные параметры деталей и узлов машин.

Конструкция каждого контрольного приспособления должна удовлетворять разносторонним требованиям, важнейшими из которых являются оптимальная точность измерения и производительность контроля, технологичность в изготовлении, износоустойчивость, удобство в эксплуатации, а также экономическая целесообразность.

Большое значение имеет анализ погрешностей измерений, присущих конструкции каждого контрольного приспособления. Под погрешностью измерения понимается разность между показаниями контрольного приспособления и действительным значением проверяемой величины.

Для проверки небольших и средних деталей применяют стационарные контрольные приспособления, а для крупных – переносные. Наряду с одномерными находят широкое применение *многомерные* приспособления, где за одну установку проверяют несколько параметров.

Контрольные приспособления делят на пассивные и активные.

Контрольные приспособления — это специальные производственные средства измерений, представляющие собой конструктивное сочетание базирующих (установочных), зажимных, передающих, измерительных и вспомогательных элементов, смонтированных на корпусе приспособления.

Благодаря комплексу этих основных элементов контрольное приспособление обеспечивает объективность, точность и производительность контроля.

Вопросы для самопроверки

1. Какие параметры проверяют контрольными приспособлениями?
2. Каким требованиям должны удовлетворять контрольные приспособления?
3. Погрешности измерений, присущие конструкции каждого контрольного приспособления.
3. Назначение и типы контрольных приспособлений.
4. Основные элементы контрольных приспособлений.

Список рекомендуемой литературы

1. Андреева, Н. А. Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий: учеб. пособие [Электронный ресурс]: для студентов автомобильных специальностей / Н. А. Андреева; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2015. – 126 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91342&type=utchposob:common>

8. Андреева Н. А. Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий: метод. указания к практическим работам: для студентов направления 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения / Н. А. Андреева. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2014. – 52 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=50>

9. Андреева Н. А. Механизация технологических процессов автотранспортных и авторемонтных предприятий: метод. указания к самостоятельной работе: для студентов направления 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной формы обучения / Н. А. Андреева. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2014. – 11 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=53>

4. Афанасиков, Ю. И. Проектирование моечно-очистного оборудования авторемонтных предприятий / Ю. И. Афанасиков. – М.: Транспорт, 1987. – 174 с.

5. Белоусов, А. П. Проектирование станочных приспособлений / А. П. Белоусов. – М.: Высш. шк., 1980. – 240 с.

6. Колясинский, З. С. Механизация и автоматизация авторемонтного производства / З. С. Колясинский, Г. Н. Сархошьян, А. М. Лисковец. – М.: Транспорт, 1982. – 161 с.

7. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений / В. С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

8. Маничев, Б. Е. Основы автоматизации технического обслуживания и ремонта автомобилей / Б. Е. Маничев. – М.: Транспорт, 1978. – 240 с.

9. Расчет моечной установки: методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине «Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования» для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» всех форм обучения / сост.: Н. А. Андреева; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. эксплуатации автомобилей. – Кемерово, 2011.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=815>

10. Расчет винтового домкрата. Расчет реечного домкрата: методические указания к расчетно-графической работе по дисциплине «Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования» для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» всех форм обучения / сост.: Н. А. Андреева; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн.

ун-т», Каф. эксплуатации автомобилей. – Кемерово, 2011.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=814>

11. Фаскиев, Р. С. Проектирование приспособлений: учебное пособие / Р. С. Фаскиев, Е. В. Бондаренко. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 178 с.

3. ЗАДАНИЕ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

3.1. ТЕМА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ «РАСЧЕТ СТРУЙНОЙ МОЕЧНОЙ УСТАНОВКИ И ДОМКРАТА»

Задание к контрольной работе выдает преподаватель.

3.2. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В контрольной работе студенты выполняют расчеты:

1. струйной моечной установки [9];
2. винтового или реечного домкрата [10].

3.3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Таблица 1

Исходные данные для расчета моечной установки и домкрата

| В | Марка авт. | Т.у. | Д. | Ф.н. | d | N | d_{max} | d_{min} | n | д. |
|----|---------------|------|------|----------|-----|-----|-----------|-----------|-----|----|
| 1 | ГАЗ-53-12 | С | 0,8 | Цилиндр. | 7,0 | 1 | 250 | 60 | - | В |
| 2 | ЗИЛ 431410 | С | 0,9 | Конич. | 6,5 | 1 | 300 | 70 | - | В |
| 3 | ГЭСА 3777 | С | 1,0 | Коноид. | 6,0 | 1 | 250 | 70 | - | В |
| 4 | ЗИЛ ММЗ 4505 | С | 1,1 | Конич. | 5,5 | 2 | 200 | 80 | - | В |
| 5 | Урал-5557 | С | 1,2 | Коноид. | 6,0 | 2 | 150 | 60 | - | В |
| 6 | КамАЗ-53212 | С | 1,3 | цилиндр. | 4,0 | 2 | 150 | 80 | - | В |
| 7 | КамАЗ-5325 | С | 1,4 | Конич. | 4,5 | 1 | 120 | 70 | - | В |
| 8 | Урал 43202-01 | С | 1,5 | Коноид. | 3,5 | 1 | 120 | 60 | - | В |
| 9 | КрАЗ-260 | С | 1,6 | Конич. | 3,0 | 2 | 150 | 50 | - | В |
| 10 | НЗАС 3964 | С | 1,7 | Цилиндр. | 3,5 | 1 | 200 | 80 | - | В |
| 11 | ЗИЛ 431510 | С | 1,8 | Коноид. | 3,5 | 2 | 200 | 70 | - | В |
| 12 | МАЗ-53362 | С | 1,9 | Конич. | 4,0 | 2 | 150 | 60 | - | В |
| 13 | МАЗ-53371 | С | 2,0 | Цилиндр. | 3,5 | 2 | 150 | 50 | - | В |
| 14 | БелАЗ 7548 | С | 1,9 | Конич. | 4,0 | 3 | 300 | 70 | - | В |
| 15 | БелАЗ 75214 | С | 1,8 | Коноид. | 4,5 | 2 | 300 | 60 | - | В |
| 16 | ТАМ 260А 119Т | С-Щ | 1,7 | Конич. | 4,0 | 2 | 300 | 50 | 5 | В |
| 17 | ВАЗ 2105 | Щ | 0,2 | Цилиндр. | 3,5 | 1 | 150 | 40 | 3 | Р |
| 18 | ГАЗ 3110 | Щ | 0,25 | Конич. | 5,0 | 2 | 250 | 40 | 3 | Р |
| 19 | ВАЗ 2112 | Щ | 0,3 | Коноид. | 6,0 | 3 | 200 | 50 | 3 | Р |
| 20 | УАЗ 31512 | Щ | 0,35 | Цилиндр. | 7,0 | 2 | 150 | 50 | 3 | Р |
| 21 | ВАЗ 1111 | Щ | 0,4 | Конич. | 4,5 | 3 | 100 | 50 | 3 | Р |
| 22 | УАЗ 2206 | Щ | 0,35 | Коноид. | 5,6 | 3 | 120 | 60 | 5 | Р |
| 23 | КАВЗ 3976 | С-Щ | 0,5 | Цилиндр. | 5,0 | 3 | 150 | 60 | 5 | В |

| В | Марка авт. | Т.у. | Д. | Ф.н. | d | N | d_{max} | d_{min} | n | д. |
|----|--------------------|------|------|----------|-----|-----|-----------|-----------|-----|----|
| 24 | ПАЗ-3205 | С-Щ | 0,55 | Конич. | 6,5 | 3 | 180 | 60 | 5 | В |
| 25 | ЛАЗ 42021 | С-Щ | 0,6 | Коноид. | 6,0 | 2 | 200 | 40 | 5 | В |
| 26 | ЛАЗ 4207 | С-Щ | 0,65 | Цилиндр. | 5,5 | 3 | 220 | 60 | 3 | В |
| 27 | ЛИАЗ 5256 | С-Щ | 0,7 | Конич. | 5,0 | 3 | 250 | 60 | 5 | В |
| 28 | ВАЗ 2131 | Щ | 0,75 | Коноид. | 5,0 | 2 | 200 | 50 | 3 | Р |
| 29 | Икарус 543.26 | С-Щ | 0,8 | Цилиндр. | 4,5 | 2 | 300 | 60 | 5 | В |
| 30 | Икарус 263.00 | С-Щ | 0,85 | Конич. | 5,5 | 3 | 250 | 50 | 5 | В |
| 31 | Икарус 415.08 | С-Щ | 0,9 | Коноид. | 4,0 | 2 | 200 | 50 | 3 | В |
| 32 | Икарус 250.93 | С-Щ | 1,0 | Коноид. | 5,0 | 3 | 150 | 50 | 5 | В |
| 33 | САЗ 3508 | С | 1,1 | Цилиндр. | 5,8 | 1 | 120 | 40 | - | В |
| 34 | ЗИЛ 433100 | С | 1,2 | Конич. | 3,5 | 2 | 100 | 50 | - | В |
| 35 | Мерседес-Бенц 1735 | С | 1,3 | Коноид. | 4,0 | 3 | 150 | 60 | - | В |
| 36 | КрАЗ 255 Б1 | С | 1,4 | Цилиндр. | 3,5 | 2 | 120 | 70 | - | В |
| 37 | VOLVO F12 | С | 1,5 | Конич. | 5,0 | 2 | 150 | 80 | - | В |
| 38 | ВАЗ 2104 | С-Щ | 0,5 | Цилиндр. | 6,0 | 2 | 200 | 40 | 3 | Р |
| 39 | ВАЗ 2109 | С-Щ | 0,6 | Конич. | 6,5 | 1 | 200 | 50 | 3 | Р |
| 40 | ВАЗ 2121 | С-Щ | 0,7 | Коноид. | 7,0 | 2 | 120 | 60 | 3 | Р |
| 41 | АЗЛК 2141-01 | С-Щ | 0,8 | Цилиндр. | 5,5 | 2 | 150 | 60 | 3 | Р |
| 42 | ЗИЛ 41047 | С-Щ | 1,0 | Конич. | 5,0 | 3 | 100 | 50 | 3 | В |
| 43 | ЗИЛ 3207 | С-Щ | 0,9 | Коноид. | 6,0 | 3 | 120 | 50 | 3 | В |
| 44 | Икарус 256.74 | С-Щ | 0,8 | Конич. | 7,0 | 3 | 100 | 40 | 5 | В |
| 45 | НефАЗ 4208 | С-Щ | 0,7 | Коноид. | 6,5 | 2 | 150 | 50 | 3 | В |
| 46 | КамАЗ 43105 | С | 0,6 | Цилиндр. | 6,5 | 3 | 120 | 60 | - | В |
| 47 | УАЗ- 3303 | С | 0,8 | Конич. | 5,0 | 2 | 150 | 60 | - | В |
| 48 | НЗАС- 4951-01 | С | 0,9 | Коноид. | 4,5 | 2 | 180 | 70 | - | В |
| 49 | ЛИАЗ 677М | С-Щ | 0,7 | Цилиндр. | 4,0 | 2 | 100 | 50 | - | В |
| 50 | ЗИЛ 133ГЯ | С | 0,6 | Цилиндр. | 5,0 | 1 | 100 | 40 | - | В |
| 51 | ГАЗ САЗ 3507-01 | С | 1,1 | Конич. | 3,5 | 2 | 120 | 60 | - | В |
| 52 | ГАЗ-3307 | С | 1,2 | Коноид. | 3,0 | 2 | 100 | 40 | - | В |
| 53 | ГАЗ- 3102 | Щ | 0,4 | Цилиндр. | 6,0 | 2 | 80 | 50 | 3 | Р |
| 54 | УАЗ-2206 | Щ | 0,5 | Конич. | 7,0 | 2 | 80 | 50 | 3 | Р |
| 55 | УАЗ- 3741 | С-Щ | 0,6 | Коноид. | 5,0 | 2 | 90 | 40 | 3 | Р |
| 56 | ИЖ 2715-01 | Щ | 0,3 | Цилиндр. | 7,0 | 2 | 170 | 60 | 5 | Р |
| 57 | ГАЗ 302 | С | 0,7 | Конич. | 4,0 | 2 | 120 | 30 | - | В |
| 58 | Икарус 280.64 | Щ | 0,6 | Коноид. | 5,0 | 1 | 90 | 50 | 5 | В |
| 59 | Тойота «Королла» | Щ | 0,3 | Цилиндр. | 4,0 | 3 | 100 | 30 | 5 | Р |
| 60 | НЗАС 4208 | С | 0,5 | Коноид. | 6,0 | 2 | 100 | 40 | - | В |

Примечания: 1. В таблице 1 сделаны следующие сокращения: В – вариант задания, Т.у. – тип установки, Д – давление мойки, МПа, Ф.н. – форма насадка, d – диаметр насадка в мм, N – число рамок. d_{max} – наибольший диаметр трубопровода, мм, d_{min} – наименьший диаметр трубопровода в мм, n – число щёток, С – струйная моечная установка, С-Щ – струйно-

щёточная моечная установка, Щ – щёточная моечная установка, д. – домкрат, В – винтовой, Р – реечный.

2. В расчётах диаметры трубопроводов принимать в пределах, установленных заданием.

3. Число сеток принять равным 1, число задвижек – 2, число колен трубопроводов – по усмотрению студента.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материаловедение» для студентов технических направлений
всех форм обучения

Составитель С. В. Лащнина

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 3 от 22.09.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 15.03.05
Протокол № 2 от 30.09.2015
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2015

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение микроструктуры белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов. Установление зависимости между структурой и механическими свойствами чугунов. Ознакомление с маркировкой и применением серых, высокопрочных и ковких чугунов.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Серые чугуны – это сплавы железа-углерода-кремния, в которых часть углерода находится в виде цементита ($C_{\text{связ}} \leq 0,8 \%$), остальной углерод образует кристаллы графита. В структуре серых чугунов отсутствует первичный цементит.

Повышенное количество углерода в составе чугунов приводит либо к образованию в структуре сплава твердой и хрупкой эвтектики в соответствии с диаграммой Fe-Fe₃C, либо к появлению свободного углерода в виде графита в результате процесса графитизации (табл. 1).

Образование кристаллов графита (графитизация чугуна) зависит в основном *от двух условий*: скорости охлаждения и наличия в чугуне «графитизирующих» примесей Si, Ni, Al и др. Препятствуют графитизации быстрое охлаждение и наличие карбидообразующих примесей Mn, Cr и др., а также серы. Для расчета шихты при выплавке чугуна пользуются структурными диаграммами, простейшие из которых представлены на рис. 1 а, б.

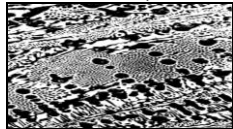

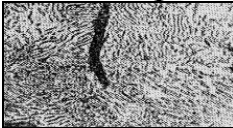

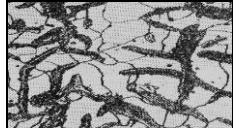
3. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА

Механизм формирования структуры в зависимости от степени графитизации проиллюстрирован в табл. 1. Основное отличие серых чугунов от белых заключается в отсутствии в их структуре первичного цементита, входящего в состав карбидной эвтектики.

Из диаграммы рис. 1 следует, что в зависимости от скорости охлаждения и содержания углерода и кремния можно получить чугуны разных структурных классов.

Таблица 1

Механизм кристаллизации чугунов

| Наименование чугуна | | I кристаллизация | II кристаллизация | Структура |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Белые чугуны (БЧ) | $\text{Ж} \rightarrow \text{А}$ $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1147} \text{Л}(\text{А} + \text{Ц}_I)$ | $\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$ | $\text{П} + \text{Ц}_{II} + \text{Л}(\text{П} + \text{Ц})$  |
| 2 | Половинчатые | $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153} \text{А} + \text{Гр} \rightarrow \text{СЧ}$ $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1147} \text{Л}(\text{А} + \text{Ц}_I) \rightarrow \text{БЧ}$ | $\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$ | $\text{П} + \text{Ц}_{II} + \text{Л} + \text{Гр}$  |
| 3 | Серый чугун на перлитной основе (СЧ) | $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153} \text{А} + \text{Гр}$ | $\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$ | $\text{П} + \text{Гр}$  |
| 4 | СЧ на феррито-перлитной основе | $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153} \text{А} + \text{Гр}$ | $\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{738} \Phi + \text{Гр}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$ | $(\Phi + \text{П}) + \text{Гр}$  |
| 5 | СЧ на ферритной основе | $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153} \text{А} + \text{Гр}$ | $\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727} \text{Гр}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{738} \Phi + \text{Гр}$ | $\Phi + \text{Гр}$  |

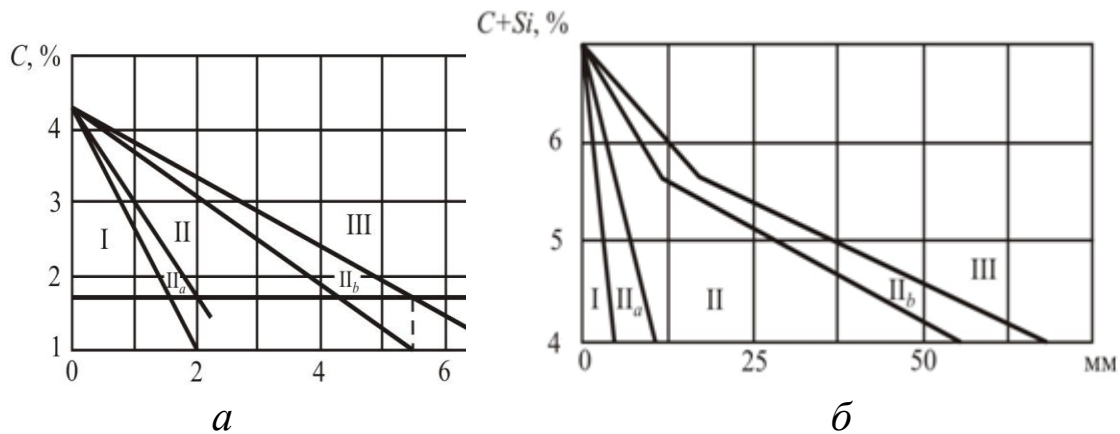


Рис.1. Структурная диаграмма чугунов:

а – в зависимости от соотношения углерода и кремния;

б – в зависимости от суммарного содержания C + Si

и от толщины стенки детали

I – белые чугуны, структура П + Л;

II_a – половинчатые чугуны, структура П + Г + Л;

II – серые перлитные чугуны, структура П + Г;

II_b – серые феррито-перлитные чугуны, структура Ф + П + Г;

III – серые ферритные чугуны, структура Ф + Г

3.1. Белые чугуны

Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии – в виде цементита. Структуры таких чугунов соответствуют структурам диаграммы Fe-Fe₃C при содержании углерода более 2,14 %. По структуре различают *доэвтектические* (<4,3 % C), *эвтектический* (4,3 % C) и *заэвтектические* (>4,3 % C) белые чугуны. Большое количество цементита в структуре определяет их механические свойства, они обладают высокой твердостью (НВ 450...550 в доэвтектических чугунах и до НВ 700 в заэвтектических) и хрупкостью, очень трудно обрабатываются резанием. Поэтому нашли ограниченное применение как конструкционные материалы только доэвтектические белые чугуны, в том числе легированные, для деталей, работающих в условиях абразивного трения (шары и бронеплиты шаровых мельниц, рабочие колеса центробежных насосов для перекачки

водоугольных суспензий, тормозные колодки, валки листовых прокатных станов, вагонные колеса и др.). Эвтектические и заэвтектические белые чугуны нашли применение как переделные чугуны в производстве стали. Повышение содержания углерода приближает сплав к эвтектическому составу, уменьшает температуру плавления и температурный интервал кристаллизации, что положительно отражается на литейных свойствах сплавов.

Структуры белых чугунов представлены на рис. 2.

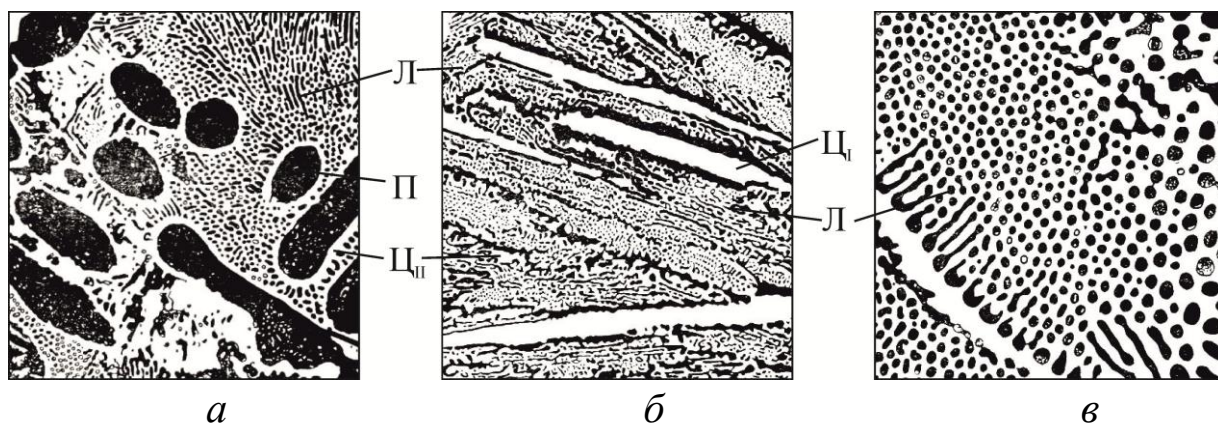


Рис. 2. Структуры белых чугунов: *a* – доэвтектического; *б* – заэвтектического; *в* – эвтектического (П – перлит; Ц – цементит; Л – ледебурит)



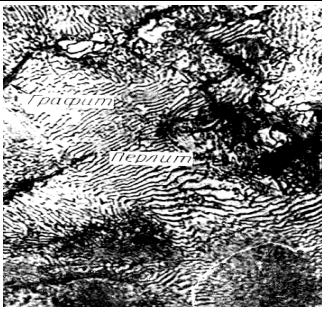
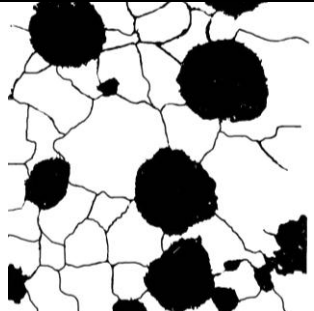

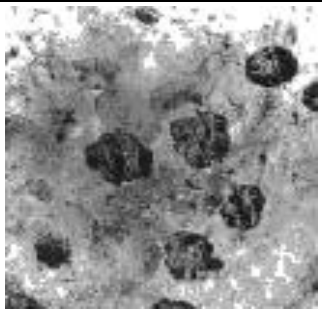
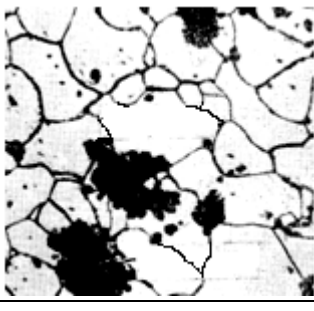
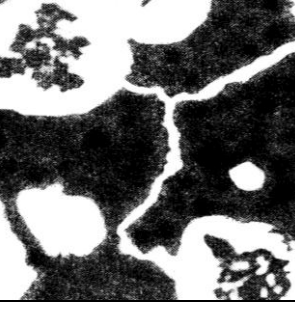
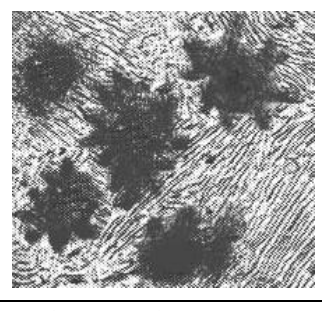
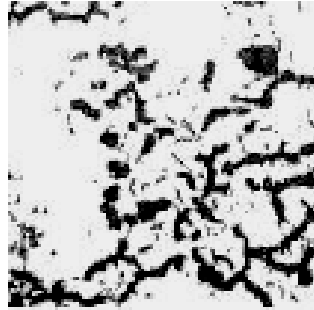
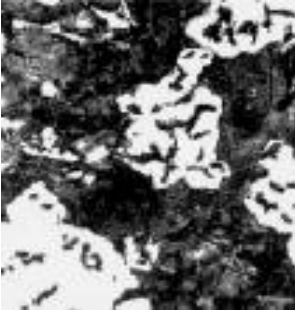
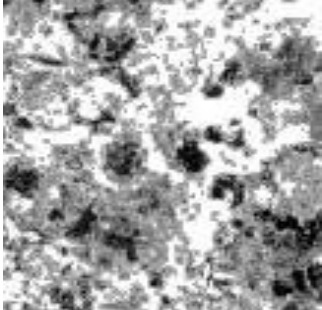
3.2. Серые чугуны

Серыми называют чугуны, в которых часть углерода находится в виде цементита ($C_{\text{связ}} \leq 0,8 \%$), остальной углерод образует кристаллы графита. Структуры таких чугунов соответствуют областям II, II_b, III диаграмм рис. 1 и приведены в табл. 1. В зависимости от степени графитизации меняется структура металлической основы и, соответственно, количество и размеры кристаллов графита. Подбором химсостава (C + Si) % и скоростью охлаждения можно обеспечить получение различной структуры металлической основы. Однако этот путь ограничен получением предела прочности при растяжении не более 250–280 МПа в перлитном сером чугуне. Повышение прочностных характеристик чугуна возможно с применением технологических приемов, обеспечивающих изменение формы, размеров и распределение графитовых включений. К таким приемам относятся модифицирование,

термообработка чугуна. Примеры структур серого чугуна в зависимости от формы графита и структуры основы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Структура серых чугунов

| Название, группа, марка | Структурный класс чугуна | | |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | ферритный | феррито- перлитный | перлитный |
| Серый чугун ГОСТ 1412 |  |  |  |
| Марка | СЧ15 | СЧ25 | СЧ30; СЧ35 |
| Высокопрочный чугун ГОСТ 7293 |  |  |  |
| Марка | ВЧ35; ВЧ40 | ВЧ45; ВЧ50; ВЧ60 | ВЧ80; ВЧ100 |
| Ковкий чугун ГОСТ 1215 |  |  |  |
| Марка | КЧ30-6 | КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12 | КЧ45-7; КЧ65-3; КЧ80-1,5 |
| Чугун с вермикулярным графитом ГОСТ 28394 |  |  |  |
| Марка | ЧВГ30; ЧВГ35 | ЧВГ40 | ЧВГ45 |

Чем больше графита, чем он крупнее, чем неравномернее он расположен в металлической основе – тем ниже прочность чугуна. При одинаковой форме графита, прочность тем выше, чем больше в структуре металлической основы перлита. Наибольшей прочностью и твердостью обладают перлитные серые чугуны.

3.2.1. Модифицированный кремнием серый чугун

Цель – получение перлитного серого чугуна с мелким «завихренным» равномерно распределенным пластинчатым графитом. Достигается это путем обработки жидкого чугуна при выпуске из плавильной печи небольшими добавками (0,3–0,5 %) ферросилиция или силикокальция. Под струю металла в литейный ковш засыпается порция свежеразмолотого ферросилиция, который растворяется и размешивается в чугуне. Жидкий чугун должен быть перегрет до 1400 °С, иметь химсостав, который после затвердевания дал бы структуру половинчатого чугуна (см. табл. 1). Добавление кремния в жидкий металл переводит по химсоставу чугун из области Π_a в область Π , т. е. обеспечивает получение перлитного серого чугуна (см. рис. 1). Часть кремния расходуется на связывание растворенного в чугуне кислорода, при этом образуются мелкие твердые частицы SiO_2 ($T_{\text{пл}} \sim 1710$ °С), которые служат дополнительными зародышами кристаллов графита. Таким образом, графит измельчается, более равномерно распределяется, временное сопротивление может быть повышено до 350–400 МПа.

3.2.2. Модифицированный магнием высокопрочный чугун

Это разновидность серого чугуна, получившая другое название из-за существенного различия механических характеристик. Цель модифицирования магнием – получить шаровидный графит, который по сравнению с пластинчатым является значительно меньшим концентратором напряжений, меньше «ослабляет» металлическую основу, тем самым повышая прочность чугуна. Для этого жидкий перегретый до 1400–1500 °С чугун обрабатывается добавками в ковш 0,3–0,5 % по массе магния, который должен раствориться в чугуне, и при кристаллизации, будучи поверхностно-активным веществом относительно растущих кристаллов графита, обеспечить одинаковую скорость роста во всех направлениях и получение шаровидной формы графита. Чтобы

магний не расходовался на реакции с кислородом и серой, перед обработкой магнием в ковш дают 0,3 % ферросилиция, а выплавленный чугун должен быть очень чистым по сере ($\leq 0,01-0,02$ % S). Введение магния в жидкий чугун сопряжено с рядом трудностей: магний – легкий металл ($\rho \sim 1,7$ г/см³), его температура кипения ниже температуры жидкого чугуна. Один из вариантов современной технологии – введение магния «под колоколом» в ковш с жидким чугуном, помещенный в герметичную камеру – автоклав, где предварительно повышается давление до 10 атм.

Структуры высокопрочного чугуна приведены в табл. 2. Прочность при растяжении в таком чугуне достигает 800 МПа, а после термообработки – 1000 МПа.

3.2.3. Получение ковкого чугуна с хлопьевидным графитом

Хлопьевидный графит (углерод отжига) меньше, чем пластинчатый, ослабляет металлическую основу, поэтому чугун с таким графитом более прочен, чем серый чугун. Получают чугун с такой формой графита и перлитной или ферритной основой высокотемпературным отжигом белого доэвтектического чугуна (рис. 3, табл. 1, пп. 3, 4, 5).

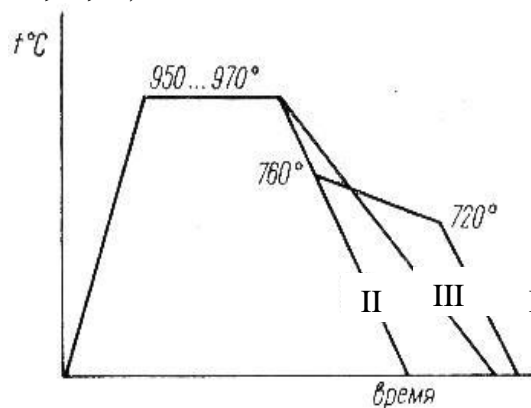


Рис. 3. Схемы режимов отжига отливок на ковкий чугун: I – отжиг на ферритный чугун; II – отжиг на перлитный чугун; III – отжиг на феррито-перлитный чугун

Для этого используется белый чугун (область I, рис. 1). Он разливается в формы и после затвердевания имеет структуру $\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}} + \text{Л}$. Последующий отжиг при температуре 950–1000 °С с длительной выдержкой вызывает распад первичного цементита и диффузию атомов углерода, собирающихся в компактные вклю-

чения графита хлопьевидной формы (см. табл. 2). Различная степень графитизации регулируется разными режимами охлаждения и получается ферритный (режим I, рис. 3), перлитный (режим II, рис. 3) либо феррито-перлитный ковкий чугун (режим III, рис. 3). Общая продолжительность отжига достигает 70–80 ч, что сильно удорожает процесс. Возможность гарантированного получения структуры белого чугуна только в тонком сечении (область I, рис. 1) ограничивает применение этого чугуна только для мелких тонкостенных деталей.

Структуры ковкого чугуна представлены в табл. 2. Прочность при растяжении у ковких чугунов может быть до 800 МПа.

3.2.4. Получение чугуна с вермикулярным графитом

Чугун с вермикулярным графитом – это относительно новый материал, производство и потребление которого развивается очень интенсивно благодаря уникальным свойствам сплава. Частицы графита ориентированы беспорядочно и имеют продолговатую форму, как в серых чугунах, но они короче, толще и имеют закругленные углы.

Известны следующие способы получения чугуна с вермикулярным графитом: обработка жидкого чугуна РЗМ (Се, Y и др.); глубокая десульфурация чугуна в сочетании с быстрой скоростью охлаждения или затвердевания (в качестве десульфуратов используют порошкообразную известь, соду, карбид кальция, гранулированный магний или смеси нескольких реагентов); модифицирование церием; целенаправленная недоработка жидкого чугуна или передержка обработанного магнием расплава; обработка высокосернистого чугуна магнием и РЗМ; обработка расплава чугуна определенного состава азотом.

Вермикулярная форма графита подавляет зарождение и распространение разрушения. Создает условия для повышенных механических свойств и в тоже время обеспечивает хорошую теплопроводность.

Структуры чугуна с вермикулярным графитом представлены в табл. 2. Временное сопротивление разрыву при растяжении достигает 300–440 МПа.

3.3. Маркировка чугунов

Серые чугуны с пластинчатым графитом регламентируются ГОСТ 1412. Они маркируются буквами СЧ и цифрами, например СЧ25. Цифры указывают, что временное сопротивление разрыву при растяжении этого чугуна не менее 250 МПа (25 кгс/мм²).

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом по ГОСТ 7293 маркируются буквами ВЧ и цифрами, значение цифр то же, что и у серого чугуна. Например, ВЧ60 имеет $\sigma_b \geq 600$ МПа (60 кгс/мм²).

Ковкие чугуны с хлопьевидным графитом по ГОСТ 1215 маркируются буквами КЧ и двумя группами цифр. Первая группа цифр показывает временное сопротивление растяжению, вторая группа цифр обозначает относительное удлинение. Например, КЧ37–12 имеет $\sigma_b \geq 370$ МПа (37 кгс/мм²) и $\delta \geq 12\%$.

Чугуны с вермикулярным графитом по ГОСТ 28394 маркируются буквами ЧВГ и далее следует цифра, обозначающая величину минимального временного сопротивления при растяжении (кгс/мм²), например, ЧВГ 30 имеет ≥ 300 МПа (30 кгс/мм²).

Серые чугуны – широко применяемые конструкционные материалы, обладающие хорошими технологическими свойствами, хорошо работают на сжатие, изгиб, обладают антифрикционными свойствами, гасят вибрации. Примеры применения чугунов различных марок даны в прил. 1, а их свойства – в прил. 2.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить микроструктуру белых и серых чугунов при просмотре коллекции микрошлифов на металлографическом микроскопе.

2. Зарисовать микроструктуры в таблице отчета (табл. 3) и расшифровать их, обозначив структурные составляющие.

3. Сравнить зарисованные структуры с классификатором структур рис. 3, назвать чугун каждого образца, его марку и примерное назначение по прил. 1.

Таблица 3

Форма отчета

| № шлифа | Микроструктура | | Название чугуна, марка, ГОСТ | Хим. состав, % | | | | | Мех. свойства | | | Примерное назначение |
|---------|----------------|----------|------------------------------|----------------|----|----|---|---|---------------|------------|----------|----------------------|
| | рисунок | название | | C | Si | Mn | P | S | НВ | σ_B | δ | |
| | | | | | | | | | | | | |

4. Пользуясь таблицами химического состава и механических свойств ГОСТ 1412–85, ГОСТ 7293–85, ГОСТ 1215–79 (прил. 2), заполнить соответствующие графы таблицы отчета.

5. Проанализировать информацию, содержащуюся в таблице отчета и сделать выводы:

- о влиянии структуры металлической основы при одинаковой форме графита на σ_B ; НВ; δ ;

- влиянии формы графитовых включений при одинаковой структуре металлической основы на НВ; σ_B ; δ .

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие железоуглеродистые сплавы называют «белые чугуны»?

2. Какое содержание углерода в доэвтектическом белом чугуне? Заэвтектическом? Эвтектическом?

3. Железоуглеродистые сплавы имеют структуру:

а) П + Л + Ц

г) П + $\Gamma_{ХЛ}$

б) Ф + П + $\Gamma_{Пл}$

д) Ф + $\Gamma_{Ш}$

в) Л + Ц

е) П + $\Gamma_{Пл}$

Назовите их.

4. Серые чугуны имеют структуру:

а) Ф + Г;

б) П + Г;

в) Ф + П + Г.

Какой из них наиболее прочен?

5. По какому признаку можно определить, является чугун серым, высокопрочным или ковким?

6. Чугун со структурой П + Г лучше работает на растяжение? На сжатие?

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Альянс, 2009. – 528 с.
2. *Материаловедение: учебник для студентов вузов* / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 648 с.
3. Гуляев, А. П. *Металловедение: учебник для вузов* / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – Москва: Альянс, 2011. – 644 с.
4. ГОСТ 1412–85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. – Введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 5с.
5. ГОСТ 7293–85. Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки. – Введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.
6. ГОСТ 1215–79. Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия. – Введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 5 с.

Область применения серых чугунов

| Марка чугуна | Примерное применение |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <u>Серые чугуны [1]</u> |
| СЧ 10 | Грузы, противовесы, ширпотреб (печное литье) |
| СЧ 15 | Слабонагруженные корпусные детали станков, пилорам – станины, стойки, кронштейны |
| СЧ 20 СЧ 25 | Нагруженные корпусные детали: станины крупных станков, корпуса редукторов, шкивы, маховики, блоки цилиндров, гильзы автотракторных двигателей и т. д. |
| СЧ 30 СЧ 35 | Тяжелонагруженные детали электродвигателей (станины, щиты подшипниковые), дизельных двигателей (блоки цилиндров, гильзы, диски сцепления), зубчатые колеса, муфты и другие детали станков |
| | <u>Высокопрочные чугуны [2]</u> |
| ВЧ 40 ВЧ 45 | Балки рольгангов, траверса, рама реверсивного прокатного стана, блок цилиндров экскаватора, вал эксцентрика, детали гидро- и паровых турбин. |
| ВЧ 50 | Коленчатые валы крупных двигателей 600, 900, 1200, 2000 л.с, детали горнорудного и размольного оборудования, корпус, траверса, кронштейн рабочей клетки прокатного стана, ковочного пресса и др. |
| ВЧ 60 ВЧ 70 | Коленчатые валы легковых автомобилей, тракторов, комбайнов, цилиндрические конические шестерни, венец барабана канатного подъемника, шестерня угледробилки и др. |
| | <u>Ковкие чугуны [2]</u> |
| КЧ 33-8 КЧ 35-10 | Для сельхозмашин: детали шасси, корпусные, кронштейны, втулки, фитинги, пробки, барашки |
| КЧ 37-12 КЧ 45-6 | Для автомобилей: корпусные детали шасси, подвески, картеры мостов, коробки передач, дифференциала, втулки, рычаги, кронштейны и др. |

Химический состав и механические свойства чугунов

Химический состав отливок из серого чугуна ГОСТ 1412–85

| Марка чугуна | Массовая доля элементов, % | | |
|--------------|----------------------------|---------|----------|
| | Углерод | Кремний | Марганец |
| СЧ 10 | 3,5–3,7 | 2,2–2,6 | 0,5–0,8 |
| СЧ 15 | 3,5–3,7 | 2,0–2,4 | 0,5–0,8 |
| СЧ 20 | 3,3–3,5 | 1,4–2,4 | 0,7–1,0 |
| СЧ 25 | 3,2–3,4 | 1,4–2,2 | 0,7–1,0 |
| СЧ 30 | 3,0–3,2 | 1,3–1,9 | 0,7–1,0 |
| СЧ 35 | 2,9–3,0 | 1,2–1,5 | 0,7–1,1 |

Примечание: 1) $P \leq 0,3-0,2$; 2) $S \leq 0,15-0,12$

Механические свойства отливок из серого чугуна
ГОСТ 1412–85

| Марка чугуна | Временное сопротивление при растяжении σ_b , МПа (кгс/мм ²), не менее | Твердость НВ, не менее |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| СЧ 10 | 100 (10) | 156 |
| СЧ 15 | 150 (15) | 163 |
| СЧ 20 | 200 (20) | 170 |
| СЧ 25 | 250 (25) | 187 |
| СЧ 30 | 300 (30) | 197 |
| СЧ 35 | 350 (35) | 229 |

Примечание: 1. Для отливки толщиной стенки 15 мм
2. Относительное удлинение 0 %

Химический состав высокопрочного чугуна
ГОСТ 7293–85

| Марка чугуна | Массовая доля элементов, % | | |
|--------------|----------------------------|---------|----------|
| | Углерод | Кремний | Марганец |
| ВЧ 35 | 3,3–3,5 | 1,9–2,9 | 0,2–0,6 |
| ВЧ 40 | 3,3–3,6 | 1,9–2,9 | 0,2–0,6 |
| ВЧ 45 | 3,3–3,6 | 1,9–2,9 | 0,3–0,7 |
| ВЧ 50 | 3,3–3,6 | 1,9–2,9 | 0,3–0,7 |
| ВЧ 60 | 3,3–3,6 | 2,4–2,6 | 0,4–0,7 |
| ВЧ 70 | 3,3–3,6 | 2,6–2,9 | 0,4–0,7 |
| ВЧ 80 | 3,3–3,6 | 2,6–2,9 | 0,4–0,7 |
| ВЧ 100 | 3,3–3,6 | 3,0–3,8 | 0,4–0,7 |

Примечание: 1) $P \leq 0,1$, $S \leq 0,01-0,02$; 2) $Mg \leq 0,005$

**Механические свойства высокопрочного чугуна
ГОСТ 7293–85**

| Марка чугуна | Временное сопротивление при растяжении σ_b , МПа (кгс/мм ²) не менее | Относительное удлинение δ %, не менее | Твердость по Бринеллю, НВ |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| ВЧ 35 | 350 (35) | 22 | 140–170 |
| ВЧ 40 | 400 (40) | 15 | 140–200 |
| ВЧ 45 | 450 (45) | 10 | 160–220 |
| ВЧ 50 | 500 (50) | 7 | 170–240 |
| ВЧ 60 | 600 (60) | 3 | 190–280 |
| ВЧ 70 | 700 (70) | 2 | 240–300 |
| ВЧ 80 | 800 (80) | 2 | 250–330 |
| ВЧ 100 | 1000 (100) | 2 | 270–360 |

**Химический состав ковких чугунов
ГОСТ 1215–79**

| Марка чугуна | Химический состав, % | | | | | |
|--------------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Углерод | Кремний | Марганец | Фосфор | Сера | Хром |
| Чугун ферритного класса | | | | | | |
| КЧ 30-6 КЧ 33-8 | 2,6–2,2 | 1,0–1,6 | 0,4–0,6 | 0,18 | 0,20 | 0,08 |
| КЧ 35-10 КЧ 37-12 | 2,5–2,8 2,4–2,7 | 1,1–1,3 1,2–1,4 | 0,3–0,6 0,2–0,4 | 0,12 0,12 | 0,20 0,06 | 0,06 0,06 |
| Чугун перлитного класса | | | | | | |
| КЧ 45-7 КЧ 50-5 КЧ 55-4 | 2,5–2,8 | 1,2–1,4 | 0,3–1,0 | 0,1 | 0,2 | 0,08 |
| КЧ 60-3 КЧ 65-3 КЧ 70-3 КЧ 80-1,5 | 2,4–2,7 | 1,2–1,4 | 0,3–1,0 | 0,1 | 0,06 | 0,08 |

Продолжение прил. 2

Механические свойства ковких чугунов
ГОСТ 1215–79

| Марка чугуна | Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа (кгс/мм ²), не менее | Относительное удлинение δ %, не менее | Твердость, НВ |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| КЧ 30-6 | 294 (30) | 6 | 100–163 |
| КЧ 33-8 | 323 (33) | 8 | 100–163 |
| КЧ 35-10 | 333 (35) | 10 | 100–163 |
| КЧ 37-12 | 362 (37) | 12 | 110–163 |
| КЧ 45-7 | 441 (45) | 7 | 150–207 |
| КЧ 50-5 | 490 (50) | 5 | 170–230 |
| КЧ 55-4 | 539 (55) | 4 | 192–241 |
| КЧ 60-3 | 588 (60) | 3 | 200–269 |
| КЧ 65-3 | 637 (60) | 3 | 212–269 |
| КЧ 70-3 | 686 (70) | 2 | 241–285 |
| КЧ 80-1,5 | 784 (80) | 1,5 | 270–326 |

Составитель
Ляцинина Светлана Викторовна

МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Материаловедение» для студентов технических направлений
всех форм обучения

Рецензент Л. П. Короткова

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 09.11.2015. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и
комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство», и
специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Составители Е. Ю. Темникова
В. Н. Сливной
С. А. Шевырев

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры ТЭ
Протокол № 5 от 09.12.2015 г.
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 13.03.01
Протокол № 5 от 09.12.2015 г.
Электронная копия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является получение практических навыков экспериментального определения коэффициента теплопроводности методом неограниченного цилиндрического слоя (методом трубы), а также закрепление знаний по основам теории теплопроводности.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Существует три способа передачи тепла – конвекцией, теплопроводностью и тепловым излучением.

Теплопроводность – это перенос тепловой энергии структурными частицами вещества (молекулами, атомами, ионами) в процессе их теплового движения. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур. Явление теплопроводности заключается в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передается другому телу при их взаимодействии или передается из более нагретых областей тела к менее нагретым областям.

Механизм распространения тепла теплопроводностью зависит от физических свойств тела, его агрегатного состояния. В газах и жидкостях он происходит путем соударения частиц между собой, а также посредством диффузии молекул и атомов. В металлах теплопроводность осуществляется в результате диффузии свободных электронов и частично – упругих колебаний кристаллической решетки. В твердых телах – диэлектриках, в основном, за счет упругих колебаний кристаллической решетки.

Процесс теплопроводности (как и другие виды теплообмена) может иметь место лишь тогда, когда в различных точках тела температура неодинакова. В общем случае процесс передачи тепла теплопроводностью в твердом теле сопровождается изменением температуры в пространстве и во времени.

Значение температуры в любой точке пространства, определяемой координатами x , y , z в каждый момент времени τ может быть описано уравнением

$$t = t(x, y, z, \tau),$$

которое представляет собой математическое выражение температурного поля в его наиболее общем виде, когда температура меняется вдоль всех координатных осей, а также с течением времени. Такое температурное поле называют трехмерным нестационарным. *Температурное поле* – совокупность значений температуры во всех точках изучаемого пространства для каждого момента времени.

Если $\partial t / \partial \tau = 0$, то температура каждой точки с течением времени не изменяется, то такое поле называется *трехмерным стационарным*, т.е.

$$t = t(x, y, z).$$

Целью решения задач теплопроводности является определение температурного поля.

Если соединить точки тела, имеющие одинаковую температуру, то получим поверхность равных температур – *изотермическую поверхность* – геометрическое место точек с одинаковой температурой.

Свойства изотермических поверхностей: в однородном изотропном теле изотермические поверхности непрерывны; изотермические поверхности не пересекаются.

Для того чтобы оценить, насколько резко меняется температура внутри тела, пользуются понятием температурного градиента (скалярная величина) [К/м]:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n}.$$

Температурный градиент – вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону роста температуры.

Тепловой поток передается в обратном направлении. В случае стационарного температурного поля количество тепла (Вт), переданного в единицу времени путем теплопроводности через площадь, перпендикулярную градиенту температуры, описывается простым уравнение, предложенным **Фурье** в 1822 г.:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dn} F.$$

В практике теплотехнических расчетов широко пользуются понятием плотности теплового потока [Вт/м²]

$$q = \frac{Q}{F} = -\lambda \frac{dt}{dn}.$$

Тепло, в соответствии со вторым началом термодинамики, самопроизвольно передается лишь в направлении убывания температуры, что объясняет знак «минус».

Коэффициент λ , входящий в эти уравнения, носит название коэффициента теплопроводности. Физический смысл и единицы измерения коэффициента теплопроводности λ можно определить, выразив из уравнения и получив

$$\lambda = \frac{-Q}{\frac{dt}{dn} F} = \left[\frac{\text{Вт}}{\frac{\text{К}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{К} \cdot \text{м}} \right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{К}}{\text{м}}} \right].$$

Коэффициент теплопроводности – теплофизическое свойство вещества, характеризует способность вещества проводить теплоту в единицу времени через единицу площади, перпендикулярную $grad t$, при его значении равным 1.

Для различных веществ коэффициент теплопроводности λ различен и зависит от структуры вещества, влажности, давления и температуры.

Для большинства материалов в нешироком диапазоне температур зависимость коэффициента теплопроводности от температуры может быть описана линейной функцией вида

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t)$$

здесь λ и λ_0 – соответственно коэффициенты теплопроводности при данной температуре t и при 0°C , β – температурный коэффициент.

Наибольшую величину имеет коэффициент теплопроводности металлов, для которых $\lambda \approx 20 \div 400 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Из металлов наиболее теплопроводным является серебро с коэффициентом теплопроводности $\lambda \approx 420 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, затем идут чистая медь $\lambda \approx 395 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, золото $\lambda \approx 311 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и т.д. Для большинства металлов рост температуры приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности. Следует отметить, что для сплавов, в отличие от чистых металлов, характерно увеличение коэффициент теплопроводности с повышением температуры.

Величина коэффициента теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов-диэлектриков во много раз меньше, чем у металлов и составляет $\lambda \approx 0,02 \div 3$ Вт/(м·К). Для подавляющего большинства из них с ростом температуры λ увеличивается. Вещество называют *тепловым изолятором* если $\lambda < 0,25$ Вт/(м·К).

Коэффициент теплопроводности жидкостей лежит в пределах $0,07 \div 0,7$ Вт/(м·К). При этом для подавляющего большинства жидкостей с повышением температуры λ убывает. Исключение составляет вода и глицерин.

Коэффициент теплопроводности газов еще ниже $\lambda \approx 0,006 \div 0,6$ Вт/(м·К). Коэффициент теплопроводности газов растет с повышением температуры. Коэффициент теплопроводности газов от давления практически не зависит, исключение составляет λ при очень малых и очень больших значениях давления. Следует иметь в виду, что для смеси газов (дымовые газы, атмосфера термических печей и т.п.) расчетным путем определить λ невозможно. Поэтому при отсутствии справочных данных достоверная величина λ может быть найдена лишь опытным путем.

Закон распределения температуры в дифференциальной форме для твердых изотропных тел без внутренних источников теплоты выглядит как:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

где τ – время; x, y, z – координаты точки тела; t – температура этой точки в данный момент времени; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент

температуропроводности; c, ρ – удельная теплоемкость и плотность вещества.

Существует несколько экспериментальных методов определения коэффициента теплопроводности при стационарном режиме. К ним относятся: 1) метод плоского слоя; 2) метод неограниченного цилиндрического слоя (используется в данной работе); 3) метод электротепловой аналогии (ЭТА).

В методе неограниченного цилиндрического слоя образцу придается форма цилиндрической полой трубы (например, на рис. 1 приведена схема экспериментальной установки).

Для того, чтобы максимально приблизиться к одномерной задаче, длина трубы l должна быть во много раз больше диаметра d . Чем больше отношение l/d , тем более обосновано предположение о том, что вся теплота передается в радиальном направлении. Расчетная формула в случае граничных условий 1-го рода имеет вид

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{d_H}{d_B}}{2\pi l (t_{C1} - t_{C2})},$$

где Q – тепловой поток, Вт; l – длина образца, м; d_B , d_H – соответственно внутренний и наружный диаметры образца, м; t_{C1} , t_{C2} – значения температур внутренней и наружной поверхностей образца, °С.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка для определения коэффициента теплопроводности (рис. 1) состоит из асбестовой трубы 1, закрытой с торцов заглушками 2 для исключения потоков теплоты в осевом направлении. Внутри трубы вмонтирован электрический нагреватель 3, мощность которого определяется по показаниям амперметра 6 и вольтметра 7. Для изменения потребляемой мощности нагревателя имеется лабораторный автотрансформатор. Выделяемое нагревателем тепло отдается в окружающую среду через стенки трубы в радиальном направлении.

Температура внутренней и наружной поверхности трубы измеряется с помощью термодатчиков 4 и мультиметра 5.

Порядок выполнения работы следующий. Включается в сеть автотрансформатор 6 (рис. 1) и на нагревательном элементе 3 устанавливается величина силы тока I (по указанию преподавателя или лаборанта).

При достижении установившегося теплового режима (что может занять значительный промежуток времени) фиксируются и

заносятся в табл. 1 значения следующих величин: силы тока I , напряжения U , показания термомпар t_{C1} , t_{C2} .

Затем величину силы тока I изменяют с помощью лабораторного трансформатора, вновь дожидаются установления стационарного теплового режима и опять снимают показания величин I , U , t_{C1} , t_{C2} .

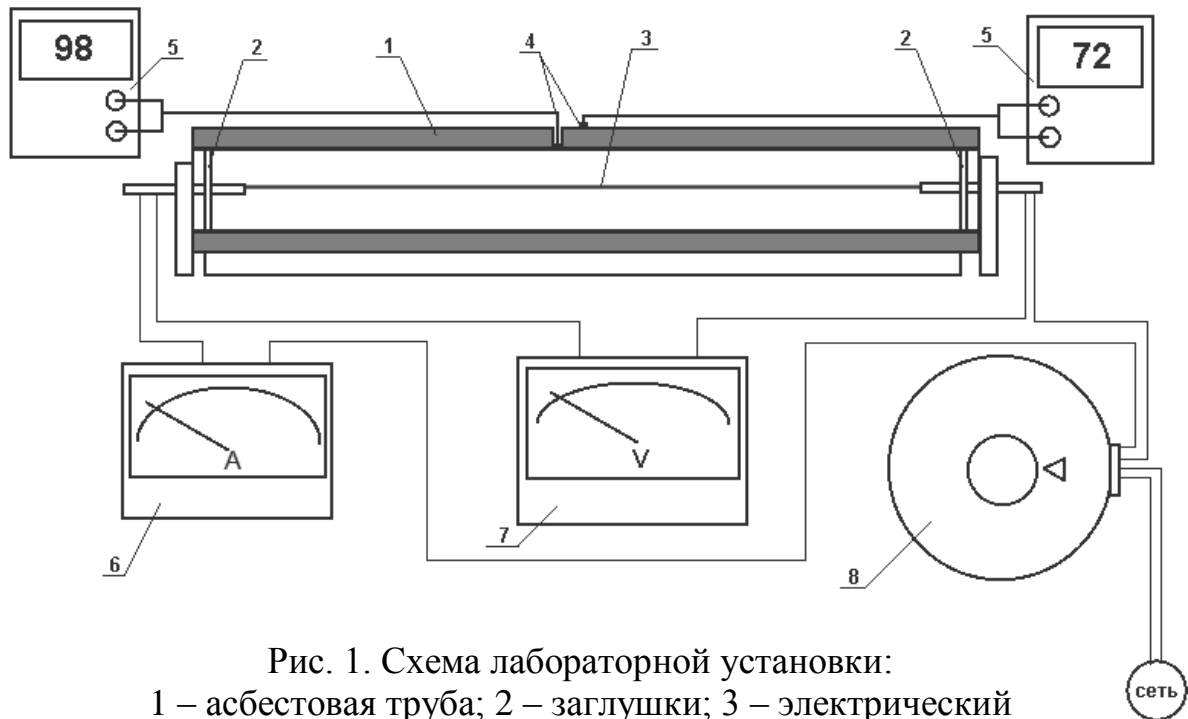


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
 1 – асбестовая труба; 2 – заглушки; 3 – электрический нагреватель; 4 – термомпара; 5 – мультиметр; 6 – амперметр;
 7 – вольтметр; 8 – автотрансформатор

Основные размеры асбестовой трубы приведены в табл. 2.

Таблица 1

| I | U | Q | t_{C1} | t_{C2} | λ | r_1 | r_2 | t_1 | T_2 |
|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| А | В | Вт | °С | °С | Вт/(м·К) | м | м | °С | °С |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Таблица 2

| Наименование | Обозначение, ед. изм. | Значение |
|-------------------|-----------------------|----------|
| Внутренний радиус | r_B , м | 0,045 |
| Наружный радиус | r_H , м | 0,055 |
| Длина | l , м | 0,655 |

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определяют мощность нагревательного элемента, Вт

$$Q = UI.$$

2. Вычисляют значение коэффициента теплопроводности материала трубы

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{r_{II}}{r_B}}{2\pi l (t_{C1} - t_{C2})}.$$

3. Используя полученные значения Q , λ , t_{C1} , t_{C2} , рассчитывают температуры t_I и t_{II} изотермических поверхностей, имеющих радиусы r_I и r_{II} (задаются преподавателем)

$$t_I = t_{C1} - \frac{Q}{2\pi\lambda l} \ln \frac{r_I}{r_B},$$

$$t_{II} = t_{C1} - \frac{Q}{2\pi\lambda l} \ln \frac{r_{II}}{r_B}.$$

4. Результаты вычислений заносятся в табл. 1.

5. Строится график изменения температуры по толщине стенки $t = f(r)$, пример см. рис. 2.

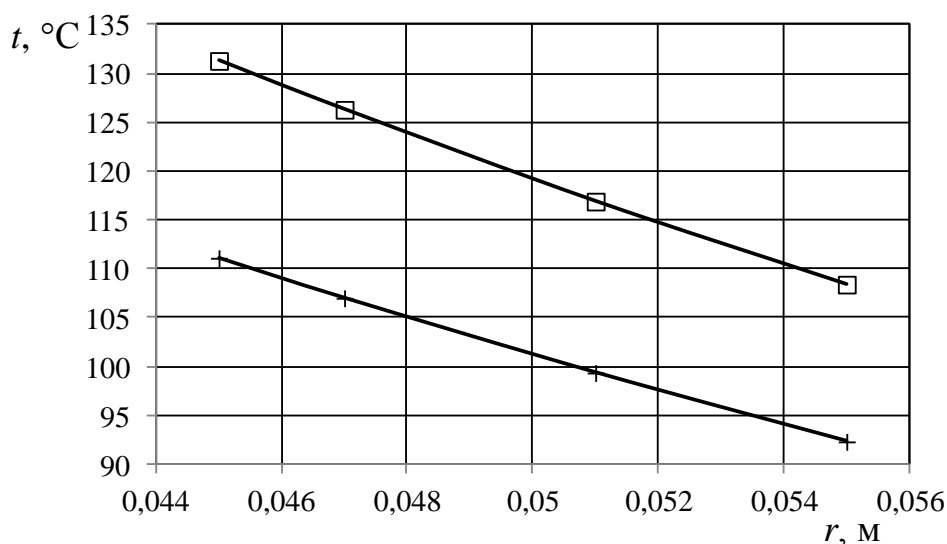


Рис. 2. Изменение температуры по толщине стенки трубы

5. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. К работе допускаются студенты, прошедшие общий инструктаж по технике безопасности.

2. Следить, чтобы параметры электрической нагрузки (напряжение и сила тока) не превышали предельных значений, указанных на пультах установок или преподавателем.

3. Не оставлять без присмотра установку, находящуюся под напряжением.

4. При появлении пробоев изоляции, запаха гари и т.п. немедленно прекратить работу на установке и позвать преподавателя или лаборанта.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 с рамками и штампами и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) цель работы, кратко изложенные теоретические положения,
- 3) принципиальную схему лабораторного стенда с основными техническими параметрами;
- 4) таблицу измеренных и рассчитанных величин;
- 5) обработку результатов опыта;
- 6) график зависимости $t = f(r)$;
- 7) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицу следует оформлять в соответствии с действующими стандартами и ГОСТами.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое коэффициент теплопроводности?
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
3. Условие однозначности для процесса теплопроводности.
4. Граничные условия, способы их задания.
5. Уравнения для определения теплового потока через плоскую и цилиндрическую стенку.
6. Тепловая проводимость и термическое сопротивление стенки.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.

Составители
Елена Юрьевна Темникова
Виктор Николаевич Сливной
Сергей Александрович Шевырев

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА
МЕТОДОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и
комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 0,5.

Тираж 20 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Составители Е. Ю. Темникова
А. Р. Богомолов
С. А. Шевырев

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры
Протокол № 5 от 09.12.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 13.03.01
Протокол № 5 от 09.12.2015
Электронная копия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное определение удельной теплоемкости атмосферного воздуха.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для характеристики тепловых свойств газа, как и всякого другого тела, пользуются величиной, называемой теплоемкостью.

Теплоемкость тела – это количество тепла, которое необходимо подвести или отнять у тела для изменения его температуры на один градус.

Количество тепла, dQ подведенное к газу или отведенное от него в каком-либо процессе, можно выразить через приращение температуры dT этого тела:

$$dQ = CdT, \quad (1)$$

где C – (**полная**) теплоемкость тела или газа, Дж/К.

Полной теплоемкостью вещества практически не пользуются ввиду ее зависимости от количества вещества. Поэтому обычно теплоемкость относят к некоторой количественной единице газа, в этом случае теплоемкость называют *удельной*.

В зависимости от количественной единицы различают удельные теплоемкости: массовую – c , Дж/(кг·К); объемную – c' , Дж/(м³·К); мольную – μc , Дж/(моль·К).

Теплоемкость, отнесенную к 1 кг газа, называют *массовой* и обозначают c , Дж/(кг·К);

Теплоемкость, отнесенную к 1 м³ газа при нормальных физических условиях, т.е. при давлении 101325 Па и температуре 0°С, называют *объемной* и обозначают буквой c' , Дж/(м³·К).

Теплоемкость, отнесенную к 1 кмолью газа, называют *мольной* и обозначают μc , Дж/(кмоль·К).

Связь между перечисленными теплоемкостями выражается следующими соотношениями:

$$c = \frac{C}{M} = \frac{c'}{\rho} = \frac{\mu c}{\mu},$$

где M – масса газа, кг; ρ – плотность газа, кг/м³; μ – молекулярная масса, кг/моль.

Бывает теплоемкость истинная и средняя. Истинная теплоемкость – это производная от количества теплоты, подводимого к телу в процессе нагрева, по температуре этого тела

$$c = \frac{dq}{dt}.$$

А средняя теплоемкость – отношение теплоты к конечной разности температур:

$$c_{mp} \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1} = \frac{c_{mp} \Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_{mp} \Big|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1}, \quad (3)$$

где $c_{mp} \Big|_{t_1}^{t_2}$ - удельная средняя изобарная теплоемкость в интервале температур от t_1 до t_2 .

В различных процессах теплоемкость может принимать самые разные значения от $-\infty$ до $+\infty$. Кроме того, теплоемкость в реальных процессах не остается постоянной, а зависит от температуры и давления газа. Особую роль в термодинамике играют значения теплоемкости для двух наиболее хорошо изученных процессов: изобарного $p = \text{const}$ и изохорного $v = \text{const}$. Принадлежность к тому или иному процессу указывается индексом: c_p – удельная массовая изобарная, Дж/(кг·К); c_v – удельная массовая изохорная. Зависимость между ними вытекает из уравнения Майера

$$c_p - c_v = R, \quad (2)$$

где R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Изобарной теплоемкостью называют количество теплоты, подведенной к телу **при постоянном давлении** с изменением его температуры на 1 градус. Изобарная теплоемкость характеризует темп роста энтальпии при повышении температуры

$$c = \frac{dq}{dt} = \frac{du + pdv}{dt} = \frac{di}{dt}.$$

Изохорной теплоемкостью называют количество теплоты, подведенной к телу **при постоянном объеме** с изменением его температуры на 1 градус. Изохорная теплоемкость характеризует темп роста внутренней энергии при повышении температуры

$$c = \frac{dq}{dt} = \frac{du + pdv}{dt} = \frac{du}{dt}.$$

Изложенное показывает, что теплоемкость не является параметром состояния рабочего тела, а является функцией состояния и процесса.

В атмосферном воздухе при обычных условиях всегда содержится некоторое количество водяного пара. Поэтому смесь сухого воздуха и водяного пара называют *влажным воздухом*.

Плотность влажного воздуха зависит от атмосферного давления, температуры и относительной влажности. Расчет плотности влажного воздуха (кг/м^3) ведут по формулам, полученным для идеальных газов [1]:

$$\rho_v = \frac{P_a}{RT_a} - 0,0129 \frac{\varphi P_n}{T_a}, \quad (4)$$

где P_a – атмосферное давление, Па; R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К), для воздуха равная 287 Дж/(кг·К); T_a – температура атмосферного воздуха, К; φ – относительная влажность воздуха, доли единицы; P_n – давление насыщенного водяного пара при температуре атмосферного воздуха, Па, определяется по таблицам для насыщенного водяного пара [1] или в приложении табл. 3.

Изобарная теплоемкость влажного воздуха определяется по уравнению количества теплоты, воспринимаемого рабочим телом в единицу времени, Вт:

$$Q = Mc_p(T_1 - T_a), \quad (5)$$

где M – массовый расход воздуха, кг/с; c_p – массовая изобарная теплоемкость влажного воздуха в интервале температур $T_1 - T_a$, Дж/(кг·К); T_a , T_1 – температура атмосферного воздуха и воздуха, воспринявшего теплоту в изобарном процессе, К.

Массовый расход влажного воздуха определяется по известному объемному расходу и плотности влажного воздуха:

$$M = V_0 \rho_v, \quad (6)$$

где V_0 – объемный расход воздуха при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из уравнений (4-6) можно получить уравнение (7) для расчета изобарной теплоемкости атмосферного (влажного) воздуха по опытным данным эксперимента:

$$c_{pв} = \frac{Q}{V_0 \rho_g (T_1 - T_a)}. \quad (7)$$

где T_1, T_a – температура воздуха на выходе и входе в установку в условиях эксперимента.

Теплоемкость влажного воздуха можно определить по справочным данным, принимая влажный воздух, как смесь сухого воздуха и водяного пара по уравнению

$$c_{pв\text{ спр}} = c_{pn} m_n + c_{pc} m_c, \quad (8)$$

где m_n, m_c – массовые доли водяного пара и сухого воздуха в смеси, кг/кг; c_{pn}, c_{pc} – удельные изобарные массовые теплоемкости водяного пара и сухого воздуха, определяемые по справочным данным, Дж/(кг·К) (см. приложение табл. 4, 5).

Массовые доли водяного пара и воздуха определяются по объемным долям:

$$m_n = \frac{r_n \mu_n}{\mu_{см}}, \quad m_c = 1 - m_n \quad (9)$$

где μ_n – молекулярная масса водяного пара, $\mu_n = 18$ кг/кмоль; $\mu_{см}$ – молекулярная масса смеси, находится по уравнению

$$\mu_{см} = \mu_n r_n + \mu_c (1 - r_n), \quad (10)$$

где μ_c – молекулярная масса сухого воздуха, $\mu_c = 29$ кг/кмоль; r_n – объемная доля водяного пара в смеси, м³/м³.

Объемная доля водяного пара в смеси находится по соотношению

$$r_n = \frac{P_n}{P_a}, \quad (11)$$

где P_a – атмосферное давление, Па; P_n – парциальное давление водяного пара в атмосферном воздухе, определяется по относительной влажности ϕ , Па.

Относительная влажность воздуха измеряется с помощью психрометра – прибора, состоящего из двух термометров. Чувствительная часть одного из них обернута влажной тканью, вследствие чего показания сухого и мокрого термометров различны.

В зависимости от психрометрической разности ($t_c - t_m$) и показания сухого термометра t_c , °С, по специальной таблице определяют относительную влажность воздуха ϕ .

Относительная влажность может быть приближенно определена из формулы

$$\varphi = \frac{P_n}{P_n} . \quad (12)$$

Откуда $P_n = \varphi P_n$. Заменяв в формуле (11) P_n получаем выражение для определения объемной доли водяного пара через относительную влажность воздуха.

$$r_n = \frac{\varphi P_n}{P_a} . \quad (13)$$

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки для исследований теплоемкости воздуха представлена на рис. 1.

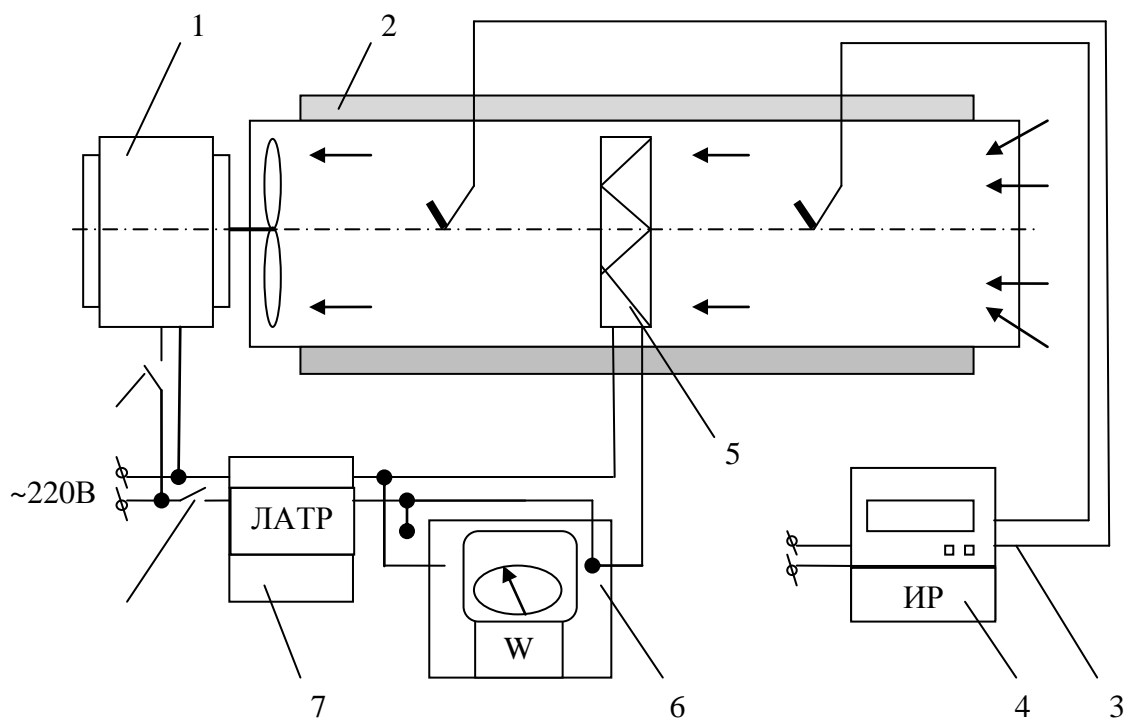


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда: 1 – осевой вентилятор; 2 – пластмассовая труба; 3 – термопары; 4 – двухканальный измеритель-регулятор ТРМ202. 5 – электрический нагреватель воздуха; 6 – ваттметр; 7 – регулятор напряжения; 8, 9 – выключатели

Установка состоит из пластмассовой трубы 2, в которой размещен электрический нагреватель 5. Мощность нагревателя регулируется ЛАТРОм 7 и измеряется с помощью ваттметра 6.

Подача воздуха в трубу осуществляется вентилятором 1, скорость которого постоянна и равна 0,7 м/с (соответственно постоянный объемный расход воздуха в установке $V_{on}=5,6 \cdot 10^{-3}$ м³/с). Температура воздуха на входе и выходе трубы измеряется двухканальным измерителем-регулятором 4 с помощью термопар 3.

4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Методика эксперимента

Измерить параметры окружающей среды: давление – по барометру, температуру – по термометру, влажность – по психрометру.

ВНИМАНИЕ! Перед подачей напряжения на установку, ЛАТР 7 вывести в нулевое положение.

Выключателем 8 включить вентилятор 1, затем выключателем 9 – электронагреватель 5.

Штепсельной вилкой подать напряжение 220 В на измеритель-регулятор 4. Установить ЛАТРОм 7 произвольное напряжение до 100 В на электронагревателе 5.

Нагрев вести до достижения установившегося температурного режима $T=\text{const}$. Режим считается установившимся, когда прекращается изменение показаний температуры (термопар 7) на выходе из стенда.

С момента достижения установившегося температурного режима, снимаются показания контрольно-измерительных приборов: мощность W электронагревателя, температура воздуха в системе T_1 . Все данные заносятся в табл. 1 приложения.

4.2. Методика обработки экспериментальных данных

По температуре атмосферного воздуха T_a из табл. 3 приложения определяют давление насыщенного водяного пара P_n .

По данным (φ , P_n , P_a) рассчитывается объемная доля водяного пара по формуле (13) и сухого воздуха во влажном воздухе как $r_c = 1 - r_n$.

Рассчитывается плотность атмосферного воздуха по уравнению (4).

Постоянный объемный расход воздуха в установке $V_{on}=5,6 \cdot 10^{-3}$ м³/с, приводится к нормальным условиям $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273$ К, $P_0=760$ мм рт. ст. = 101325 Па $\approx 0,1$ МПа

$$V_0 = V_{on} \frac{T_0 \cdot P_a}{P_0 \cdot T_a}, \text{ нм}^3/\text{с}.$$

Учитывая потери в окружающую среду через тепловую изоляцию, определить тепловой поток Q по мощности, потребляемой электрическим нагревателем, из уравнения

$$Q = W\eta$$

где $\eta = 0,9 \div 0,95$ – коэффициент, учитывающий потери тепла, выделяемого нагревателем, через теплоизоляцию в окружающую среду.

Далее находится экспериментально массовая средняя изобарная теплоемкость воздуха в интервале температур в опыте $T_a - T_1$ по уравнению (7).

Определяется парциальное давление водяного пара в атмосферном воздухе в условиях опыта по формуле (12).

Рассчитывается массовые доли водяного пара и сухого воздуха в атмосферном воздухе в условиях опыта по выражению (9).

Находится справочная изобарная теплоемкость влажного воздуха, как сумма теплоемкостей сухого воздуха и водяного пара по уравнению (8)

Относительная погрешность значений теплоемкостей полученных в опыте и справочная

$$\delta = \frac{c_{pv} - c_{pv \text{ спр}}}{c_{pv \text{ спр}}} 100\% .$$

Результаты расчетов сводятся в табл. 2 приложения.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещается:

1. Производить исправления в электросхеме, находящейся под напряжением.
2. Оставлять работающий лабораторный стенд, находящийся под напряжением без присмотра.
3. Работать с незаземленным оборудованием.
4. Касаться проводников, металлических клемм и других деталей, находящихся под электрическим напряжением.
5. Если возникло возгорание, следует немедленно обесточить лабораторную установку, вызвать пожарную команду и тушить огонь только углекислотным огнетушителем.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 с рамками и штампами и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) кратко изложенные теоретические положения;
- 3) принципиальную схему лабораторного стенда с основными техническими параметрами;
- 4) таблицу измеренных величин;
- 5) обработку результатов опыта с целью нахождения удельной теплоемкости воздуха окружающей среды и удельной теплоемкости воздуха по справочным данным;
- 6) сопоставление результатов опыта и справочных данных, расчет погрешности опыта;
- 7) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицу следует оформлять в соответствии с действующими стандартами и ГОСТами.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение теплоемкости вещества.
2. Что такое удельная (массовая), объемная и мольная теплоемкости?
3. Назовите единицы измерения теплоемкостей.
4. Что такое изобарная и изохорная теплоемкости?
5. Как определяется средняя теплоемкость вещества?
6. Что такое истинная теплоемкость?
7. Написать уравнение количества теплоты через среднюю теплоемкость.
8. Как определить среднюю теплоемкость в интервале от T_1 до T_2 , пользуясь таблицами теплоемкостей от 0 до t ($^{\circ}\text{C}$)?
9. Почему изобарная теплоемкость газа всегда больше изохорной теплоемкости?
10. Написать уравнения для расчета массовой, объемной и мольной теплоемкости газовых смесей (пояснить на примере влажного воздуха).

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. – 4-е изд., стер. – М., 2009. – 469 с.
2. Кириллин В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2008. – 496 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Таблица исходных данных и результатов опыта

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Абсолютное давление воздуха, Па | $P_a =$ |
| Абсолютная температура окружающего воздуха, К | $T_a =$ |
| Относительная влажность окружающего, % | $\varphi =$ |
| Электрическая мощность, потребляемая нагревателем, Вт | $W =$ |
| Температура воздуха на выходе из экспериментального стенда в установившемся режиме, К | $T_l =$ |

Таблица 2

Таблица результатов расчета

| Наименование и размерность параметров | Обозначение параметров | Значение параметров |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Объемная доля водяного пара в смеси, м ³ /м ³ | r_n | |
| Плотность атмосферного воздуха, кг/м ³ | ρ_v | |
| Тепловой поток, Вт | Q | |
| Удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг К) | c_{pv} | |
| Массовая доля водяного пара, кг/кг | m_n | |
| Молекулярная масса смеси, кг/кмоль | $\mu_{см}$ | |
| Удельная теплоемкость воздуха (справочная), Дж/(кг·К) | $c_{pv\text{ спр}}$ | |
| Погрешность эксперимента, % | δ | |

Таблица 3

Давление насыщенного водяного пара при температурах от 10 до 29 °С

| t_a | P_n | t_a | P_n | t_a | P_n | t_a | P_n |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| °С | Па | °С | Па | °С | Па | °С | Па |
| 10 | 1228 | 15 | 1705 | 20 | 2338 | 25 | 3167 |
| 11 | 1312 | 16 | 1817 | 21 | 2486 | 26 | 3360 |
| 12 | 1402 | 17 | 1937 | 22 | 2643 | 27 | 3564 |
| 13 | 1497 | 18 | 2063 | 23 | 2808 | 28 | 3779 |
| 14 | 1598 | 19 | 2197 | 24 | 2983 | 29 | 4004 |

Таблица 4

Теплоемкость сухого воздуха при температурах от 10 до 29 °С

| t_a | c_{pc} | t_a | c_{pc} | t_a | c_{pc} | t_a | c_{pc} |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) |
| 10 | 1003,85 | 15 | 1003,92 | 20 | 1004,1 | 25 | 1004,22 |
| 11 | 1003,87 | 16 | 1003,94 | 21 | 1004,12 | 26 | 1004,24 |
| 12 | 1003,88 | 17 | 1003,96 | 22 | 1004,14 | 27 | 1004,27 |
| 13 | 1003,89 | 18 | 1003,98 | 23 | 1004,16 | 28 | 1004,30 |
| 14 | 1003,9 | 19 | 1004,00 | 24 | 1004,19 | 29 | 1004,33 |

Таблица 5

Теплоемкость водяного пара при температурах от 10 до 29 °С

| t_a | c_{pn} | t_a | c_{pn} | t_a | c_{pn} | t_a | c_{pn} |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) | °С | Дж/(кг·К) |
| 10 | 1860,7 | 15 | 1861,4 | 20 | 1862,0 | 25 | 1862,7 |
| 11 | 1860,8 | 16 | 1861,5 | 21 | 1862,1 | 26 | 1862,8 |
| 12 | 1861,0 | 17 | 1861,6 | 22 | 1862,3 | 27 | 1862,9 |
| 13 | 1861,1 | 18 | 1861,8 | 23 | 1862,4 | 28 | 1863,0 |
| 14 | 1861,3 | 19 | 1861,9 | 24 | 1862,6 | 29 | 1863,2 |

Составители
Елена Юрьевна Темникова
Александр Романович Богомолов
Сергей Александрович Шевырев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 0,5.

Тираж 20 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»**

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составитель
А. В. Кудреватых

ОСНОВЫ АВТОСТРАХОВАНИЯ

**Методические указания для самостоятельной работы
для студентов очной формы обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления подготовки
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2016

Рецензенты:

Стенин Д. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Подгорный А. И. – кандидат технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссией направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кудреватых Андрей Валерьевич. Основы автострахования: методические указания для самостоятельной работы [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», очной формы обучения / А. В. Кудреватых; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб ; Windows 95; мышь. .– Загл. с экрана.

Приведены цели и задачи курса, распределение часов самостоятельной работы по темам, список учебно-методических материалов, задания для самостоятельной работы, выполнение которых в указанном порядке обеспечивает усвоение основ курса. Типы заданий охватывают ряд основных тем, изучаемых в курсе «Основы автострахования».

© КузГТУ, 2016

© Кудреватых А. В.,
составление, 2016

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дисциплина «Основы автострахования» рассчитана на студентов, специализирующихся в области технической эксплуатации и ремонта автомобилей.

Настоящие методические указания подготовлены для студентов очной формы обучения в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и учебным планом по профилю «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Цель преподавания дисциплины – приобретение студентами теоретических знаний в области теории автострахования и ее прикладных аспектов.

Цель самостоятельной работы студентов – получить новые знания по дисциплине «Основы автострахования».

Программой предусматривается изучение студентами комплекса вопросов, в своей совокупности раскрывающих современную теорию и практику основ автострахования. Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение экономических причин формирования института автострахования;
- исследование современной структуры рынка автострахования;
- изучение базовых принципов автострахования;
- изучение содержания основных видов страхования;
- изучение практики работы страховых организаций в области автострахования.

Теоретической основой изучения курса «Основы автострахования» являются такие дисциплины, как «Психология организационно-управленческой деятельности»,

«Основы автострахования» представляет собой дисциплину, формирующую базовые знания для усвоения таких дисциплин, как «Транспортное право», «Методические основы подготовки водителей».

Освоение дисциплины «Основы автострахования» направлено на формирование:

Освоение дисциплины «Основы автострахования» направлено на формирование:

– **общекультурных компетенций**

ОК-4 – способность использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности.

– общепрофессиональных компетенций

ПК-4 – способность проводить технико-экономический анализ, комплексно обосновывать принимаемые и реализуемые решения, изыскивать возможности сокращения цикла выполнения работ, оказывать содействие подготовке процесса их выполнения и обеспечению необходимыми техническими данными, материалами, оборудованием.

ПК-5 – владение основами методики разработки проектов и программ для отрасли, проведения необходимых мероприятий, связанных с безопасной и эффективной эксплуатацией транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, а также выполнения работ по стандартизации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, по рассмотрению и анализу различной технической документации.

ПК-13 – владение знаниями организационной структуры, методов управления и регулирования, критериев эффективности применительно к конкретным видам транспортных и технологических машин и оборудования

ПК-33 – владение знаниями основ физиологии труда и безопасности жизнедеятельности, умение грамотно действовать в аварийных и чрезвычайных ситуациях, являющихся следствием эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования.

Студент должен:

Знать: 1) характеристики чрезвычайных ситуаций, принципы организации мер по их ликвидации; 2) методы поддержания оборудования в технически исправном состоянии; 3) основы существующей системы формирования и направления совершенствования нормативно-правовой базы, системы нормативно-технических документов (регламентов, отраслевых норм, технических правил и требований), определяющих порядок разработки, внедрения и эксплуатации современных технических систем.

Уметь: 1) выполнять диагностику и анализ причин неисправностей, отказов и поломок деталей и узлов ТнТТМО; 2) пользоваться имеющейся нормативно-технической и справочной документацией.

Владеть: 1) навыками организации технической эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов.

2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ

В соответствии с учебным планом изучение дисциплины «Основы автострахования» предусматривает проведение лекционных занятий и самостоятельную работу студентов.

Промежуточный контроль – зачет по дисциплине.

Распределение часов самостоятельной работы студентов осуществляется в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 – Распределение часов по темам занятий

| Порядковый номер работы | № недели | Вид СРС | Объем в часах |
|-------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1 | 1-4 | Основные термины страхования [1, 2, 3,4, 5, 8, 9] | 14 |
| 2 | 5-8 | Рынок автострахования в Кемеровской области [8, 9] | 14 |
| 3 | 9-12 | Страхование автомобиля (КАСКО) [1, 2, 3, 4, 8, 9] | 14 |
| 4 | 13-16 | Расчет страховых премий по отдельным видам автострахования на конкретных примерах [1, 2, 3, 4, 8, 9] | 14 |
| Итого: | | | 56 |

В процессе изучения дисциплины «Основы автострахования» студентами должны быть выполнено четыре домашних задания в виде письменных конспектов:

1. Основные термины страхования;
2. Рынок автострахования в Кемеровской области;
3. Страхование автомобиля (КАСКО);
4. Расчет страховых премий по отдельным видам автострахования на конкретных примерах.

Написанные конспекты проверяются преподавателем и подлежат защите студентами.

Формами контроля самостоятельной работы студентов являются:

- оценка уровня подготовки студента в процессе проведения преподавателем практических занятий;
- сдача конспектов и опрос по ним;
- зачет по дисциплине.

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации студентов (зачета)

1. Социально-экономическая сущность автострахования и его роль в рыночной экономике.
2. История развития автострахования.
3. Роль автострахования в рыночной экономике.
4. Функции автострахования.
5. Юридические основы автострахования.
6. Страховой надзор и его функции.

7. Классификация автострахования.
8. Организационно-правовые формы автостраховых компаний.
9. Права и обязанности страхователя по договору автострахования.
10. Понятие риска в автостраховании.
11. Классификация рисков в автостраховании.
12. Цели и задачи автострахования.
13. Договор автострахования как соглашение между страхователем и страховщиком.
14. Структура страхового договора.
15. Права и обязанности страховщика по договору автострахования.
16. Страховые тарифы по ОСАГО.
17. Способы организации выплат по ОСАГО.
18. Размеры выплат по ОСАГО.
19. Страхование автомобиля по КАСКО.
20. Стоимость страховки КАСКО.
21. Застрахованные и исключенные риски при страховании КАСКО.
22. Формы выплаты страхового возмещения по КАСКО.
23. Страхование дополнительного оборудования.
24. Паушальная система страхования от несчастного случая.
25. Система мест в страховании от несчастных случаев.
26. История появления «Зеленой карты».
27. Тарифы на полисы системы «Зеленая карта».
28. Перспективы развития автострахования в РФ.
29. Объект и предмет страхования.
30. Сроки страхования.
31. Рынок страхования в России.

3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермасов, С. В. Страхование: учеб. для бакалавров, студентов вузов / С. В. Ермасов, Н. Б. Ермасова. Москва: Юрайт, 2013. – 748 с.

3.2. СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

2. Скамай, Л. Г. Страхование дело: учеб. пособие для студентов вузов / Л. Г. Скамай. – Москва: ИНФРА-М, 2012. – 324 с.
3. Архипов, А. П. Страхование: учеб. для вузов / А. П. Архипов. – Москва: КноРус, 2012. – 288 с.
4. Страхование: учеб. для бакалавров, студентов вузов / под ред. Л. А. Орланюк-Малицкой, С. Ю. Яновой; Фин. ун-т при Правительстве

РФ; С.- Петерб. гос. ун-т экономики и финансов. – Москва: Юрайт, 2012. – 869 с.

5. Худяков, А. И. Теория страхования / А. И. Худяков. – Москва: Статус, 2010. – 656 с.

6. Петров, С. В. Действия при дорожно-транспортных происшествиях: практическое пособие / С. В. Петров. – Москва: ЭНАС, 2013. – 64 с.

7. Тихомирова, Л.В. Дорожно-транспортные происшествия: судебная практика и образцы документов / Л. В. Тихомирова. – Москва, 2010. – 95 с.

3.3. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

8. Федеральный закон «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев транспортных средств» № 40-ФЗ от 03.04.2002. (в действующей редакции)

9. Федеральный закон «Об организации страхового дела в Российской Федерации» № 4015-1 от 27.11.1992 (в действующей редакции).

10.

3.4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

При изучении дисциплины «Методические основы подготовки водителей» могут быть использованы следующие компьютерные программы MicrosoftOffice: MicrosoftWord, MicrosoftExcel, MicrosoftPowerPoint; базы данных, информационно-справочные и поисковые системы (Справочная правовая система «КонсультантПлюс», Справочная правовая система «Гарант»), а также официальные сайты Управлений ГИБДД УМВД РФ.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра «Эксплуатация автомобилей»

Составители
А. Г. Кульпин
Е. Е. Кульпина

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Методические указания к курсовому проектированию

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов»
в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2015

Рецензенты:

Цыганков Д. В. – доц. кафедры Эксплуатация автомобилей
Подгорный А. И. – председатель учебно-методической комиссии направления 23.03.03 (190600.62)

Александр Геннадьевич Кульпин, Евдокия Евгеньевна Кульпина. Основы проектирования предприятий автомобильного транспорта: методические указания по курсовому проектированию [Электронный ресурс] для студентов направления 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» образовательная программа «Автомобили и автомобильное хозяйство» всех форм обучения / сост.: А. Г. Кульпин, Е. Е. Кульпина – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 256 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

© КузГТУ, 2015
© Кульпин А. Г.,
Кульпина Е. Е.,
составление, 2015

Оглавление

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ..... | 5 |
| 2. СОДЕРЖАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА..... | 5 |
| 3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА | 6 |
| 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ | 7 |
| 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ | 7 |
| 5.1. Расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей..... | 7 |
| 5.1.1. Выбор исходных данных..... | 7 |
| 5.1.2. Корректирование нормативов технической эксплуатации автомобилей | 9 |
| 5.1.3. Расчёт средневзвешенного пробега до первого капитального ремонта | 10 |
| 5.1.4. Расчет коэффициента технической готовности..... | 11 |
| 5.1.5. Расчет коэффициента перехода от цикла к году | 12 |
| 5.1.6. Расчёт количества воздействий по автомобилю и парку за год..... | 14 |
| 5.1.7. Определение суточной производственной программы по ТО и диагностированию автомобилей | 16 |
| 5.1.8. Выбор метода организации диагностирования на АТП..... | 16 |
| 5.2. Расчет объёмов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства..... | 17 |
| 5.2.1. Годовой объём работ по ТО и ТР | 17 |
| 5.2.2. Годовой объём вспомогательных работ..... | 18 |
| 5.2.3. Распределение объёма ТО и ТР по производственным зонам и участкам | 18 |
| 5.2.4. Распределение вспомогательных работ | 20 |
| 5.2.5. Распределение объёма работ по самообслуживанию АТП.... | 21 |
| 5.2.6. Распределение объёма работ по диагностированию Д-1 и Д-2 | 22 |
| 5.2.7. Корректирование годовых трудоемкостей работ по ТО и ТР | 22 |

| | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.8. | Расчет количества производственных рабочих в подразделениях производства..... | 23 |
| 5.2.9. | Расчет технологически необходимого числа водителей | 26 |
| 5.3. | Расчет числа постов и линий в зонах ЕО, ТО и ТР | 26 |
| 5.3.1. | Выбор метода организации ТО автомобилей..... | 26 |
| 5.3.2. | Режим работы зон ТО и ТР | 26 |
| 5.3.3. | Расчет постов ТО..... | 28 |
| 5.3.4. | Расчет постов ТР | 31 |
| 5.3.5. | Расчет постов ожидания..... | 32 |
| 5.3.6. | Расчет поточных линий ТО-1 и ТО-2..... | 32 |
| 5.3.7. | Расчет поточных линий ЕО..... | 34 |
| 5.4. | Обоснование подбора и расчет необходимого количества технологического оборудования..... | 37 |
| 5.4.1. | Обоснование подбора технологического оборудования | 37 |
| 5.4.2. | Расчет необходимого количества технологического оборудования..... | 37 |
| 5.5. | Расчет площадей помещений..... | 41 |
| 5.5.1. | Расчет площадей зон ТО и ТР | 41 |
| 5.5.2. | Графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО и ТР..... | 42 |
| 5.5.3. | Расчет площадей производственных участков..... | 43 |
| 5.5.4. | Расчет площадей складских помещений | 46 |
| 5.5.5. | Расчет площади зоны хранения автомобилей | 51 |
| 5.5.6. | Расчет площадей вспомогательных помещений | 52 |
| 5.5.7. | Определение площади главного производственного корпуса..... | 53 |
| 5.5.8. | Определение площади административно-бытового корпуса..... | 54 |
| 5.5.9. | Определение площади генерального плана АТП..... | 54 |
| 5.6. | Технологическая карта..... | 55 |

Введение

Целью курсового проекта является закрепление знаний полученных при изучении специальных дисциплин: «Основы проектирования предприятий автомобильного транспорта»; «Типаж и эксплуатация технологического оборудования»; «Производственно-техническая инфраструктура предприятий» и выработка навыков по проектированию автотранспортных предприятий с организацией процесса технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Полученные знания потребуются при выполнении выпускной квалификационной работы и в дальнейшей инженерной деятельности.

Тема курсового проекта: «Основы проектирования предприятий автомобильного транспорта». При выполнении студентами научно-исследовательской работы, тема проекта утверждается на заседании кафедры.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки, объём которой примерно 40-50 страниц рукописного текста (включая таблицы, рисунки и приложения) и графической части (2-3 листа формата А1).

Стандартная тема курсового проекта соответствует стандартной теме выпускной квалификационной работе, а сам курсовой проект обеспечивает усвоение материала, объём которого при выполнении выпускной квалификационной работы может составлять до 50 %. Поэтому к выполнению курсового проекта следует отнестись с большой долей ответственности, так как эта работа при успешном её выполнении дает хорошие возможности успешного окончания учебы в университете.

Студенты выполнившие курсовой проект должны защитить его в установленном порядке. При этом не исключается возможность «открытой защиты», когда на защиту приглашаются все желающие.

Оценка за курсовой проект выставляется с учетом качества выполнения курсового проекта, соблюдения сроков выполнения и результатов защиты проекта.

При несоблюдении установленных сроков выполнения курсового проекта оценка может быть снижена до минимальной удовлетворительной даже при хорошем качестве работы.

1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена в следующем объеме:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект (прил. 1 и 2);
- содержание;
- введение;
- расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей;
- расчет объемов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства;
- расчет числа постов и линий в зонах ежедневного обслуживания (ЕО), технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР), диагностики (Д1-Д2);
- расчет площадей производственных, складских помещений и стоянок транспортных средств;
- графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО, ТР или хранения;
- обоснование и подбор технологического оборудования;
- разработка технологической карты проведения операций технического обслуживания или ремонта автомобилей.
- список используемой литературы
- приложения.

2. СОДЕРЖАНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Графическая часть курсового проекта включает в себя:

- главный производственный корпус;
- генеральный план автотранспортного предприятия (АТП);
- планировка зоны ТО, ТР, Д1, Д2 или ежедневного обслуживания ЕО;
- планировка производственного участка.

Конкретное содержание графической части проекта устанавливает преподаватель.

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект следует начинать выполнять сразу же после получения задания.

График выполнения курсового проекта представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

График выполнения курсового проекта

| Разделы курсового проекта | Месяцы | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---|---|---|------|---|---|---|--------|---|---|---|-----|---|---|---|--------------------------|
| | Февраль | | | | Март | | | | Апрель | | | | Май | | | | |
| | Недели | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Введение | | + | | | | | | | | | | | | | | | Защита курсового проекта |
| Расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| Расчет объемов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| Расчет числа постов и линий в зонах ЕО, ТО, ТР, Д | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| Расчет площадей производственных, складских помещений и стоянок транспортных средств | | | | | | + | | | | | | | | | | | |
| Обоснование и подбор технологического оборудования | | | | | | + | | | | | | | | | | | |
| Разработка технологической карты проведения операций технического обслуживания или ремонта автомобилей | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| Чертеж главного производственного корпуса | | | | | | + | + | + | | | | | | | | | |
| Чертеж генерального плана | | | | | | | | | | + | + | | | | | | |
| Планировка зоны и участка | | | | | | | | | | | | + | + | | | | |

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исходными данными для проектирования автотранспортного предприятия являются:

- марка и списочное количество автомобилей на автотранспортном предприятии $A_{сн}$, ед.;
- количество автомобилей прошедших капитальный ремонт $A_{кр}$, ед.;
- пробег автомобилей в долях от нормативного пробега до капитального ремонта;
- среднесуточный пробег $l_{сс}$, км;
- категория условий эксплуатации (КУЭ);
- климат;
- количество смен работы автомобилей на линии.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

5.1. Расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей

5.1.1. Выбор исходных данных

Если заданием на проектирование АТП предусмотрено несколько марок автомобилей, то по возможности их объединяют в технологические группы. В зависимости от типа подвижного состава «Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (далее Положение) установлено пять технологически совместимых групп [2, с. 39]. Число автомобилей в технологически совместимой группе должно быть не менее 20 [2, с. 32].

Нормативные значения периодичности и трудоёмкости работ, а также коэффициенты корректирования выбирают из Положения. Положением предусмотрено пять коэффициентов корректирования нормативов технической эксплуатации автомобилей:

K_1 – коэффициент корректирования, учитывающий категорию условий эксплуатации [1, с. 26];

K_2 – коэффициент корректирования, учитывающий модификацию подвижного состава [1, с. 27];

K_3 – коэффициент корректирования, учитывающий климатические условия [1, с. 27];

K_4 – коэффициент корректирования нормативов удельной трудоемкости текущего ремонта в зависимости от пробега с начала эксплуатации [1, с. 28];

K'_4 – коэффициент корректирования нормативов продолжительности простоя в техническом обслуживании и ремонте в зависимости от пробега с начала эксплуатации [1, с. 28];

K_5 – коэффициент корректирования, учитывающий количество автомобилей и технологически совместимых групп на предприятии [1, с. 29].

Выбранные нормативы и коэффициенты корректирования должны быть представлены в виде табл. 5.1 и 5.2 соответственно.

Таблица 5.1

Нормативы периодичности и трудоёмкости воздействий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей

| № группы | Нормативная периодичность ТОи пробег до КР, км | | | Нормативная трудоёмкость ЕО, ТО, чел-ч, и ТР чел-ч/1000км | | | |
|----------|------------------------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|
| | l_{TO-1}^H | l_{TO-2}^H | L_{KP}^H | t_{EO}^H | t_{TO-1}^H | t_{TO-2}^H | t_{TP}^H |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| i | | | | | | | |

Таблица 5.2

Коэффициенты корректирования нормативов технической эксплуатации автомобилей

| Коэффициенты корректирования | Значения коэффициентов корректирования | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------------|----|----|----------|----|----|----------|----|----|
| | 1 группа | | | 2 группа | | | i группа | | |
| | ТО | ТР | КР | ТО | ТР | КР | ТО | ТР | КР |
| K_1 | | | | | | | | | |
| K_2 | | | | | | | | | |
| K_3 | | | | | | | | | |
| K_4 | | | | | | | | | |
| K'_4 | | | | | | | | | |
| K_5 | | | | | | | | | |

5.1.2. Корректирование нормативов технической эксплуатации автомобилей

Корректирование периодичности ТО проводят по формуле

$$l_{TO-i} = l_{TO-i}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км [1, с. 29]} \quad (5.1)$$

где l_{TO-i}^H – нормативная периодичность ТО i -го вида, км.

Корректирование пробега до первого капитального ремонта:

$$L_{KPI} = L_{KPI}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ км [1, с. 29]} \quad (5.2)$$

Корректирование трудоемкости ЕО:

$$t_{EO} = t_{EO}^H \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_M, \text{ чел.-ч [2, с. 40]} \quad (5.3)$$

где t_{EO}^H – нормативная трудоёмкость ЕО, чел.-ч (табл. 5.1);

K_M – коэффициент, учитывающий снижение трудоемкости за счет механизации работ ЕО.

$$K_M = 1 - \frac{M}{100}, \text{ [2, с. 40]} \quad (5.4)$$

где M – доля работ ЕО, выполняемых механизированным способом, % (по табл. 5.3 [2, с. 41] выбирают те работы, которые планируется механизировать, а сумма процентов снижения трудоемкости работ и будет составлять M).

Корректирование трудоемкости ТО:

$$t_{TO-i} = t_{TO-i}^H \cdot K_2 \cdot K_5, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (5.5)$$

где t_{TO-i}^H – нормативная трудоёмкость ТО i -го вида, чел.-ч.

Таблица 5.3

Примерное распределение трудоемкости ЕО по видам работ
(в процентах) при выполнении мойки автомобилей
немеханизированным способом

| Работы | Тип автотранспортных средств | | | |
|------------|------------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
| Уборочные | 30 | 45 | 23 | 25 |
| Моечные | 55 | 35 | 65 | 65 |
| Обтирочные | 15 | 20 | 12 | 10 |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 |

Примечание. При полной механизации уборочно-моечных работ необходимо предусматривать трудоемкость для работы оператора по управлению механизированными установками – 10% от трудоемкости ЕО.

Корректирование трудоемкости ТР

$$t_{TP} = t_{TP}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, [2, \text{с. 41}] \quad (5.6)$$

где t_{TP}^H – нормативная трудоёмкость ТР, чел.-ч/1000 км.

Скорректированные значения периодичности и трудоемкости воздействий сводят в таблицу 5.4.

Таблица 5.4

Скорректированные периодичность и трудоёмкость воздействий

| № группы | Скорректированная периодичность, км | | | Скорректированная трудоёмкость ТО, чел.-ч; ТР, чел.-ч/1000 км | | | |
|----------|-------------------------------------|------------|-----------|------------------------------------------------------------------|------------|------------|----------|
| | l_{TO-1} | l_{TO-2} | L_{KP1} | t_{EO} | t_{TO-1} | t_{TO-2} | t_{TP} |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| I | | | | | | | |

5.1.3. Расчёт средневзвешенного пробега до первого капитального ремонта

Средневзвешенный пробег до первого капитального ремон-

та определяют по формуле

$$L'_{\text{КР}} = \frac{L_{\text{КР1}} \cdot A_{\text{н}} + L_{\text{КР2}} \cdot A_{\text{КР}}}{A_{\text{сп}}}, \text{ км} \quad (5.7)$$

где $L_{\text{КР2}}$ – пробег до второго капитального ремонта, км;
 $A_{\text{н}}$ – количество автомобилей, не прошедших капитальный ремонт, ед.

$$L_{\text{КР2}} = 0,8 \cdot L_{\text{КР1}}, \text{ км} \quad (5.8)$$

$$A_{\text{н}} = A_{\text{сп}} - A_{\text{КР}}, \text{ ед.} \quad (5.9)$$

Расчетные данные по средневзвешенному пробегу до первого капитального ремонта сводят в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Средневзвешенный пробег до первого КР

| № группы | $A_{\text{н}}$, ед. | $L_{\text{КР2}}$, км | $L'_{\text{КР}}$, км |
|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| i | | | |

5.1.4. Расчет коэффициента технической готовности

Коэффициент технической готовности определяют по формуле

$$\alpha_{\text{T}} = \frac{D_{\text{эц}}}{D_{\text{эц}} + D_{\text{рц}}} < 1, [2, \text{ с. 35}] \quad (5.10)$$

где $D_{\text{эц}}$ – число дней нахождения автомобиля за цикл в технически исправном состоянии, т.е. дней эксплуатации за цикл, дн.;

$D_{\text{рц}}$ – число дней простоя автомобиля в ТО и ремонтах за цикл, дн.

$$D_{\text{эц}} = \frac{L'_{\text{КР}}}{l_{\text{сс}}}, \text{ дн.} [2, \text{ с. 35}] \quad (5.11)$$

$$D_{прц} = D_{КР} + \frac{D_{ТО-ТР} \cdot L'_{КР} \cdot K'_4}{1000}, \text{ дн. [2, с. 36]} \quad (5.12)$$

где $D_{КР}$ – число дней простоя автомобилей в КР на специализированном предприятии, с учетом числа затраченных дней на транспортирование автомобиля из АТП на авторемонтное предприятие и обратно, дн.;

$D_{ТО-ТР}$ – удельный простой автомобилей в ТО и ТР, дн./1000 км пробега (табл. 5.6).

$$D_{КР} = D'_{КР} + D_T, \text{ дн. [2, с. 36]} \quad (5.13)$$

где $D'_{КР}$ – нормативный простой автомобиля в КР на авторемонтном заводе, дн. (табл. 5.6 [2, с. 36]);

D_T – число дней, затраченных на транспортирование автомобиля из АТП на авторемонтное предприятие и обратно.

$$D_T = (0,1 \dots 0,2) \cdot D'_{КР}, \text{ дн. [2, с. 36]} \quad (5.14)$$

Таблица 5.6

Нормы простоя подвижного состава в ТО и ремонте

| Подвижной состав | $D_{ТО-ТР}$, дн./1000 км | $D'_{КР}$, дн. |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Легковые автомобили | 0,3-0,4 | 18 |
| Автобусы особо малого, малого и среднего классов | 0,3-0,5 | 20 |
| Автобусы большого класса | 0,5-0,55 | 25 |
| Грузовые автомобили особо малой, малой и средней грузоподъемности | 0,4-0,5 | 15 |
| Грузовые автомобили большой и особо большой грузоподъемности | 0,5-0,55 | 22 |
| Прицепы и полуприцепы | 0,1-0,15 | — |

5.1.5. Расчет коэффициента перехода от цикла к году

$$\eta_{Г} = \frac{D_{раб.г} \cdot \alpha_{Г}}{D_{эц}}, \text{ [2, с. 37]} \quad (5.15)$$

где $D_{\text{раб.г}}$ – количество рабочих дней в году, дн. (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Рекомендуемый режим работы производства

| Наименование вида работ по ТО и ТР подвижного состава | Рекомендуемый режим работы АТП | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| | Число рабочих дней в году $D_{\text{раб.г}}$ | Число рабочих смен в сутки $C_{\text{м}}$ | Период выполнения работ (смены) |
| Работы по ЕО | 302 | 2 | II, III |
| | 354 | 3 | I-III |
| | 365 | 3 | I-III |
| Диагностирование общее (Д-1) | 252 | 1 | I |
| Диагностирование углубленное (Д-2) | 302 | 2 | I, II |
| ТО-1 | 252 | 1 | II |
| | 302 | 2 | II, III |
| ТО-2 | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Регулировочные и разборочные работы по ТР | 252 | 2 | I, II |
| | 302 | 3 | I-III |
| | 354 | 3 | I-III |
| Окрасочные работы | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Агрегатные и слесарно-механические, электротехнические работы, ремонт приборов системы питания, шиномонтажные, вулканизационные, кузнечно-рессорные, медницкие, сварочные, жестяницкие, арматурные, деревообрабатывающие, обойные, радиоремонтные работы. | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Аккумуляторные работы | 302 | 2 | I, II |
| | 354 | 2 | I, II |
| Таксометровые работы | 302 | 2 | I, II |
| | 354 | 2 | I, II |
| Примечание. Больше число рабочих дней в году и смен в сутки следует принимать для АТП мощностью 300 и более грузовых автомобилей, а также для АТП ведомственного транспорта. | | | |

Расчетные данные сводят в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Коэффициенты технической готовности и перехода
от цикла к году

| № группы | Д _{ТО-ТР} дн./ 1000к м | Д _{КР} ' дн. | Д _{раб.г} дн. | Д _Т дн. | Д _{КР} дн. | Д _{рц} дн. | Д _{эц} дн. | α_T | η_G |
|----------|------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------|----------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| i | | | | | | | | | |

5.1.6. Расчёт количества воздействий по автомобилю и парку за год

- Количество воздействий за цикл

Количество ЕО за цикл определяют по формуле

$$N_{EO}^y = \frac{L'_{КР}}{l_{cc}}, [2, \text{с. 34}] \quad (5.16)$$

Количество ТО-2 за цикл:

$$N_{ТО-2}^ц = \frac{L'_{КР}}{l_{ТО-2}} - 1, [2, \text{с. 34}] \quad (5.17)$$

Количество ТО-1 за цикл:

$$N_{ТО-1}^ц = \frac{L'_{КР}}{l_{ТО-1}} - N_{ТО-2}^ц - 1, [2, \text{с. 34}] \quad (5.18)$$

- Количество воздействий за год по автомобилю

Количество ЕО за год по автомобилю:

$$N_{EO}^Г = N_{EO}^y \cdot \eta_G, [2, \text{с. 35}] \quad (5.19)$$

Количество ТО-1 за год по автомобилю:

$$N_{ТО-1}^Г = N_{ТО-1}^ц \cdot \eta_G, [2, \text{с. 35}] \quad (5.20)$$

Количество ТО-2 за год по автомобилю:

$$N_{TO-2}^{\Gamma} = N_{TO-2}^{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}, [2, \text{с. 35}] \quad (5.21)$$

▪ Количество воздействий за год по парку

Количество ЕО за год по парку:

$$N_{EO}^{\Gamma\Pi} = N_{EO}^{\Gamma} \cdot A_{cn}, [2, \text{с. 35}] \quad (5.22)$$

Количество ТО-1 за год по парку:

$$N_{TO-1}^{\Gamma\Pi} = N_{TO-1}^{\Gamma} \cdot A_{cn}, [2, \text{с. 35}] \quad (5.23)$$

Количество ТО-2 за год по парку:

$$N_{TO-2}^{\Gamma\Pi} = N_{TO-2}^{\Gamma} \cdot A_{cn}, [2, \text{с. 35}] \quad (5.24)$$

Количество Д-1 за год по парку:

$$N_{D-1}^{\Gamma\Pi} = 1,1 \cdot N_{TO-1}^{\Gamma\Pi} + N_{TO-2}^{\Gamma\Pi}, [2, \text{с. 38}] \quad (5.25)$$

Количество Д-2 за год по парку:

$$N_{D-2}^{\Gamma\Pi} = 1,2 \cdot N_{TO-2}^{\Gamma\Pi}, [2, \text{с. 38}] \quad (5.26)$$

Расчетные данные по количеству воздействий должны быть представлены в виде табл. 5.9.

Таблица 5.9

Количество воздействий по автомобилю и парку за год

| № группы | N_{EO}^{Γ} | N_{TO-1}^{Γ} | N_{TO-2}^{Γ} | $N_{EO}^{\Gamma\Pi}$ | $N_{TO-1}^{\Gamma\Pi}$ | $N_{TO-2}^{\Gamma\Pi}$ | $N_{D-1}^{\Gamma\Pi}$ | $N_{D-2}^{\Gamma\Pi}$ |
|----------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| i | | | | | | | | |

5.1.7. Определение суточной производственной программы по ТО и диагностированию автомобилей

По видам ТО и диагностированию суточная производственная программа

$$N_j^c = \frac{N_j^{ГП}}{D_{\text{раб.з}(j)}}, [2, \text{с. 38}] \quad (5.27)$$

где $N_j^{ГП}$ – годовая программа по каждому виду ТО и диагностики в отдельности;

$D_{\text{раб.з}(j)}$ – годовое число рабочих дней зоны, предназначенной для выполнения того или иного вида ТО и диагностирования автомобилей (табл. 5.7).

5.1.8. Выбор метода организации диагностирования на АТП

Диагностирование подвижного состава на АТП может проводиться отдельно или совмещаться с ТО и ТР. Формы организации диагностирования зависят от мощности АТП, типа подвижного состава, его разномарочности, используемых средств диагностирования, наличия производственных площадей.

На небольших АТП со списочным составом до 150 технологически совместимых автомобилей и при смешанном парке все виды диагностирования рекомендуется проводить на отдельном участке диагностирования, оснащённом комбинированным диагностическим стендом, или совместно с ТО и ТР переносными приборами.

Для средних АТП с числом 150-200 и более автомобилей целесообразно посты Д-1 и Д-2 иметь раздельными. Для крупногабаритного подвижного состава, при реконструкции АТП и ограниченных производственных площадях, а также при организации ТО-1 на поточных линиях Д-1 рекомендуется проводить совместно с ТО-1.

Для крупных АТП с числом автомобилей более 400 и при

наличии высокопроизводительных, автоматизированных диагностических средств Д-1 и Д-2 проводятся в отдельных помещениях. При этом помимо постов Д-1 и Д-2, необходимо иметь посты и средства диагностирования в зоне ТР (стенды для контроля и регулировки тормозов и углов установки управляемых колес) [2, с. 52].

5.2. Расчет объёмов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства

5.2.1. Годовой объём работ по ТО и ТР

Объём работ по ЕО, ТО-1 и ТО-2 ($T_{EO}^Г$, $T_{ТО-1}^Г$, $T_{ТО-2}^Г$) за год определяют произведением числа ТО за год по парку на скорректированное значение трудоемкости данного вида ТО:

$$T_{EO}^Г = N_{EO}^{ГП} \cdot t_{EO}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (5.28)$$

$$T_{ТО-1}^Г = N_{ТО-1}^{ГП} \cdot t_{ТО-1}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (5.29)$$

$$T_{ТО-2}^Г = N_{ТО-2}^{ГП} \cdot t_{ТО-2}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (5.30)$$

Годовой объём ТР:

$$T_{ТР}^Г = \frac{L_{Г} \cdot A_{сн} \cdot t_{ТР}}{1000}, \text{ чел.-ч/1000 км [2, с. 42]} \quad (5.31)$$

где $L_{Г}$ – годовой пробег автомобиля, км.

$$L_{Г} = D_{раб.г} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_{Т} \cdot K_{Э}, \text{ км [2, с. 35]} \quad (5.32)$$

или

$$L_{Г} = L'_{КР} \cdot \eta_{Г} \cdot K_{Э}, \text{ км [2, с. 35]} \quad (5.33)$$

где $K_{Э}$ – коэффициент, учитывающий простои подвижного состава по эксплуатационным причинам ($K_{Э} = 0,95...0,97$).

5.2.2. Годовой объём вспомогательных работ

Согласно Положению, кроме работ по ТО и ТР, в АТП выполняются вспомогательные работы, объём которых определяют по формуле

$$T_{всп} = (0,2...0,3)(T_{EO}^Г + T_{ТО-1}^Г + T_{ТО-2}^Г + T_{ТР}^Г), \text{ чел.-ч [2, с. 42] (5.34)}$$

5.2.3. Распределение объёма ТО и ТР по производственным зонами участкам

Объём ТО и ТР распределяется по месту его выполнения по технологическим и организационным признакам. ТО и ТР выполняются на постах и производственных участках (отделениях).

К постовым относятся работы по ТО и ТР, выполняемые непосредственно на автомобиле (моечные, уборочные, смазочные, крепежные, диагностические и др.). Работы по проверке и ремонту узлов, механизмов и агрегатов, снятых с автомобиля, выполняются на участках (агрегатном, механическом, электротехническом и др.).

Учитывая особенности технологии производства, работы по ЕО и ТО-1 выполняются в самостоятельных зонах. Постовые работы по ТО-2, выполняемые на универсальных постах, и ТР обычно производятся в общей зоне. В ряде случаев ТО-2 выполняется на постах линии ТО-1, но в другую смену.

Работы по диагностированию Д-1 проводятся на самостоятельных постах (линиях) или совмещаются с работами, выполняемыми на постах ТО-1 (см. п. 5.1.8).

Диагностирование Д-2 обычно выполняется на отдельных постах.

При ТО-2 возникает необходимость в снятии отдельных приборов и узлов для устранения неисправностей и контроля на специальных стендах на производственных участках. В основном это работы по системе питания, электротехнические, аккумуляторные и шиномонтажные. Поэтому выполнение 90–95% объёма работ ТО-2 планируется на постах, а 5–10% – на производственных участках. В практике проектирования этот объём работ распределяется равномерно по соответствующим участкам.

При организации ТО-2 на универсальных постах, а ТО-1 на поточной линии смазочные работы, учитывая их специфику, целесообразно выполнять на постах линии ТО-1, которая в период работы зоны ТО-2 обычно свободна, так как ТО-1 проводится в межсменное время (Рис. 5.1).

Примерное распределение трудоемкости ТО по видам работ (по ОНТП-АТП-СТО–80) приведено в табл. 5.10 [2, с. 43].

Таблица 5.10

Примерное распределение трудоемкости ТО по видам работ, %

| Работы | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
|-------------------------------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| ТО-1 | | | | |
| Диагностические | 14 | 7,5 | 9 | 4 |
| Крепёжные | 44 | 50 | 35 | 40 |
| Регулировочные | 10 | 10 | 11 | 10 |
| Смазочные, заправочно-очистительные | 19 | 20 | 21 | 23 |
| Электротехнические | 5 | 5 | 12 | 7 |
| По обслуживанию системы питания | 3 | 3,5 | 4 | - |
| Шинные | 5 | 4 | 8 | 16 |
| Кузовные | - | - | - | - |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ТО-2 | | | | |
| Диагностические | 10-12 | 5-7 | 6-10 | 0,5-1 |
| Крепёжные | 36-40 | 46-52 | 33-37 | 60-66 |
| Регулировочные | 9-11 | 7-9 | 17-19 | 18-24 |
| Смазочные, заправочно-очистительные | 9-11 | 9-11 | 14-18 | 10-12 |
| Электротехнические | 6-8 | 6-8 | 8-12 | 1-1,5 |
| По обслуживанию системы питания | 2-3 | 2-3 | 7-14 | - |
| Шинные | 1-2 | 1-2 | 2-3 | 2,5-3 |
| Кузовные | 18-22 | 15-17 | - | - |
| Итого | 90-95 | 90-95 | 90-95 | 90-95 |

Примерное распределение трудоемкости ТР по видам работ (по ОНТП-АТП-СТО–80) приведено в табл. 5.11 [2, с. 44].

Таблица 5.11

Примерное распределение трудоемкости ТР по видам работ, %

| Работы | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
|---------------------------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| Постовые работы | | | | |
| Диагностические | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Регулировочные | 4 | 2 | 1,5 | 1 |
| Разборочно-сборочные | 30 | 26 | 34,5 | 30 |
| Сварочно-жестяницкие | 7 | 6 | 1,5 | 9 |
| Малярные | 8 | 8 | 5 | 6 |
| Итого | 51 | 44 | 44,5 | 48 |
| Участковые работы | | | | |
| Агрегатные | 14 | 17 | 19 | - |
| Слесарно-механические | 9 | 8 | 12 | 13 |
| Электротехнические | 5 | 8,5 | 6 | 2 |
| Аккумуляторные | 1,5 | 1 | 1 | - |
| Ремонт приборов системы питания | 2 | 3 | 4 | - |
| Шиномонтажные | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Вулканизационные | 1,5 | 1 | 1 | 2 |
| Кузнечно-рессорные | 1,5 | 3 | 3 | 9 |
| Медницкие | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Сварочные | 1 | 1,5 | 0,5 | 4 |
| Жестяницкие | 1,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| Арматурные | 4 | 4,5 | 1 | 1 |
| Деревообрабатывающие | - | - | 3 | 17 |
| Обойные | 4 | 2,5 | 1,5 | - |
| Итого | 49 | 56 | 55,5 | 52 |
| Всего | 100 | 100 | 100 | 100 |

5.2.4. Распределение вспомогательных работ

Примерное распределение вспомогательных работ на АТП приведено в табл. 5.12 [2, с. 42].

Таблица 5.12

Примерное распределение трудоемкости вспомогательных работ на АТП, %

| Работы | Комплексное АТП | Производственное автотранспортное объединение | |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|--------|
| | | Головное предприятие | Филиал |
| Работы по самообслуживанию | 40-50 | 55-61 | 20-30 |
| Транспортные | 8-10 | 12-14 | 10-16 |
| Перегон автомобилей | 14-26 | 10-12 | 20-24 |
| Приемка, хранение и выдача материальных ценностей | 8-10 | 10-12 | 20-24 |
| Уборка помещений и территории | 14-20 | 6-8 | 16-20 |
| Итого | 100 | 100 | 100 |

5.2.5. Распределение объёма работ по самообслуживанию АТП

При небольшом объёме работ (до 8–10 тыс. чел.-ч в год) работы по самообслуживанию могут выполняться на производственных участках. В этом случае при определении годового объёма работ производственных участков следует учесть трудоемкость работ по самообслуживанию (табл. 5.13 [2, с. 45]).

Таблица 5.13

Примерное распределение работ по самообслуживанию на АТП

| Работы | Трудоемкость, % |
|----------------------------------------------|-----------------|
| Электромеханические | 25 |
| Механические | 10 |
| Слесарные | 16 |
| Кузнечные | 2 |
| Сварочные | 4 |
| Жестяницкие | 4 |
| Медницкие | 1 |
| Трубопроводные (слесарные) | 22 |
| Ремонтно-строительные и деревообрабатывающие | 16 |
| Итого | 100 |

На крупных предприятиях эти работы выполняют рабочие самостоятельного подразделения – отдела главного механика (ОГМ), в составе которого комплектуются соответствующие бри-

гады по обслуживанию и ремонту оборудования, зданий и пр. Поэтому трудовые затраты в данном случае не учитываются.

5.2.6. Распределение объёма работ по диагностированию Д-1 и Д-2

Согласно ОНТП-АТП-СТО–80, общий годовой объём диагностических работ между Д-1 и Д-2 распределяется следующим образом. Работы по Д-1 ($T_{Д-1}^Г$) составляют 50-60%, а по Д-2 ($T_{Д-2}^Г$) 40-50 % от общего объёма диагностических работ ($\sum T_{Д}^Г$), выполняемых при ТО-1, ТО-2 и ТР (см. табл. 5.10 и 5.11).

$$T_{Д-1}^Г = (0,5...0,6)\sum T_{Д}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (5.35)$$

$$T_{Д-2}^Г = (0,4...0,5)\sum T_{Д}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (5.36)$$

При этом средние значения трудоемкостей Д-1 ($t_{Д-1}$) и Д-2 ($t_{Д-2}$) составляют:

$$t_{Д-1} = \frac{T_{Д-1}^Г}{N_{Д-1}^{ГП}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (5.37)$$

$$t_{Д-2} = \frac{T_{Д-2}^Г}{N_{Д-2}^{ГП}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (5.38)$$

5.2.7. Корректирование годовых трудоемкостей работ по ТО и ТР

При организации диагностирования Д-1 и Д-2 на отдельных постах, для последующего расчета постов ТО и ТР необходимо скорректировать годовые объёмы работ по ТО и ТР.

$$T_{ТО-1}^{Г(к)} = T_{ТО-1}^Г - T_{Д-1}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (5.39)$$

При проведении Д-1 совместно с ТО-1 $T_{ТО-1}^{\Gamma(\kappa)} = T_{ТО-1}^{\Gamma}$.

$$T_{ТО-2}^{\Gamma(\kappa)} = T_{ТО-2}^{\Gamma} - T_{Д-2}^{\Gamma}, \text{ чел-ч [2, с. 47]} \quad (5.40)$$

Корректирование годового объёма постовых работ ТР проводят по формуле

$$T_{ТР}^{\Gamma(n.к.)} = T_{ТР}^{\Gamma(n)} - T_{Д(ТР)}^{\Gamma}, \text{ чел-ч [2, с. 47]} \quad (5.41)$$

где $T_{ТР}^{\Gamma(n)}$ – трудоемкость постовых работ ТР (см. табл. 5.11);

$T_{Д(ТР)}^{\Gamma}$ – трудоемкость диагностических работ при проведении ТР, чел-ч (см. табл. 5.11).

Соответственно трудоемкость работ ТО-1 и ТО-2 для расчета постов ТО:

$$t_{ТО-1}^{\kappa} = \frac{T_{ТО-1}^{\Gamma(\kappa)}}{N_{ТО-1}^{\Gamma\Pi}}, \text{ чел-ч [2, с. 47]} \quad (5.42)$$

$$t_{ТО-2}^{\kappa} = \frac{T_{ТО-2}^{\Gamma(\kappa)}}{N_{ТО-2}^{\Gamma\Pi}}, \text{ чел-ч [2, с. 47]} \quad (5.43)$$

5.2.8. Расчет количества производственных рабочих в подразделениях производства

К производственным рабочим относятся рабочие зон и участков, непосредственно выполняющие работы по ТО и ТР подвижного состава. Различают технологически необходимое (явочное) и штатное (списочное) число рабочих. Явочное число рабочих обеспечивает выполнение суточной, а штатное – годовой производственных программ (объёмов работ) по ТО и ТР.

Технологически необходимое (явочное) число рабочих рассчитывают по формуле

$$P_{\text{я}} = \frac{T_i^{\Gamma(\kappa)}}{\Phi_{\text{я}}}, \text{ чел [2, с. 48]} \quad (5.44)$$

где $T_i^{\Gamma(\kappa)}$ – годовой объём работ соответствующего подразделения, производства (для зон скорректированных см. п. 5.2.7) чел.-ч;
 $\Phi_{\text{я}}$ – явочный фонд времени, ч (табл. 5.14 [2, с. 48]).

Штатное число рабочих рассчитывают по формуле

$$P_{\text{шт}} = \frac{T_i^{\Gamma(\kappa)}}{\Phi_{\text{шт}}}, \text{ чел [2, с. 48]} \quad (5.45)$$

где $\Phi_{\text{шт}}$ – фонд времени штатных рабочих, ч (табл. 5.14).

На АТП со сложившимся производством и структурой работ для расчета рабочих используют коэффициент штатности $\eta_{\text{шт}}$, который можно определить по формуле

$$\eta_{\text{шт}} = \frac{P_{\text{я}}}{P_{\text{шт}}} = \frac{\Phi_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{я}}} \quad [2, \text{ с. 49}] \quad (5.46)$$

Значение $\eta_{\text{шт}}$ практически лежит в пределах 0,9–0,95 и зависит от профессии рабочего.

Таблица 5.14

Годовые фонды рабочего времени

| Рабочие | Годовой фонд времени рабочих, ч | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------|
| | явочный | штатный |
| Мойщики и уборщики подвижного состава | 2070 | 1860 |
| Слесари по ТО и ремонту, слесари по ремонту агрегатов и узлов, мотористы, электрики, шиномонтажники, слесари-станочники, столяры, обойщики, арматурщики, жестянщики, слесари по ремонту оборудования. | 2070 | 1840 |
| Слесари по ремонту приборов системы питания, аккумуляторщики, кузнецы, медники, сварщики, вулканизаторщики | 2070 | 1820 |
| Маляры | 1830 | 1610 |

Результаты расчетов оформляют в виде табл.5.15.

Таблица 5.15

Численность производственных рабочих

| Наименование производственного подразделения | $P_{я}$, чел | | $P_{ш}$, чел | |
|----------------------------------------------|---------------|-------|---------------|-------|
| | расч. | прин. | расч. | прин. |
| Зоны | | | | |
| ЕО | | | | |
| ТО-1 | | | | |
| ТО-2 | | | | |
| Д-1 | | | | |
| Д-2 | | | | |
| ТР | | | | |
| Участки | | | | |
| Агрегатный | | | | |
| Слесарно-механический | | | | |
| Электротехнический | | | | |
| Аккумуляторный | | | | |
| Ремонт приборов системы питания | | | | |
| Шиномонтажный | | | | |
| Вулканизационный | | | | |
| Кузнечно-рессорный | | | | |
| Медницкий | | | | |
| Сварочный | | | | |
| Жестяницкий | | | | |
| Арматурный | | | | |
| Обойный | | | | |
| Деревообрабатывающий | | | | |
| Малярный | | | | |
| Итого | — | | — | |

Если штатное число рабочих получается менее одного, то производственные участки с технологически совместимым характером работ (за исключением аккумуляторного и малярного) допускается объединять в соответствии с табл. 5.16 [2, с. 135].

Таблица 5.16

Группирование производственных участков по характеру выполняемых работ

| № группы | Наименование производственных участков |
|----------|-----------------------------------------------------|
| 1 | Электротехнический, ремонт приборов системы питания |
| 2 | Шиномонтажный, вулканизационный |
| 3 | Агрегатный, слесарно-механический |

| № группы | Наименование производственных участков |
|----------|----------------------------------------|
| 4 | Кузнечно-рессорный, медницкий |
| 5 | Сварочный, жестяницкий, арматурный |
| 6 | Обойный, деревообрабатывающий |

5.2.9. Расчет технологически необходимого числа водителей

Технологически необходимое число водителей определяют по формуле

$$P_{\text{ВОД}} = \frac{A_{\text{сп}} \cdot \alpha_T \cdot D_{\text{раб.г}} \cdot T_{\text{см}} \cdot C_{\text{м}}}{\Phi_{\text{вод}}}, \text{ чел} \quad (5.47)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч;

$C_{\text{м}}$ – количество смен;

$\Phi_{\text{вод}}$ – фонд рабочего времени водителей (для легковых автомобилей $\Phi_{\text{вод}} = 1860$ ч, для грузовых автомобилей грузоподъемностью до 3 т $\Phi_{\text{вод}} = 1840$ ч, для грузовых автомобилей грузоподъемностью свыше 3 т и автобусов $\Phi_{\text{вод}} = 1820$ ч).

5.3. Расчет числа постов и линий в зонах ЕО, ТО и ТР

5.3.1. Выбор метода организации ТО автомобилей

Основным критерием для выбора метода организации ТО на АТП служит суточная производственная программа соответствующего вида ТО.

Минимальная суточная программа (см. п. 5.1.7), при которой целесообразен поточный метод ТО, рекомендована Положением и составляет: для ТО-1 12–15, а для ТО-2 5–7 воздействий по технологически совместимым автомобилям. В противном случае расчет ведут по постам.

5.3.2. Режим работы зон ТО и ТР

Этот режим характеризуется числом рабочих дней в году,

продолжительностью работы (числом рабочих смен, продолжительностью и временем начала и конца смены), распределением производственной программы по времени ее выполнения.

Режим работы зоны должен быть согласован с графиком выпуска и возврата автомобилей с линии (Рис. 5.1).

График дает наглядное представление о числе автомобилей, находящихся на линии и на АТП в любое время суток, что позволяет установить наиболее рациональный режим работы зон ТО автомобилей.

Межсменное время – это период между возвратом первого автомобиля и выпуском последнего. При равномерном выпуске автомобилей продолжительность межсменного времени

$$T_{МС} = 24 - (T_H + T_O - T_{ВЫП}), \text{ ч [2, с. 53]} \quad (5.48)$$

Продолжительность выпуска и возврата автомобилей на линию представлена в табл. 5.16.

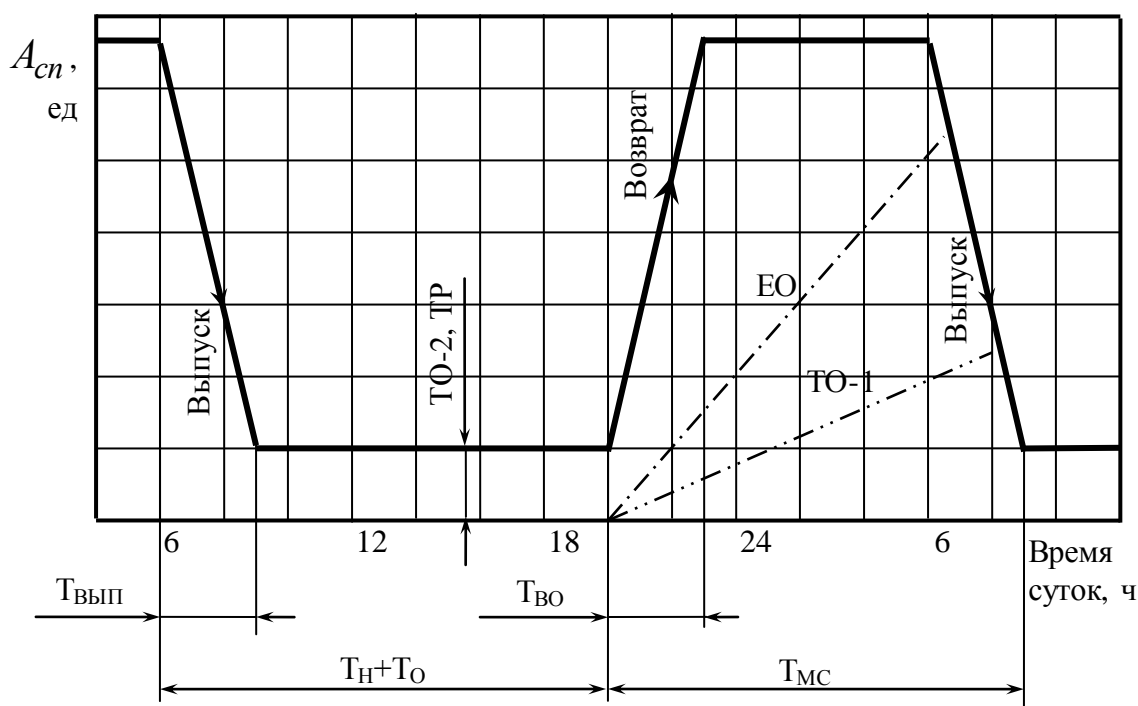


Рис. 5.1. Суточный график выпуска и возврата автомобилей на АТП:

$T_{ВЫП}$ – выпуск автомобилей на линию;

$T_{ВОЗ}$ – возврат автомобилей с линии;

T_H – работа автомобилей на линии в наряде;
 T_O – обеденный перерыв водителя;
 T_{MC} – межсменное время.

Таблица 5.17

Продолжительность выпуска и возвращения подвижного состава

| Количество подвижного состава | Продолжительность пикового возвращения (выпуска) в течение суток, ч | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | Легковых автомобилей-такси | Автобусов маршрутных | Грузовых общего пользования | Ведомственного транспорта |
| До 50 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1,0 |
| Свыше 50 до 100 | 3 | 2,5 | 2,5 | 1,5 |
| Свыше 100 до 200 | 3,5 | 2,8 | 2,7 | 2,0 |
| Свыше 200 до 300 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 2,2 |
| Свыше 300 до 400 | 4,2 | 3,5 | 3,3 | 2,5 |
| Свыше 400 до 600 | 4,5 | – | 3,7 | 3,0 |
| Свыше 600 до 800 | 4,6 | – | – | – |
| Свыше 800 до 1000 | 4,8 | – | – | – |
| Свыше 1000 | 5,0 | – | – | – |

5.3.3. Расчет постов ТО

Исходными величинами для расчета числа постов ТО служат ритм производства и такт производства.

Ритм производства – это время, приходящееся в среднем на выпуск одного автомобиля из данного вида ТО, или интервал времени между выпуском двух последовательно обслуженных автомобилей из данной зоны.

$$R_i = \frac{60 \cdot T_{см} \cdot C_m}{N_i^c}, \text{ мин [2, с. 54]} \quad (5.49)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены (Рис. 5.1);

C_m – количество смен (табл. 5.7);

N_i^c – суточная производственная программа по каждому виду ТО (см. п. 5.1.7).

Такт производства – это среднее время занятости поста. Оно складывается из времени простоя автомобиля под обслуживанием на данном посту и времени, связанного с установкой автомо-

бия на пост, вывешиванием его на подъёмники и т. п.

$$\tau_i = \frac{60 \cdot t_i^K}{P_{II}} + t_{II}, \text{ мин [2, с. 54]} \quad (5.50)$$

где t_i^K – скорректированная трудоемкость ТО i -го вида (см. п. 5.2.7), чел.-ч;

P_{II} – число рабочих одновременно работающих на посту, чел (табл. 5.17);

t_{II} – время, затрачиваемое на передвижение автомобиля при установке его на пост и съезд с поста, мин ($t_{II} = 1 - 3$ мин).

Таблица 5.18

Численность рабочих, одновременно работающих на посту

| Тип рабочих постов | Численность одновременно работающих на одном посту, чел. | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------|--------|----------|----------|----------------|---------------------------------------|-----------------|---------|---------------|-----------------------|
| | Тип подвижного состава | | | | | | | | | | |
| | Легковые автомобили | Автобусы, класса | | | | | Грузовые автомобили, грузоподъемности | | | | Прицепы и полуприцепы |
| | | Особо малого | Малого | Среднего | Большого | Особо большого | Особо малой | Малой и средней | Большой | Особо большой | |
| Посты ЕО | | | | | | | | | | | |
| Уборочных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Моечных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Заправочных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| Посты ТР | | | | | | | | | | | |
| Регулировочные, разборочно-сборочные | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Сварочно-жестяницкие | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Малярные | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Посты Д-1, Д-2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Посты ТО-1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Посты ТО-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |

Число постов ТО-1 определяют по формуле

$$X_{ТО-1} = \frac{\tau_{ТО-1}}{R_{ТО-1}}, [2, \text{с. 55}] \quad (5.51)$$

Число постов ТО-2 из-за относительно большой его трудоемкости, а также возможного увеличения времени простоя автомобиля на посту за счет проведения дополнительных работ по устранению неисправностей определяют с учетом коэффициента использования рабочего времени поста.

$$X_{ТО-2} = \frac{\tau_{ТО-2}}{R_{ТО-2} \cdot \eta_{ТО-2}}, [2, \text{с. 55}] \quad (5.52)$$

где $\eta_{ТО-2}$ – коэффициент использования рабочего времени поста ТО-2 (табл. 5.19).

Таблица 5.19

Коэффициенты использования рабочего времени постов

| Тип рабочих постов | Коэффициент использования рабочего времени постов, при числе смен работы в сутки | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| | I | II | III |
| Посты ЕО | | | |
| Уборочных работ | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Моечных работ | 0,90 | 0,88 | 0,87 |
| Посты ТО-1 и ТО-2 | | | |
| На поточных линиях | 0,93 | 0,92 | 0,91 |
| Индивидуальные | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Посты Д-1 и Д-2 | 0,90 | 0,88 | 0,87 |
| Посты ТР | | | |
| Регулировочные, разборочно-сборочные (не оснащенные специальным оборудованием) | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Разборочно-сборочные (оснащенные специальным оборудованием) | 0,93 | 0,92 | 0,91 |

При известном годовом объеме диагностических работ число диагностических постов определяют по формуле

$$X_{Д-i} = \frac{T_{Д-i}^{\Gamma}}{D_{раб.г} \cdot T_{см} \cdot C_m \cdot \eta_D \cdot P_{\Pi}}, [2, с. 55] \quad (5.53)$$

где $T_{Д-i}^{\Gamma}$ – годовая трудоемкость диагностических воздействий i -го вида, чел.-ч (см. п. 5.2.6);

η_D – коэффициент использования рабочего времени поста диагностики (табл. 5.19).

5.3.4. Расчет постов ТР

Число постов ТР при равномерном распределении работ по сменам определяют по формуле

$$X_{ТР} = \frac{T_{ТР}^{\Gamma(нк)} \cdot \varphi}{D_{раб.г} \cdot T_{см} \cdot C_m \cdot \eta_{ТР} \cdot P_{\Pi}}, [2, с. 62] \quad (5.54)$$

где φ – коэффициент неравномерности поступления автомобилей на посты ТР ($\varphi = 1,5$ для АТП с числом автомобилей до 150–200; $\varphi = 1,2$ для АТП с числом автомобилей 400–500 и более).

$\eta_{ТР}$ – коэффициент использования рабочего времени поста ТР (табл. 5.19);

P_{Π} – число рабочих одновременно работающих на посту ТР, чел (табл. 5.18).

При работе постов ТР в несколько смен с неравномерным распределением работ по сменам расчет числа постов производят для наиболее загруженной смены. В этом случае число постов ТР

$$X_{ТР} = \frac{T_{ТР}^{\Gamma(нк)} \cdot \varphi \cdot K_{ТР}}{D_{раб.г} \cdot T_{см} \cdot \eta_{ТР} \cdot P_{\Pi}}, [2, с. 62] \quad (5.55)$$

где $K_{ТР}$ – коэффициент, учитывающий долю объема работ, выполняемую на постах ТР в наиболее загруженную смену (обычно в наиболее загруженную смену выполняется 50–60% объема работ, т.е. $K_{ТР} = 0,5 - 0,6$).

При числе постов ТР более 5–6 их специализируют по видам выполняемых работ (табл. 5.20).

При числе постов более 10 допускается выделение постов по замене агрегатов и для шиномонтажных работ.

Таблица 5.20

Распределение постов ТР по их специализации
в процентах от общего числа постов

| $X_{ТР}$ | Специализация постов | Количество постов в процентах от $X_{ТР}$ |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5-9 | Пост ремонта двигателя и его систем | 20-30 |
| | Пост ремонта трансмиссии, тормозов, рулевого управления и ходовой части | 40-50 |
| | Универсальные посты | 10-20 |
| 10-15 | Пост контроля и регулировки тормозов | 5-10 |
| Более 15 | Пост контроля и регулировки углов установки колес | 5-10 |
| Итого | | 100 |

5.3.5. Расчет постов ожидания

Посты ожидания – это посты, на которых автомобили, нуждающиеся в том или ином виде ТО и ТР, ожидают своей очереди для перехода на соответствующий пост или поточную линию.

Посты ожидания могут предусматриваться отдельно или вместе для каждого вида обслуживания и размещаться как в производственных помещениях, так и на открытых площадках. При наличии закрытых стоянок посты ожидания могут не предусматриваться.

Число постов ожидания определяется: перед постами ЕО – исходя из 15–25% часовой пропускной способности постов (линий) ЕО; перед постами ТО-1 – исходя из 10–15% сменной программы; перед постами ТО-2 – исходя из 30–40% сменной программы; перед постами ТР – в количестве 20–30% от числа постов ТР.

5.3.6. Расчет поточных линий ТО-1 и ТО-2

Для проведения ТО-1 и ТО-2 используют поточные линии

периодического действия. Исходной величиной характеризующей поток периодического действия, является такт линии. Под тактом линии понимают интервал времени между двумя последовательно сходящими с линии автомобилями, прошедшими данный вид обслуживания.

Такт линии определяют по формуле

$$\tau_{Л(ТО-i)} = \frac{60t_{ТО-i}^k}{X_{Л}P_{ср}} + t_{П}, \text{ мин [2, с. 55]} \quad (5.56)$$

где $t_{ТО-i}^k$ – скорректированная трудоемкость ТО i -го вида, чел.-ч (см. п. 5.2.7);

$X_{Л}$ – число постов на линии (назначают исходя из содержания работ, их технологической последовательности, объёма работ и возможной специализации постов по виду работ по табл. 5.22 [2, с. 57]);

$P_{ср}$ – среднее число рабочих на посту, чел. ($P_{ср} = 3-5$ чел. [2, с. 54]);

$t_{П}$ – время передвижения автомобиля с поста на пост, мин (при передвижении автомобилей своим ходом $t_{П} = 1-3$ мин; при использовании конвейера определяют по формуле (5.55)).

$$t_{П} = \frac{L_a + a}{v_K}, \text{ мин [2, с. 56]} \quad (5.57)$$

где L_a – габаритная длина автомобиля (автопоезда), м;

a – расстояние между автомобилями, стоящими на двух последовательных постах, м (табл. 5.21);

v_K – скорость передвижения автомобиля конвейером, м/мин (для выпускаемых цепных конвейеров $v_K = 10-15$ м/мин).

Таблица 5.21

Расстояние между автомобилями, стоящими на двух последовательных постах линии ТО в зависимости от категории автомобиля

| Категория | Размеры, м | | Расстояние a не менее, м |
|-----------|---------------|------------------|----------------------------|
| | Длина | Ширина | |
| I | До 6 | До 2 | 1,2 |
| II | Свыше 6 до 8 | Свыше 2 до 2,5 | 1,5 |
| III | Свыше 8 до 11 | Свыше 2,5 до 2,8 | 1,5 |
| IV | Свыше 11 | Свыше 2,8 | 2,0 |

Число линий ТО определяют по формуле

$$m_{TO-i} = \frac{\tau_{L(TO-i)}}{R_{TO-i}} [2, \text{с. 58}] \quad (5.58)$$

где R_{TO-i} – ритм производства ТО i -го вида (см. п. 5.3.3).

5.3.7. Расчет поточных линий ЕО

Для выполнения уборочно-моечных работ применяют поточные линии непрерывного действия с использованием механизированных установок для мойки и сушки автомобилей.

При полной механизации работ по мойке и сушке автомобилей и отсутствия уборочных операций, выполняемых на других постах вручную, число постов линии соответствует числу механизированных установок (для мойки автомобилей, дисков колес, сушки). Рабочие на линии при этом могут отсутствовать за исключением оператора для управления установками.

Для обеспечения максимальной производительности линии пропускная способность отдельных постовых установок должна быть равна пропускной способности основной установки для мойки автомобилей.

Такт линии определяют по формуле

$$\tau_{Л(EO)} = \frac{60}{N_Y}, \text{ мин [2, с. 60]} \quad (5.59)$$

где N_Y – производительность механизированной моечной установки автомобилей на линии, авт/ч (для грузовых автомобилей $N_Y = 15 - 20$, легковых $N_Y = 30 - 40$, автобусов $N_Y = 30 - 50$ авт/ч).

Если на линии обслуживания предусматривают механизацию только моечных работ, а остальные выполняют вручную, то такт линии

$$\tau_{Л(EO)} = \frac{L_a + a}{v_{K(EO)}}, \text{ мин [2, с. 60]} \quad (5.60)$$

где $v_{K(EO)}$ – скорость конвейера в зоне EO, м/мин.

Скорость конвейера определяют по формуле

$$v_{K(EO)} = \frac{N_Y(L_a + a)}{60}, \text{ м/мин [2, с. 60]} \quad (5.61)$$

Для потока непрерывного действия число линий EO

$$m_{EO} = \frac{\tau_{Л(EO)}}{R_{EO}}, \text{ [2, с. 61]} \quad (5.62)$$

где R_{EO} – ритм производства зоны EO, мин (см. п. 5.3.3).

Таблица 5.22

Примерное распределение работ по постам линий ЕО и ТО-1

| Видобслуживания | Число постов на линии | 1-й пост | 2-й пост | 3-й пост | 4-й пост |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| ЕО | 3 | Уборочные | Моечные | Обтирочные | – |
| | 4 | Уборочные | Моечные | Обтирочные | Дозаправочные |
| ТО-1 с учетом совмещения с Д-1 | 3 | Внешний осмотр автомобиля; диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам питания и зажигания; работы по шинам, рулевому управлению, ходовой части и трансмиссии | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по электрооборудованию (кроме зажигания) и тормозам | Смазочные и очистительные работы | – |
| | 4 | Внешний осмотр автомобиля, диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам питания и электрооборудования (кроме работ 3-го поста) | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по шинам, рулевому управлению, ходовой части и трансмиссии | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам освещения, сигнализации и тормозам | Смазочные и очистительные работы |

5.4. Обоснование подбора и расчет необходимого количества технологического оборудования

5.4.1. Обоснование подбора технологического оборудования

Основной критерий при обосновании подбора технологического оборудования – это среднегодовой пробег одного автомобиля.

Если среднегодовой пробег одного автомобиля в пределах нормативного пробега (для соответствующего типа подвижного состава: 50000 км – грузовые, 59000 км – автобусы, 67000 км – легковые) $\pm 50\%$, то технологическое оборудование подбирается согласно Табелю технологического оборудования и специализированного инструмента для АТП, СТО и БЦТО [3] (далее Табель).

Если среднегодовой пробег одного автомобиля выходит за пределы нормативного пробега $\pm 50\%$, то производится расчет необходимого количества технологического оборудования.

5.4.2. Расчет необходимого количества технологического оборудования

Существует несколько методов расчета необходимого количества технологического оборудования:

- 1) Технологические
 - a) по трудоемкости
 - b) по числу постов
 - c) по числу исполнителей
- 2) Экспертно-технический
- 3) Комбинированный

Количество оборудования, которое используется периодически, т. е. не имеет полной загрузки, устанавливают комплектом по Табелю для данного участка (карбюраторного, аккумуляторного и электротехнического).

Число единиц подъёмно-осмотрового и подъёмно-транспортного оборудования определяют числом постов ТО, ТР

и линий ТО, их специализацией по видам работ, а также предусмотренным в проекте уровнем механизации производственных процессов (использование кран-балок, тельферов и других средств механизации).

Количество производственного инвентаря (верстаков, стеллажей и т. п.), который используется практически в течении всей рабочей смены, определяют по числу работающих в наиболее загруженной смене. Количество складского оборудования определяют номенклатурой и величиной складских запасов.

■ Расчет необходимого количества технологического оборудования по трудоемкости

Рассчитывается количество оборудования, которое влияет на организацию работ, устройство и тип постов, условия работы исполнителей, а также на уровень механизации зон ТО и ТР. К такому оборудованию относятся: смазочно-заправочные стационарные устройства, станки для механической обработки, электровулканизаторы, компрессоры, воздухораздаточные колонки, оборудование специализированных постов по замене агрегатов.

Необходимое количество технологического оборудования определяется по формуле

$$Q_{об} = \frac{K_{\Sigma} \cdot T_i^{\Gamma}}{\Phi_{об_i}^{\delta} \cdot \eta_n \cdot P}, \text{ ед.} \quad (5.63)$$

где T_i^{Γ} – годовой объём работ по данной группе или виду работ, чел.-ч (табл. 5.10, 5.11);

η_n – коэффициент использования рабочего времени поста ($\eta_n = 0,75 - 0,90$);

P – число рабочих, одновременно работающих на данном виде оборудования, чел (для большей части оборудования $P = 1$ чел);

$\Phi_{об_i}^{\delta}$ – действительный фонд времени работы i -го оборудования за год, ч;

K_{Σ} – суммарный коэффициент корректирования.

$$\Phi_{об_i}^0 = \Phi_{но} \cdot \eta_o, \text{ ч} \quad (5.64)$$

где $\Phi_{но}$ – номинальный фонд времени работы оборудования за год, ч (см. табл. 5.23);

η_o – коэффициент, учитывающий простои оборудования в ремонте (см. табл. 5.23).

Таблица 5.23

Параметры для определения действительного фонда времени работы оборудования за год

| Параметр | Количество смен работы | | |
|------------------------|------------------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| $\Phi_{но}, \text{ ч}$ | 2070 | 4140 | 6210 |
| η_o | 0,98 | 0,96 | 0,95 |

Суммарный коэффициент корректирования определяется по формуле

$$K_{\Sigma} = A + B, \quad (5.65)$$

$$A = K_{1_{TP}} \cdot K_{2_{TP}} \cdot K_{3_{TP}} \cdot K_4 \cdot K_{TP}, \quad (5.66)$$

$$B = K_{2_{TO}} \cdot K_5 \cdot K_{TO}, \quad (5.67)$$

$$K_{TP} = \frac{T_{TP}}{T_{TO} + T_{TP}}, \quad (5.68)$$

$$K_{TO} = \frac{T_{TO}}{T_{TO} + T_{TP}}. \quad (5.69)$$

■ Расчет необходимого количества технологического оборудования по числу постов

Рассчитываются средства механизации отдельных операций ТО и ТР, а также оборудование постов: верстаки, подъемники, тележки для снятия и установки колес, сварочные столы, стеллажи, смазочно-заправочные устройства.

Необходимое количество технологического оборудования

определяется по формуле

$$Q_{об} = X_{п} \cdot K_{п}, \text{ ед.} \quad (5.70)$$

где $X_{п}$ – количество постов одного типа, ед.;

$K_{п}$ – коэффициент возможности использования оборудования на нескольких постах.

$$K_{п} = 2 \cdot \frac{t_1}{\tau}, \text{ ед} \quad (5.71)$$

где t_1 – время использования данного вида оборудования на посту при обслуживании одного автомобиля, мин;

τ – такт поста, мин;

2 – коэффициент запаса.

Для поточных линий принимают $K_{п} = 1$.

Для маслораздаточных баков, передвижных солидолонагнетающих установок, тележек для снятия и установки колес принимают $K_{п} = 0,4$.

■ Расчет необходимого количества технологического оборудования по числу постов

Рассчитывается количество оборудования индивидуального пользования: комплект инструмента, переносные контрольно-измерительные приборы, гайковерты, приспособления.

$$Q_{об} = P \cdot K_u, \text{ ед.} \quad (5.72)$$

где K_u – коэффициент, учитывающий возможность использования оборудования несколькими исполнителями.

$$K_u = 2 \cdot \frac{t_1}{t_2}, \quad (5.73)$$

где t_1 – время использования оборудования одним исполнителем при обслуживании одного автомобиля, мин;

t_2 – общее время, потраченное одним исполнителем на обслуживание одного автомобиля, мин;
2 – коэффициент запаса.

Для поточных линий принимают $K_u = 1$.

▪ Расчет необходимого количества технологического оборудования экспертно-техническим методом

Необходимое количество технологического оборудования для зон ТО определяется по формуле

$$Q_{об} = Q_{таб} \cdot K_{2ТО} \cdot K_L, \text{ ед.} \quad (5.74)$$

где $Q_{таб}$ – количество оборудования по таблице;

K_L – коэффициент, зависящий от пробега.

$$K_L = \frac{K_{факт}}{K_{норм}}, \quad (5.75)$$

Необходимое количество технологического оборудования для зон ТР определяется по формуле

$$Q_{об} = K_{1ТР} \cdot K_{2ТР} \cdot K_{3ТР} \cdot K_4 \cdot K_L \cdot Q_{таб}, \quad (5.76)$$

▪ Расчет необходимого количества технологического оборудования комбинированным методом

Под комбинированным методом понимают совместное использование технологических методов и экспертно-технического метода расчета необходимого количества технологического оборудования.

5.5. Расчет площадей помещений

5.5.1. Расчет площадей зон ТО и ТР

Площадь зоны ТО или ТР определяют по формуле

$$F_{3(i)} = f_a \cdot X_i \cdot K_{II}, \text{ м}^2 [2, \text{ с. } 77] \quad (5.77)$$

где f_a – площадь, занимаемая автомобилем в плане, м^2 (произведение длины на ширину);

X_i – число постов (см. п. 5.3.3 и 5.3.4);

K_{II} – коэффициент плотности расстановки постов (при одностороннем расположении постов $K_{II} = 6-7$; при двухсторонней расстановке постов и поточном методе обслуживания $K_{II} = 4-5$. Меньшие значения K_{II} принимают для крупногабаритного подвижного состава и при числе постов не более 10).

5.5.2. Графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО и ТР

Метод графического определения ширины проезда в зонах ТОи ТР с тупиковым расположением постов (Рис. 5.2) предусматривает рассмотрение четырех положений автомобиля в процессе его съезда с канавы (или въезда на нее).

Положение *I* соответствует начальной стадии построения. Положение *II* определяется тем, что автомобиль передвигается вдоль оси канавы до момента, пока его передняя ось не совпадет с торцом $a - a$ канавы. В этом новом положении через заднюю ось проводят прямую и на ней откладывают внутренний габаритный радиус R_2 , определяя тем самым положение центра поворота O_2 . Положение *III* определяют движением автомобиля задним ходом из положения *II* с предельно допустимым поворотом передних колес. Для определения положения *III* параллельно прямой $I-I$, проведенной через наиболее выступающие точки контуров автомобилей, на расстоянии Z проводят прямую $2-2$. Ширина полосы Z является нормируемой зоной безопасности, в пределы которой автомобиль не должен заезжать при маневрировании в процессе установки на пост или выезде с него. Из точки O_2 радиусом R_3 проводят траекторию движения наружной точки автомобиля b до пересечения с прямой $2-2$, получая точку «с». Затем из точки «с» проводят дугу радиусом R_1 .

Далее из центра O_2 радиусом $2R_2 + B$ (где B — габаритная ширина автомобиля) проводят дугу, до пересечения ее с дугой

радиуса R_1 в точке O_3 . Соединяя точки O_3 и O_2 , определяют новое положение задней оси и соответственно самого автомобиля после его движения из положения *II* в положение *III*. Очевидно, что для движения вдоль оси проезда автомобилю необходимо сделать поворот относительно центра O_3 в сторону, противоположную предыдущему движению (положение *IV*). Отложив от вершины d габаритного прямоугольника автомобиля (положение *III*) нормируемую ширину Z внешней защитной зоны, проводят прямые 3—3 и 4—4 параллельно прямой 2—2.

Расстояние между прямыми 1—1 и 4—4 определяет искомую ширину проезда S в метрах.

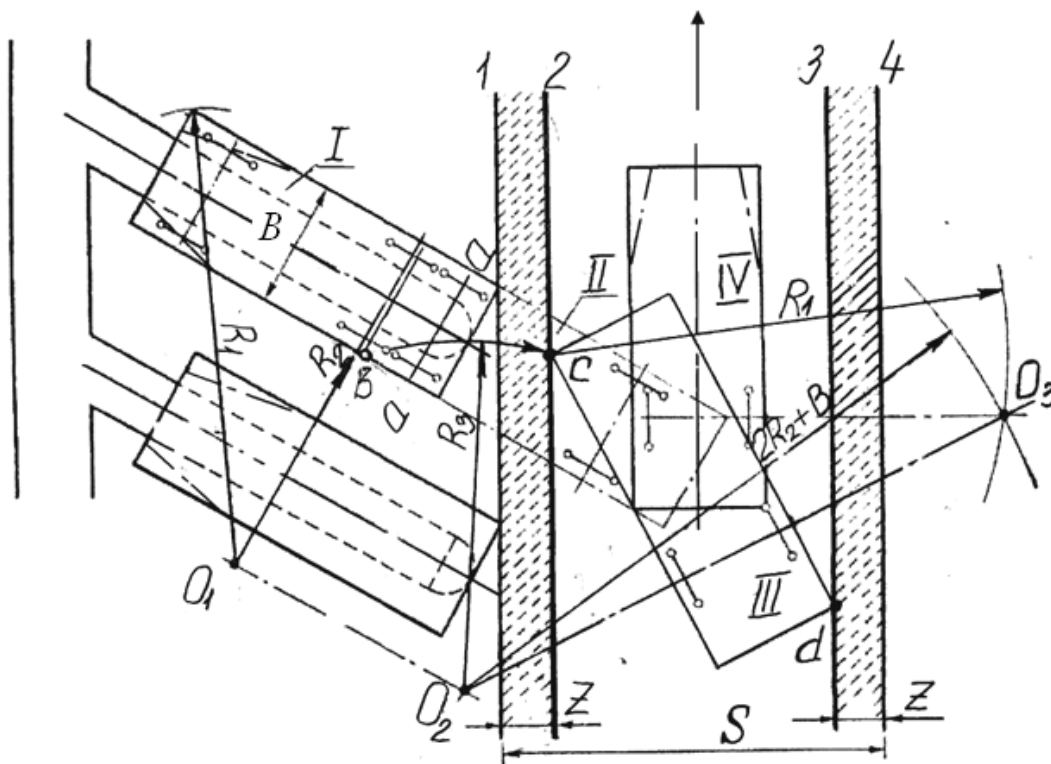


Рис. 5.2. Графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО и ТР

5.5.3. Расчет площадей производственных участков

- Расчет площадей производственных участков по площади помещения, занимаемой оборудованием

Для выполнения расчета по этому способу предварительно необходимо составить ведомость оборудования на основе прове-

денного в п.5.4 расчета и выбора оборудования по Табелю для участков (в курсовом проекте для участков по заданию на выполнение графической части). Ведомость технологического оборудования должна быть представлена в виде табл. 5.24.

Таблица 5.24

Ведомость технологического оборудования

| Наименование участка | Наименование оборудования | Количество, ед. | Габаритные размеры, мм | Суммарная площадь в плане, м ² |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------------|
| | 1. | | | |
| | 2. | | | |
| | i | | | |
| Суммарная площадь горизонтальной проекции по габаритным размерам оборудования, м ² | | | | |

Площадь участка определяют по формуле

$$F_{Y(i)} = f_{об} \cdot K_{П(об)}, \text{ м}^2 \quad [2, \text{ с. } 77] \quad (5.78)$$

где $f_{об}$ – суммарная площадь горизонтальной проекции по габаритным размерам оборудования, м² (табл. 5.24);

$K_{П(об)}$ – коэффициент плотности расстановки оборудования (табл. 5.25) [2, с. 77].

Таблица 5.25

Значения коэффициента плотности расстановки оборудования

| Наименование участков | $K_{П(об)}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Слесарно-механический, медницкий, аккумуляторный, электротехнический, ремонт приборов системы питания, обойный. | 3-4 |
| Агрегатный, шиномонтажный, ремонта оборудования и инструмента | 3,5-4,5 |
| Сварочный, жестяницкий, арматурный | 4-5 |
| Кузнечно-рессорный, деревообрабатывающий | 4,5-5,5 |

Если в помещениях предусматриваются места для автомобилей, то к площади, занимаемой оборудованием необходимо добавить площадь горизонтальной проекции автомобиля, т. е.

$$F_{Y(i)} = (f_{об} + f_a) \cdot K_{П(об)}, \text{ м}^2 \quad (5.79)$$

- Расчет площадей участков по числу работающих на участке в наиболее загруженную смену

В отдельных случаях для приближенных расчетов площади участков могут быть определены по числу работающих на участке в наиболее загруженную смену (для курсового проекта по этому методу проводится расчет площадей всех участков, кроме участков указанных в задании на выполнение графической части проекта).

$$F_{y(i)} = f_{p1} + f_{p2}(P_{ш} - 1), \text{ м}^2 \quad (5.80)$$

где f_{p1} – площадь, приходящаяся на первого работающего, $\text{м}^2/\text{чел.}$ (табл. 5.26);

f_{p2} – площадь, приходящаяся на каждого последующего рабочего, $\text{м}^2/\text{чел.}$ (табл. 5.26).

Таблица 5.26

Удельные площади на одного ремонтного рабочего для
производственных участков

| Наименование участка | f_{p1} , $\text{м}^2/\text{чел.}$ | f_{p2} , $\text{м}^2/\text{чел.}$ |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1. Агрегатный (без помещения для мойки агрегатов и деталей) | 22 | 14 |
| 2. Слесарно-механический | 18 | 12 |
| 3. Электротехнический | 15 | 9 |
| 4. Ремонт приборов системы питания | 14 | 8 |
| 5. Аккумуляторный (без помещений зарядной, аппаратной и кислотной) | 21 | 15 |
| 6. Шиномонтажный | 18 | 15 |
| 7. Вулканизационный | 12 | 6 |
| 8. Кузнечно-рессорный | 21 | 5 |
| 9. Медницкий | 15 | 9 |
| 10. Сварочный | 15 | 9 |
| 11. Жестяницкий | 18 | 12 |
| 12. Арматурный | 12 | 6 |
| 13. Обойный | 18 | 5 |
| 14. Деревообрабатывающий | 24 | 18 |

При совмещении в одном помещении двух или нескольких участков площадь принимается по суммарному числу работаю-

щих на соответствующем участке.

Площади для автомобилей в шиномонтажном, жестяницком, сварочном, обойном и кузнечно-рессорном участках не учтены.

Для АТП с числом автомобилей 250-400 площади для мойки деталей и агрегатов принимают 72-108 м²; кислотной 18-36 м²; зарядной 12-24 м²; аппаратной 15-18 м² (для АТП с числом автомобилей менее 250 данные помещения можно не предусматривать).

Площадь малярного участка определяют в зависимости от количества и габаритов окрасочно-сушильного оборудования, нормативных расстояний между оборудованием, подвижным составом и элементами строительных конструкций зданий.

5.5.4. Расчет площадей складских помещений

▪ Расчет площадей складских помещений по удельной площади на 1 млн. км пробега

При этом методе расчета учитывают тип, списочное число и разномарочность подвижного состава. Площадь склада определяют по формуле

$$F_{СК} = L_{Г} \cdot A_{сн} \cdot f_{У} \cdot K_{П.С.} \cdot K_{Р} \cdot K_{РАЗ} \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2 \quad [2, \text{ с. } 79] \quad (5.81)$$

где $L_{Г}$ – среднегодовой пробег одного автомобиля, км (см. п. 5.2.1);

$f_{У}$ – удельная площадь данного вида склада на 1 млн. км пробега автомобилей, м² (табл. 5.27 [2, с. 80]);

$K_{П.С.}$ – коэффициент, учитывающий тип подвижного состава (табл. 5.29 [2, с. 79]);

$K_{Р}$ – коэффициент, учитывающий списочное число автомобилей (табл. 5.28 [2, с. 79]);

$K_{РАЗ}$ – коэффициент, учитывающий разномарочность подвижного состава (табл. 5.30 [2, с. 79]).

Таблица 5.27

Удельные площади складских помещений на 1 млн. км пробега, м²

| Складские помещения | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| Запасных частей | 1,6 | 3,0 | 3,5 | 0,9 |
| Агрегатов | 2,5 | 6,0 | 5,5 | - |
| Материалов | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 0,6 |
| Шин | 1,5 | 3,2 | 2,3 | 1,7 |
| Смазочных материалов (с насосной) | 2,6 | 4,3 | 3,5 | - |
| Лакокрасочных материалов | 0,6 | 1,5 | 1,0 | 0,4 |
| Химикатов | 0,15 | 0,25 | 0,25 | - |
| Инструментально-раздаточная кладовая | 0,15 | 0,25 | 0,25 | - |
| Промежуточный склад | 15-20% от суммы площадей складов запасных частей и агрегатов | | | |

Таблица 5.28

Значения коэффициента, учитывающего списочное число автомобилей

| Списочное число автомобилей, ед | K_P |
|---------------------------------|-------|
| До 100 | 1,4 |
| Свыше 100 до 200 | 1,2 |
| Свыше 200 до 300 | 1,0 |
| Свыше 300 до 500 | 0,9 |
| Свыше 500 до 700 | 0,8 |

Таблица 5.29

Значения коэффициента, учитывающего тип подвижного состава

| Тип АТС | $K_{П.С.}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Автомобили легковые: особо малого и малого классов среднего класса | 0,7 1,0 |
| Автобусы: особо малого класса малого класса среднего класса большого класса особо большого класса | 0,3 0,6 0,8 1,0 1,6 |
| Автомобили грузовые: особо малой и малой грузоподъемности средней грузоподъемности большой грузоподъемности автомобили-самосвалы внедорожные (БелАЗы) | 0,4 0,8 1,0-1,5 2,6 |

Таблица 5.30

Значения коэффициента, учитывающего разномарочность
подвижного состава

| Количество моделей автомобилей на АТП | K_{PA3} |
|---------------------------------------|-----------|
| 1 | 1,0 |
| 2 | 1,2 |
| 3 | 1,3 |
| более 3 | 1,5 |

- Расчет площадей складских помещений по хранимому запасу

Площадь склада рассчитывают по формуле

$$F_{СК} = f_{об} \cdot K_{П(СК)}, [2, с. 80] \quad (5.82)$$

где $f_{об}$ – площадь, занимаемая оборудованием, m^2 ;

$K_{П(СК)}$ – коэффициент плотности расстановки складского оборудования ($K_{П(СК)} = 2,5$).

Запас смазочных материалов определяют по формуле

$$Z_M = 0,01 \cdot G_{СУТ} \cdot q_M \cdot D_3, л [2, с. 80] \quad (5.83)$$

где $G_{СУТ}$ – суточный расход топлива, л;

q_M – норма расхода смазочных материалов на 100 л расхода топлива (табл. 5.32 [2, с. 81]);

D_3 – число дней запаса (принимают $D_3 = 15$ дн.).

$$G_{СУТ} = G_L + G_T, л [2, с. 80] \quad (5.84)$$

где G_L – расход топлива на линии, л;

G_T – расход топлива на внутригаражное маневрирование и технические надобности, л.

$$G_L = 0,01 \cdot A_{сн} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_T \cdot H_L, л \quad (5.85)$$

где $H_{Л}$ – линейный расход топлива для заданного автомобиля, л/100 км.

$$G_T = 0,005 \cdot G_{Л}, \text{ л} \quad (5.86)$$

Определив запасы для каждого вида смазочных материалов, подбирают цистерны и баки для свежих и отработавших масел (табл. 5.31[4, с. 31])и определяют площадь, занимаемую этим оборудованием, и площадь склада.

Таблица 5.31

Резервуары для нефтепродуктов по ГОСТ 10032–71

| Вместимость, м ³ | Габаритные размеры в плане, мм |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 3 | 2000×1400 |
| 5 | 2000×1800 |
| 10 | 3310×2220 |
| 25 | 4830×2760 |

Таблица 5.32

Нормы расхода смазочных материалов

| Материалы | Норма расхода на 100 л топлива для автомобилей и автобусов, работающих на | |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| | бензине и сжиженном газе | дизельном топливе |
| Моторные масла, л | 2,4 | 3,2 |
| Трансмиссионные масла, л | 0,3 | 0,4 |
| Специальные, л | 0,1 | 0,1 |
| Пластичные (консистентные смазки), кг | 0,2 | 0,3 |

Примечания. 1. Для автомобилей и автобусов, находящихся в эксплуатации менее 3 лет, норма расхода масел и смазок снижается на 50%, а при эксплуатации более 8 лет может быть увеличена в пределах до 20%.
 2. Для автомобилей ВАЗ норма расхода моторного масла устанавливается в размере 0,8 л независимо от срока службы автомобиля. 3. Для автобусов с гидромеханической трансмиссией норма расхода специальных масел увеличена до 0,3 л. 4. Объем отработавших масел принимается в размере 15% от расхода свежих масел.

Запас покрышек или камер на складе шин

$$Z_{Ш} = \frac{A_{сн} \cdot \alpha_T \cdot l_{сс} \cdot X_K \cdot D_{3(u)}}{0,5 \cdot (L_H + L_B)}, \text{ шт.} \quad (5.87)$$

где X_K – число колес автомобиля без запасного, шт.;

$D_{3(ш)}$ – число дней запаса шин (принимают $D_{3(ш)} = 15$ дн.);

L_H – пробег новых шин, км (табл. 5.33);

L_B – пробег восстановленных шин, км (табл. 5.33).

Длина стеллажей для хранения покрышек

$$l_{СТ} = \frac{3Ш}{П}, \text{ м [2, с. 81]} \quad (5.88)$$

где $П$ – число покрышек на 1 погонный метр стеллажа (при двухъярусном хранении $П=6 - 10$).

Ширина стеллажа $b_{СТ}$ определяется размером покрышки.

Площадь, занимаемую стеллажами определяют по формуле

$$f_{об} = l_{СТ} \cdot b_{СТ}, \text{ м}^2 \quad (5.89)$$

Таблица 5.33

Нормативные пробеги новых и восстановленных шин

| Тип АТС | L_H , км | L_B , км |
|---------------------|------------|------------|
| Легковые автомобили | 33000 | 20000 |
| Грузовые автомобили | 45000 | 24000 |
| Автобусы | 60000 | 32000 |

Запас запасных частей, металлов и прочих материалов рассчитывают по формуле

$$G_i = \frac{A_{сн} \cdot \alpha_T \cdot l_{сч} \cdot a \cdot G_a \cdot D_{3(з.ч.)}}{10^6}, \text{ кг [2, с. 81]} \quad (5.90)$$

где a – средний процент расхода запасных частей, металлов и других материалов от массы автомобиля на 10 тыс. км пробега (табл. 5.34 [2, с. 82]);

G_a – снаряженная масса автомобиля, кг;

$D_{3(з.ч.)}$ – число дней запаса запасных частей (принимают $D_{3(з.ч.)} = 30$ дн.).

Запас агрегатов определяют по формуле

$$G_{a2} = \frac{A_{cn}}{100} K_{a2} \cdot q_{a2}, \text{ кг [2, с. 82]} \quad (5.91)$$

где K_{a2} – число агрегатов на 100 автомобилей одной марки [1];
 q_{a2} – масса агрегата, кг.

Таблица 5.34

Примерный расход запасных частей, металлов и материалов в процентах от массы автомобиля на 10 тыс. км пробега

| Объект хранения | Автомобили | | Автобусы |
|----------------------------------|------------|----------|----------|
| | грузовые | легковые | |
| Запасные части | 1,0-1,5 | 2,5-5,0 | 1,0-2,0 |
| Металлы и металлические изделия | 1,0-1,5 | 0,7-1,3 | 0,8-2,0 |
| Лакокрасочные изделия и химикаты | 0,15-0,3 | 0,5-1,0 | 0,15-0,4 |

Площадь пола, занимаемая стеллажами для хранения запасных частей, агрегатов, материалов и металлов

$$f_{об} = \frac{G_i}{g}, \text{ м}^2 \text{ [2, с. 82]} \quad (5.92)$$

где G_i – масса объектов хранения, кг;
 g – допускаемая нагрузка на 1 м² занимаемой стеллажом площади, кг/м² (для запасных частей $g = 600$ кг/м²; агрегатов – 500 кг/м²; металла – 600–700 кг/м²).

5.5.5. Расчет площади зоны хранения автомобилей

При укрупненных расчетах площадь зоны хранения рассчитывают по формуле

$$F_{CT} = f_a \cdot A_{cm} \cdot K_{П(CT)}, \text{ м}^2 \text{ [2, с. 82]} \quad (5.93)$$

где A_{cm} – число автомобиле-мест хранения;
 $K_{П(CT)}$ – коэффициент плотности расстановки автомобиле-мест хранения ($K_{П(CT)} = 2,5 - 3,0$).

В зависимости от организации хранения подвижного состава

ва на АТП автомобиле-места могут быть закреплены за определенными автомобилями либо обезличены.

Число автомобиле-мест хранения при закреплении их за автомобилями соответствует списочному составу парка, т. е.

$$A_{cm} = A_{cn}, [2, \text{с. 83}] \quad (5.94)$$

При обезличенном хранении автомобилей число автомобиле-мест

$$A_{cm} = A_{cn} - X_{TP} - X_{TO-1} - X_{TO-2} - X_{OЖ} - A_{KP} - A_{Л}, [2] \quad (5.95)$$

где $X_{OЖ}$ – число постов ожидания (см. п. 5.3.5);

A_{KP} – число автомобилей, находящихся в КР, ед.;

$A_{Л}$ – среднее число автомобилей, постоянно отсутствующих на предприятии, ед.

5.5.6. Расчет площадей вспомогательных помещений

Вспомогательные помещения (административные, общественные, бытовые) являются объектом архитектурного проектирования.

На стадии технико-экономического обоснования и предварительных расчетов ориентировочно общая площадь вспомогательных помещений может быть определена по графику, приведенному на рис. 5.3 или по формуле

$$F_B = (0,05..0,12)(F_{CT} + F_{TO-1} + F_{TO-2} + \sum F_Y + F_{TP} + F_{CK}), \text{м}^2 \quad (5.96)$$

где $\sum F_Y$ – суммарная площадь участков, м².

Площадь гардеробной:

$$F_G = 0,25(\sum P_{ш} + P_{ВОД}), \text{м}^2 \quad (5.97)$$

где $\sum P_{ш}$ – суммарная численность штатных рабочих, чел.

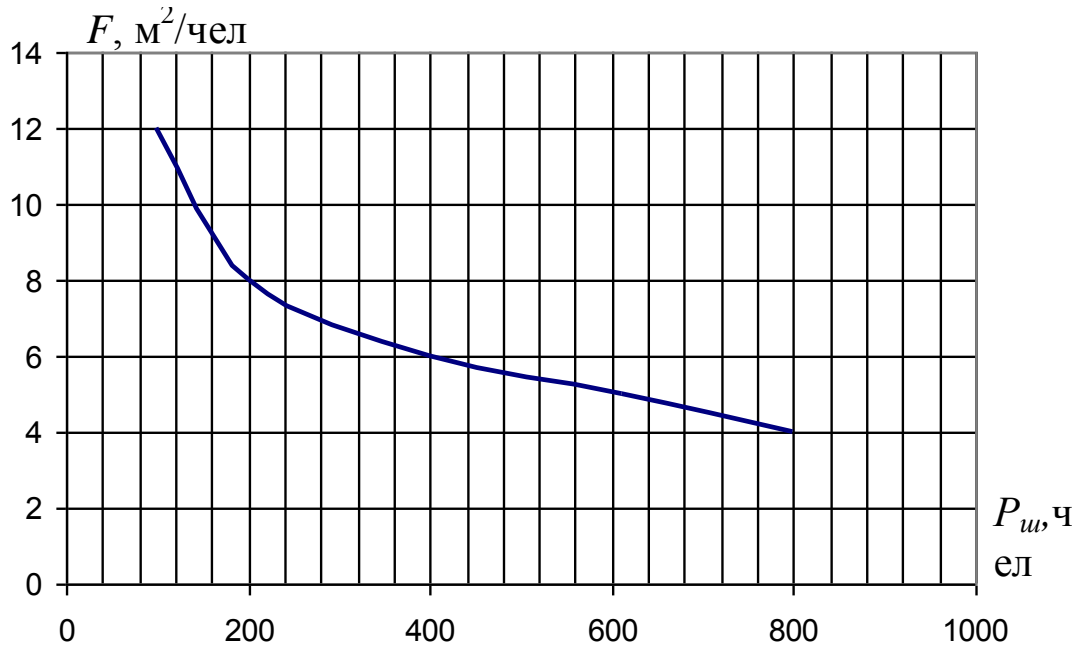


Рис. 5.3. Зависимость удельной площади вспомогательных помещений от числа работающих [2, с. 83]

Площадь душевой

$$F_{Д} = 0,1(\sum P_{ш} + 0,05P_{ВОД}), \text{ м}^2 \quad (5.98)$$

Площадь туалета

$$F_{Т} = \frac{(\sum P_{ш} + 0,25P_{ВОД})}{30}, \text{ м}^2 \quad (5.99)$$

5.5.7. Определение площади главного производственного корпуса

Площадь главного производственного корпуса определяется как сумма площадей зон ТО, ТР, диагностики, участков и складских помещений, а также некоторых вспомогательных помещений по формуле

$$F_{ГПК} = \sum F_{ТО} + \sum F_{Д} + \sum F_{ТР} + \sum F_{У} + \sum F_{СК} + \\ + F_{Г} + F_{Д} + F_{Т}, \text{ м}^2 \quad (5.100)$$

5.5.8. Определение площади административно-бытового корпуса

Административно-бытовые помещения могут размещаться в отдельном здании или в корпусе, примыкающем к производственным помещениям. В основу планировки отдельно стоящих и пристроенных административно-бытовых помещений положена сетка колонн $(6+6) \times 6$, $(6+3+6) \times 6$ и $(6+6+6) \times 6$ м с высотой этажей 3,0 или 3,3 м при числе этажей не более четырех.

Отдельно стоящие здания ухудшают связи между помещениями предприятия и вызывают необходимость дублирования бытовых и других помещений.

При укрупненных расчетах площадь административно-бытового корпуса может быть определена по формуле

$$F_{АБК} = 0,2 \cdot F_{ГПК}, \text{ м}^2 \quad (5.101)$$

5.5.9. Определение площади генерального плана АТП

Площадь генерального плана определяют по формуле

$$F_{ГП} = \frac{F_{ГПК} + F_{АБК} + F_{СТ} + F_{В}}{K_3 \cdot 10^{-2}}, \text{ м}^2 \quad (5.102)$$

где K_3 – плотность застройки территории, % (табл. 5.34 [2, с. 125]).

Таблица 5.35

Плотность застройки территории

| Тип автомобилей на АТП | Количество автомобилей на АТП, ед | K_3 , % |
|------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Грузовые | До 300 | 45 |
| | От 300 до 500 | 50 |
| Автобусы | До 300 | 50 |
| | От 300 до 500 | 55 |
| | Более 500 | 60 |
| Легковые автомобили | До 500 | 52 |
| | От 500 до 800 | 55 |
| | От 800 до 1000 | 56 |
| | Более 1000 | 58 |

Указанную плотность застройки допускается уменьшать, но

не более чем на 10% при наличии соответствующих технико-экономических обоснований, в том числе при расширении и реконструкции предприятия.

Площадь озеленения должна составлять не менее 15% площади предприятия и не менее 10% при плотности более 50%.

5.6. Технологическая карта

Время каждой операции определяют нормированием с учетом типовых технологических карт. При отсутствии последних время устанавливается путем хронометража на рабочем посту.

В курсовых проектах технологические карты (кроме операционных) могут составляться также на:

- Специализированный пост ТО (постовая карта);
- Пост диагностирования (карта диагностирования);
- Определенный вид работ ТО, ТР.

Формулировка операций и переходов в технологической карте должна указываться в строгой технологической последовательности, кратко, глаголы ставятся в повелительном наклонении, например: «Расшплинтовать», «Отвернуть контргайку» и т.д. Технологическую карту выполняют в виде табл. 5.36.

Таблица 5.36

Технологическая карта

| Наименование операций | Количество мест или точек обслуживания | Оборудование и инструмент | Норма времени, мин | Технические требования и указания |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| <i>i.</i> | | | | |

Список рекомендуемой литературы

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 56 с.
2. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.
3. Табель технологического оборудования и специализированного инструмента для автотранспортных предприятий и баз централизованного технического обслуживания автомобилей Минавтотранса РСФСР. – М.: Минавтотранс РСФСР, 1975. – 62 с.
4. Афанасьев Л. Л. Гаражи и станции технического обслуживания автомобилей: Альбом чертежей / Л. Л. Афанасьев, В. С. Колясинский, А. А. Маслов. – М.: Транспорт, 1980. – 218 с.
5. Епифанов Л. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / Л. И. Епифанов, Е. А. Епифанова. – М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2001. – 280 с.
6. Сарбаев В. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: механизация и экологическая безопасность производственных процессов / В. И. Сарбаев, С. С. Селиванов, В. Н. Коноплев. – Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 448 с.

Приложение 1

Варианты заданий на выполнение расчетно-пояснительной записки курсового проекта

| № варианта | Марка автомобиля | $A_{сн}$, ед. | | Распределение $A_{сн}$ по пробегу в долях от нормативного пробега до капитального ремонта | | | | | $l_{сс}$, км | КУЭ | Климат |
|------------|------------------|----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|-----|-------------------|
| | | всего | $A_{кр}$ | <0,25 | 0,25-0,5 | 0,5-0,75 | 0,75-1,0 | 1,0-1,25 | | | |
| 1 | ГАЗ-3110 | 191 | 10 | 42 | 4 | 100 | 35 | 10 | 400 | I | Умеренный |
| 2 | КамАЗ-5511 | 186 | 8 | 34 | 36 | 80 | 28 | 8 | 200 | II | |
| 3 | КамАЗ-5320 | 174 | 6 | 25 | 27 | 95 | 21 | 6 | 180 | II | |
| 4 | ВАЗ-2105 | 188 | 8 | 31 | 33 | 90 | 26 | 8 | 350 | III | |
| 5 | ВАЗ-2107 | 166 | 6 | 24 | 26 | 90 | 20 | 6 | 320 | IV | |
| 6 | ПАЗ-3205 | 214 | 10 | 38 | 40 | 94 | 32 | 10 | 450 | V | Умеренно-теплый |
| 7 | ЛиАЗ-5256 | 150 | 5 | 22 | 24 | 81 | 18 | 5 | 420 | III | |
| 8 | ГАЗ-31029 | 213 | 9 | 36 | 38 | 100 | 30 | 9 | 400 | IV | |
| 9 | ИЖ-2126 | 223 | 8 | 32 | 34 | 122 | 27 | 8 | 310 | I | |
| 10 | МАЗ-5551 | 207 | 7 | 30 | 32 | 113 | 25 | 7 | 180 | II | |
| 11 | МАЗ-5337 | 166 | 6 | 24 | 26 | 90 | 20 | 6 | 190 | I | Жаркий сухой |
| 12 | ЗИЛ-4331 | 174 | 6 | 25 | 27 | 95 | 21 | 6 | 210 | II | |
| 13 | Урал-4320 | 207 | 7 | 30 | 32 | 113 | 25 | 7 | 200 | II | |
| 14 | КрАЗ-6510 | 193 | 9 | 36 | 38 | 80 | 30 | 9 | 180 | III | |
| 15 | УАЗ-3151 | 158 | 5 | 23 | 25 | 86 | 19 | 5 | 350 | IV | |
| 16 | ВАЗ-2121 | 166 | 6 | 24 | 26 | 90 | 20 | 6 | 340 | V | Умеренно-холодный |
| 17 | УАЗ-2206 | 150 | 5 | 22 | 24 | 81 | 18 | 5 | 360 | III | |
| 18 | ЛАЗ-4202 | 166 | 6 | 24 | 26 | 90 | 20 | 6 | 500 | IV | |
| 19 | Икарус-260 | 126 | 5 | 18 | 20 | 68 | 15 | 5 | 420 | I | |
| 20 | КамАЗ-55102 | 193 | 9 | 36 | 38 | 80 | 30 | 9 | 310 | II | |

Продолжение приложения 1

| № варианта | Марка автомобиля | $A_{сн}$, ед. | | Распределение $A_{сн}$ по пробегу в долях от нормативного пробега до капитального ремонта | | | | | $l_{сс}$, км | КУЭ | Климат |
|------------|------------------|----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|-----|-----------------|
| | | все-го | $A_{кр}$ | <0,25 | 0,25-0,5 | 0,5-0,75 | 0,75-1,0 | 1,0-1,25 | | | |
| 21 | ЛАЗ-697М | 150 | 4 | 18 | 45 | 68 | 15 | 4 | 480 | II | Холодный |
| 22 | ЛиАЗ-677 | 170 | 5 | 20 | 51 | 77 | 17 | 5 | 400 | II | |
| 23 | УАЗ-2206 | 205 | 9 | 36 | 90 | 40 | 30 | 9 | 320 | III | |
| 24 | МАЗ-5551 | 223 | 7 | 30 | 75 | 86 | 25 | 7 | 210 | IV | |
| 25 | МАЗ-5337 | 200 | 6 | 24 | 60 | 90 | 20 | 6 | 220 | V | |
| 26 | ЗИЛ-4331 | 220 | 7 | 26 | 66 | 99 | 22 | 7 | 250 | III | Очень холодный |
| 27 | Урал-4320 | 230 | 6 | 28 | 69 | 104 | 23 | 6 | 240 | IV | |
| 28 | КрАЗ-6510 | 187 | 6 | 24 | 60 | 77 | 20 | 6 | 230 | I | |
| 29 | ГАЗ-3110 | 230 | 9 | 37 | 93 | 60 | 31 | 9 | 370 | II | |
| 30 | КамАЗ-5511 | 194 | 7 | 29 | 72 | 62 | 24 | 7 | 200 | I | |
| 31 | КамАЗ-5320 | 206 | 6 | 28 | 69 | 80 | 23 | 6 | 230 | II | Умеренно-теплый |
| 32 | ВАЗ-2105 | 200 | 6 | 24 | 60 | 90 | 20 | 6 | 340 | II | |
| 33 | ВАЗ-2107 | 200 | 6 | 24 | 60 | 90 | 20 | 6 | 350 | III | |
| 34 | ПАЗ-3205 | 170 | 5 | 20 | 51 | 77 | 17 | 5 | 480 | IV | |
| 35 | ЛиАЗ-5256 | 150 | 4 | 18 | 45 | 68 | 15 | 4 | 520 | V | |
| 36 | ГАЗ-31029 | 172 | 6 | 28 | 69 | 46 | 23 | 6 | 300 | III | Жаркий сухой |
| 37 | ИЖ-2126 | 190 | 5 | 23 | 57 | 86 | 19 | 5 | 320 | IV | |
| 38 | МАЗ-5551 | 170 | 5 | 20 | 51 | 77 | 17 | 5 | 230 | I | |
| 39 | МАЗ-5337 | 184 | 7 | 30 | 75 | 47 | 25 | 7 | 240 | II | |
| 40 | ВАЗ-2104 | 196 | 5 | 25 | 62 | 83 | 21 | 5 | 340 | I | |

Продолжение приложения 1

| № варианта | Марка автомобиля | $A_{сн}$, ед. | | Распределение $A_{сн}$ по пробегу в долях от нормативного пробега до капитального ремонта | | | | | $l_{сс}$, км | КУЭ | Климат |
|------------|------------------|----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------|-----|-----------------|
| | | все-го | $A_{кр}$ | <0,25 | 0,25-0,5 | 0,5-0,75 | 0,75-1,0 | 1,0-1,25 | | | |
| 41 | ЗИЛ-4331 | 190 | 5 | 23 | 57 | 86 | 19 | 5 | 205 | III | Холодный |
| 42 | Урал-4320 | 214 | 6 | 28 | 69 | 88 | 23 | 6 | 230 | IV | |
| 43 | КрАЗ-6510 | 201 | 7 | 29 | 72 | 69 | 24 | 7 | 190 | V | |
| 44 | УАЗ-3151 | 180 | 5 | 22 | 54 | 81 | 18 | 5 | 330 | III | |
| 45 | ВАЗ-2121 | 185 | 5 | 22 | 56 | 83 | 19 | 5 | 300 | IV | |
| 46 | УАЗ-2206 | 175 | 4 | 21 | 53 | 79 | 18 | 4 | 250 | I | Очень холодный |
| 47 | ЛАЗ-4202 | 187 | 6 | 22 | 56 | 84 | 19 | 6 | 540 | II | |
| 48 | Икарус-260 | 190 | 5 | 23 | 57 | 86 | 19 | 5 | 500 | I | |
| 49 | КамАЗ-55102 | 200 | 6 | 24 | 60 | 90 | 20 | 6 | 280 | II | |
| 50 | ГАЗ-3110 | 180 | 8 | 32 | 81 | 32 | 27 | 8 | 370 | II | |
| 51 | КамАЗ-5511 | 177 | 8 | 34 | 86 | 20 | 29 | 8 | 200 | III | Умеренно-теплый |
| 52 | КамАЗ-5320 | 197 | 6 | 28 | 69 | 71 | 23 | 6 | 250 | IV | |
| 53 | ВАЗ-2105 | 188 | 9 | 36 | 90 | 23 | 30 | 9 | 340 | V | |
| 54 | ВАЗ-2107 | 192 | 8 | 31 | 78 | 49 | 26 | 8 | 360 | III | |
| 55 | ПАЗ-3205 | 205 | 7 | 29 | 72 | 73 | 24 | 7 | 480 | IV | |
| 56 | ЛиАЗ-5256 | 155 | 3 | 19 | 47 | 70 | 16 | 3 | 440 | I | Умеренный |
| 57 | ЛАЗ-697М | 165 | 4 | 20 | 50 | 74 | 17 | 4 | 460 | II | |
| 58 | ЛиАЗ-677 | 170 | 5 | 20 | 51 | 77 | 17 | 5 | 450 | I | |
| 59 | ГАЗ-31029 | 187 | 8 | 34 | 84 | 33 | 28 | 8 | 390 | II | |
| 60 | МАЗ-5551 | 189 | 6 | 24 | 60 | 79 | 20 | 6 | 210 | IV | |

Приложение 2

Варианты заданий на выполнение графической части курсового проекта

| № варианта | Наименование зоны | Наименование участка | Конфигурация главного производственного корпуса | Конфигурация генерального плана АТП |
|------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | ТО-1 | Агрегатный | | |
| 2 | ТО-2 | Слесарно-механический | | |
| 3 | ТР | Электротехнический | | |
| 4 | Д-1 | Аккумуляторный | | |
| 5 | Д-2 | Ремонт приборов СП | | |
| 6 | ТО-1 | Шиномонтажный | | |
| 7 | ТО-2 | Вулканизационный | | |
| 8 | ТР | Кузнечно-рессорный | | |
| 9 | Д-1 | Сварочный | | |
| 10 | Д-2 | Медницкий | | |
| 11 | ТО-1 | Жестяницкий | | |
| 12 | Д-1 | Слесарно-механический | | |
| 13 | Д-2 | Аккумуляторный | | |
| 14 | ТО-1 | Обойный | | |
| 15 | ТО-2 | Малярный | | |
| 16 | ТР | Вулканизационный | | |
| 17 | Д-1 | Кузнечно-рессорный | | |
| 18 | Д-1 | Сварочный | | |
| 19 | Д-2 | Медницкий | | |
| 20 | ТО-1 | Жестяницкий | | |
| 21 | ТО-2 | Агрегатный | | |
| 22 | ТР | Малярный | | |
| 23 | Д-1 | Обойный | | |
| 24 | Д-2 | Малярный | | |
| 25 | ТО-1 | Слесарно-механический | | |
| 26 | ТО-2 | Электротехнический | | |
| 27 | ТР | Аккумуляторный | | |
| 28 | Д-1 | Ремонт приборов СП | | |
| 29 | Д-2 | Шиномонтажный | | |
| 30 | ТО-1 | Вулканизационный | | |

Продолжение приложения 2

| № варианта | Наименование зоны | Наименование участка | Конфигурация главного производственного корпуса | Конфигурация генерального плана АТП |
|------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 31 | Д-2 | Аккумуляторный | | |
| 32 | ТО-1 | Сварочный | | |
| 33 | Д-1 | Обойный | | |
| 34 | Д-2 | Малярный | | |
| 35 | ТО-1 | Слесарно-механический | | |
| 36 | ТО-2 | Электротехнический | | |
| 37 | ТР | Аккумуляторный | | |
| 38 | Д-1 | Ремонт приборов СП | | |
| 39 | Д-1 | Шиномонтажный | | |
| 40 | Д-2 | Вулканизационный | | |
| 41 | ТО-1 | Сварочный | | |
| 42 | ТО-2 | Медницкий | | |
| 43 | ТР | Шиномонтажный | | |
| 44 | Д-1 | Обойный | | |
| 45 | Д-2 | Малярный | | |
| 46 | ТО-2 | Вулканизационный | | |
| 47 | ТР | Кузнечно-рессорный | | |
| 48 | Д-1 | Сварочный | | |
| 49 | Д-1 | Медницкий | | |
| 50 | Д-2 | Жестяницкий | | |
| 51 | ТО-1 | Слесарно-механический | | |
| 52 | ТО-2 | Агрегатный | | |
| 53 | ТР | Обойный | | |
| 54 | Д-1 | Малярный | | |
| 55 | Д-2 | Слесарно-механический | | |
| 56 | ТО-1 | Электротехнический | | |
| 57 | ТО-2 | Аккумуляторный | | |
| 58 | ТР | Агрегатный | | |
| 59 | Д-1 | Шиномонтажный | | |
| 60 | Д-2 | Вулканизационный | | |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составители
А. Г. Кульпин
Е. Е. Кульпина

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И УСТРОЙСТВА
ДВИГАТЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

**Методические указания к лабораторной работе
для бакалавров очной формы обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов», в качестве электронного
издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Цыганков Д. В. – кандидат химических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей

Подгорный А. И. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Кульпин Александр Геннадьевич

Кульпина Евдокия Евгеньевна

Особенности конструкции и устройства двигателей карьерных автосамосвалов [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы конструкции и расчет карьерного транспорта» для бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной формы обучения / сост. : А. Г. Кульпин, Е. Е. Кульпина. – Кемерово : КузГТУ, 2016. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 256 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены методика расчета и примерные оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации.

© КузГТУ, 2016
© Кульпин А. Г.,
Кульпина Е. Е.,
составление, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ..... | 3 |
| 2. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ | 3 |
| 2.1. Шатунно-поршневая группа | 3 |
| 2.2. Коленчатый вал двигателя ЯМЗ-240..... | 6 |
| 2.3. Поршни двигателей семейства РАЧ-185 | 7 |
| 2.4. Шатунный механизм двигателей семейства 12ЧН1А26/26 ... | 8 |
| 2.5. Поршень двигателей 12ЧН1А26/26 | 10 |
| 3. ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЕЙ..... | 11 |
| 4. СИСТЕМА СМАЗКИ..... | 13 |
| 5. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ..... | 19 |
| 6. ПРОЧИЕ СИСТЕМЫ | 22 |
| 6.1. Реле скорости РС-3М..... | 22 |
| 6.2. Система защиты двигателя | 23 |
| 6.3. Антивибратор комбинированный | 25 |
| 6.4. Индикаторный кран | 27 |
| 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ..... | 28 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 29 |

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепление знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Основы конструкции и расчета карьерного транспорта».

2. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

2.1. Шатунно-поршневая группа

Шатуны изготовлены штамповкой из высококачественной хромоникельмолибденовой стали, поверхность шатуна полирована. Нижняя головка шатуна разъемная, в нее устанавливаются вкладыши 21 и 22 (рис. 1) шатунного подшипника. Стык крышки 23 шатуна с нижней головкой шатуна 20 осуществляется по треугольным шлицам. От осевого смещения крышка фиксируется штифтом 1. Вкладыши к расточенному отверстию в шатуне должны прилегать равномерно на площади не менее 80 % поверхности.

Крышка крепится к стержню шатуна четырьмя болтами М20. В расточке нижней головки шатуна имеется фрезерованная канавка, в которую попадает масло, перепускаемое через отверстия во вкладышах из отверстий в шатунной шейке. Непрерывность подачи масла обеспечивается соответствующим расположением каналов в шейке коленчатого вала, отверстий и канавок на вкладышах шатунного подшипника. Из канавки масло поступает в канал, расположенный в стержне шатуна, и далее подводится к верхней головке шатуна для охлаждения поршня. Для фиксации вкладышей в расточке шатуна установлен один штифт. Овальное отверстие находится в нижнем вкладыше (со стороны крышки). Шатунные вкладыши взаимозаменяемые. В верхнюю головку шатуна запрессована биметаллическая втулка. Втулки подбирают селективным методом. В отверстии под втулку проточена канавка для прохода по ней масла. Внутренний диаметр втулки обработан под окончательный размер в сборе с шатуном и покрыт тонким слоем свинца.

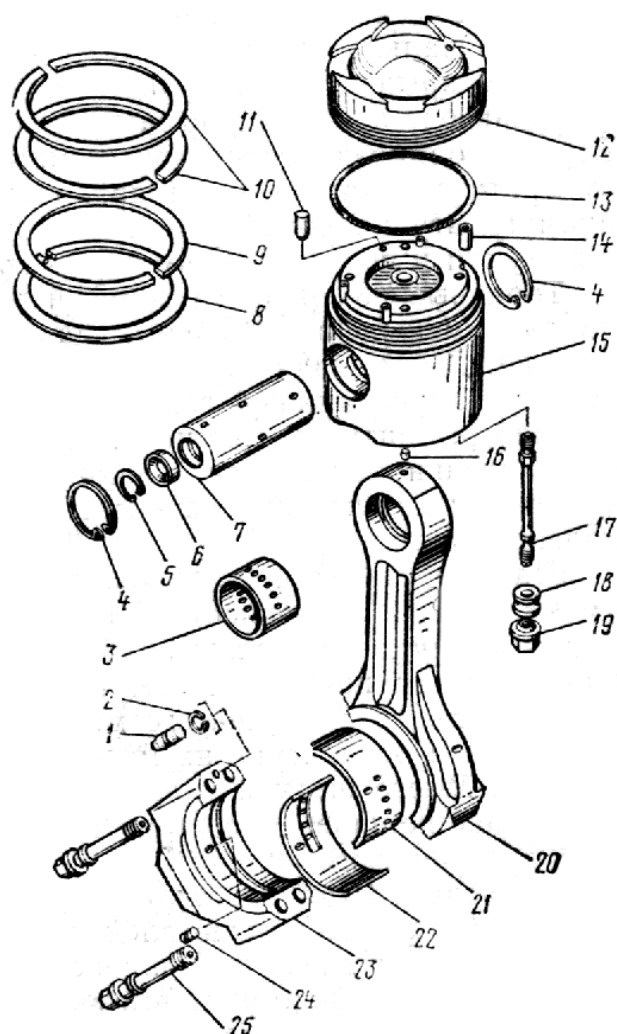


Рисунок 1 – Шатун и поршень двигателей семейства ДМ-21:

1, 11 – штифты; 2, 4, 5, 13 – кольца; 6, 16 – заглушки;
 7 – поршневой палец; 8 – маслосъемное кольцо; 9 – кольцо
 уплотнительное; 10 – кольцо компрессионное; 12 – головка
 поршня; 15 – тронк; 17 – шпилька; 19 – гайка; 20 – шатун;
 21 – вкладыш шатуна; 22 – вкладыш крышки;
 23 – крышка шатуна; 25 – болт шатунный

Торцовые поверхности верхней головки обработаны наклонно для уменьшения удельных давлений на втулку и бобышки поршня. Для подачи смазки к пальцу 7 во втулке имеются отверстия. Торец нижней головки, имеющий большее выступание (от центра шатуна), должен быть обращен в сторону опорного бурта шейки коленчатого вала. Шатуны взаимозаменяемые (правый с левым) при перевертывании их на 180° вокруг продольной оси.

Шатуны, крышки шатунов, вкладыши и шатунные болты имеют клейма спаренности. Шатуны маркируются также и номером цилиндра. С целью подбора комплекта деталей шатунно-поршневой группы по массе, на каждом шатуне маркируется действительная величина его массы (при изготовлении шатунов допускается отклонение их массы от номинального значения на ± 30 грамм). Масса шатуна указывается без массы вкладыша.

Поршневая группа состоит из поршня, поршневых колец 5, 9, 10 и поршневого пальца 7.

Поршень составной, охлаждаемый, состоит из тронка 15, головки 12, крепежных деталей и деталей для перепуска масла. По наружному диаметру поршень имеет сложную (овально-бочкообразную) форму. В выемках между тронком и головкой образуются полости, через которые циркулирует масло, охлаждающее поршень. Масло по каналам вначале поступает в кольцевую полость, расположенную вблизи поршневых колец, а затем в центральную полость, откуда сливается внутрь поршня в блок-картер.

Головка крепится к тронку поршня четырьмя шпильками M14×1,5 с гайками, изготовленными из высококачественной хромоникельмолибденовой стали.

Крепежные детали маркируются по месту их установки. Масляная полость в поршне уплотняется кольцом из тепло- и маслостойкой резины. Головка поршня изготавливается из специальной теплостойкой стали, с верхней стороны в ней обработаны камера сгорания и выточки под клапаны, а с нижней стороны – полости для масла и резьбовые отверстия под шпильки.

На боковой поверхности головки проточены три канавки для поршневых колец 9 и 10.

Для выемки поршня (специальным приспособлением) на боковой поверхности камеры сгорания выполнено два углубления.

Поршневые кольца. Два верхних компрессионных кольца одинаковые. Они имеют прямоугольное сечение и изготавливаются из высокопрочного чугуна.

На кольца нанесен тонкий слой прирабочного и антикоррозионного покрытия.

Четвертое кольцо маслосъемное коробчатого типа, с пружинным экспандером, изготовлено из чугуна, и на него нанесено хромовое и антикоррозионное покрытие.

Поршневой палец 7 соединяет поршень с шатуном и передает давление газов в цилиндре через поршень на шатун. Он пустотелый, изготовлен из хромоникелевой высококачественной стали, зацементирован по наружному диаметру, обработан с большой точностью и малой шероховатостью поверхности. От осевых смещений палец зафиксирован стопорными кольцами 4, установленными в отверстиях поршня. Полость пальца уплотнена алюминиевыми заглушками 6, которые застопорены пружинными кольцами 5. Смазка к втулке шатуна поступает под давлением по каналу в стержне шатуна, затем в полость пальца и из полости пальца по каналам идет для охлаждения поршня.

2.2. Коленчатый вал двигателя ЯМЗ-240

Коленчатый вал (рис. 2) стальной, изготовлен методом горячей штамповки. Шейки вала закалены токами высокой частоты. Коленчатый вал имеет семь коренных опор и шесть шатунных шеек. В шатунных шейках есть закрытые заглушками внутренние полости, где масло подвергается дополнительной центробежной очистке.

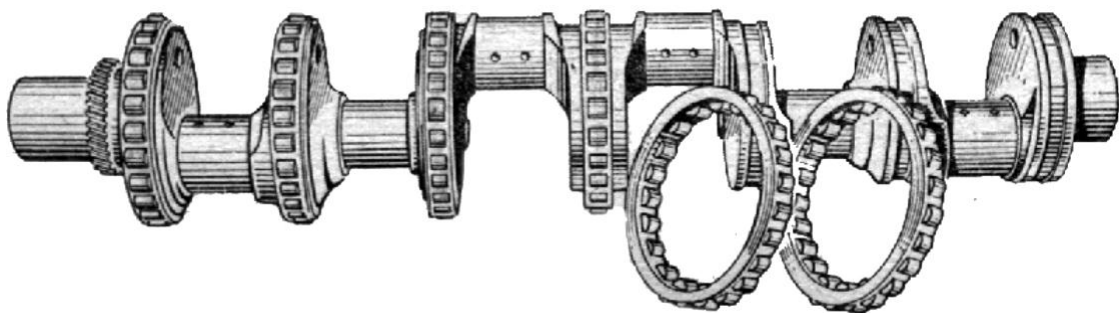


Рисунок 2 – Коленчатый вал ЯМЗ-240

Коренными подшипниками коленчатого вала служат роликовые подшипники качения. Наружные кольца подшипников запрессованы в расточки картерной части блока и от осевых перемещений ограничены стопорными кольцами.

Роликовые подшипники не имеют внутренних колец, ролики работают непосредственно по беговым дорожкам, выполненным на опорных шейках коленчатого вала.

2.3. Поршни двигателей семейства РАЧ-185

В центре поршней двигателей 6РАЧ-185 и 8РАЧ-185 укреплена коническая насадка 1 (рис. 3) при помощи гайки 8 и шести шайб 2, центрированных в стальной втулке 7. Коническая насадка поршня и втулка предкамеры улучшают смесеобразование при ходе поршня.

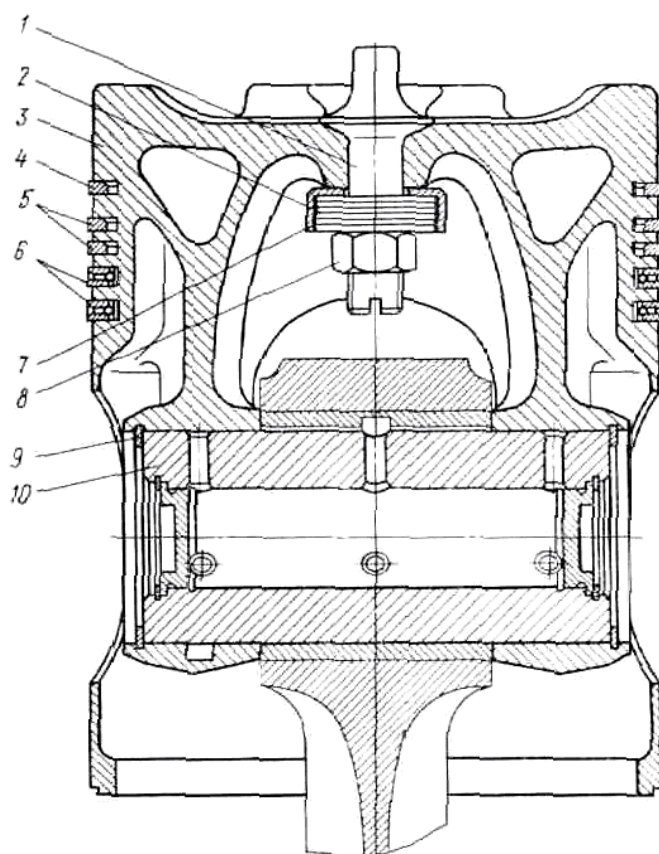


Рисунок 3 – Поршень дизеля РАЧ-185: 1 – коническая насадка; 2 – шайбы; 3 – головка поршня; 4, 5 – компрессионные кольца; 6 – маслосъемные кольца; 7 – втулка; 8 – гайка; 9 – стопорное кольцо; 10 – палец

Для улучшения охлаждения в днище поршня имеется кольцевая полость. Масло подводится от шатуна через поршневой па-

лец и боковое отверстие в поршне. Осевое перемещение пальца ограничивают стопорные кольца 9.

2.4. Шатунный механизм двигателей семейства 12ЧН1А26/26

Шатунный механизм (рис. 4) состоит из главных и прицепных шатунов.

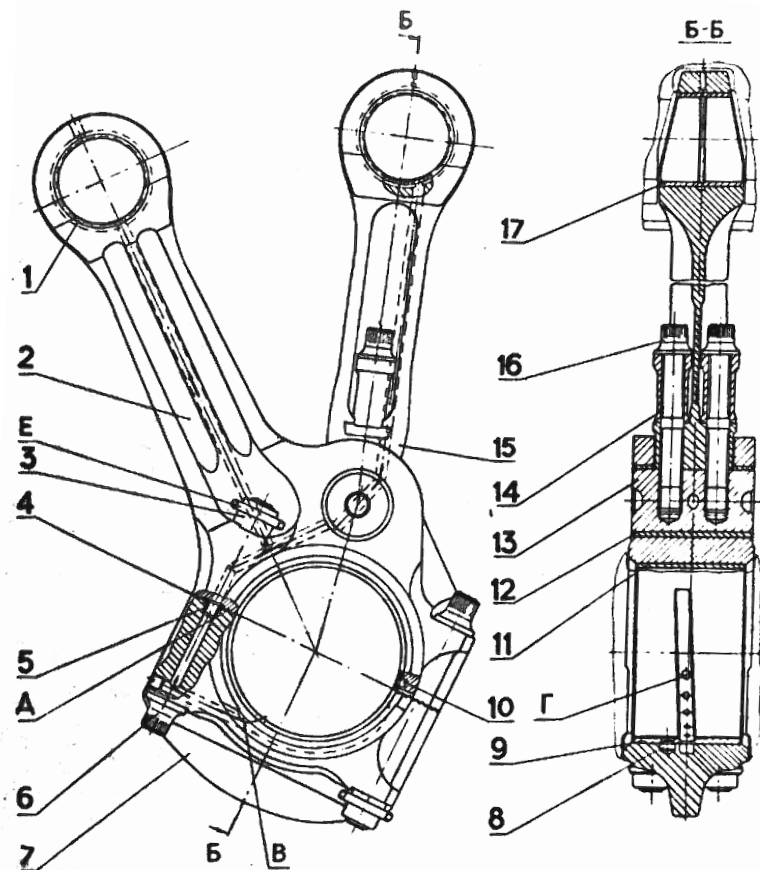


Рисунок 4 – Механизм шатунный: 1, 17 – втулки верхних головок шатунов; 2 – шатун главный; 3 – гайка; 4 – кольцо уплотнительное; 5, 12 – втулки; 6 – болт шатунный; 7 – крышка нижней головки шатунов; 8, 10 – штифты; 9 – вкладыш нижний; 11 – вкладыш верхний; 13 – палец прицепного шатуна; 14 – втулка проставочная; 15 – шатун прицепной; 16 – болт прицепного шатуна; В – канал; Г – отверстие; Д – зубцы; Е – бурт

Прицепной шатун крепится болтами к пальцу, установленному в проушинах главного шатуна.

Поршень составной. Головка к тронку крепится шпильками. В отверстия тронка вставлен палец плавающего типа, застопоренный от осевого перемещения кольцами. Поршни охлаждаются маслом, поступающим из масляной системы дизеля.

Шатунный механизм состоит из главного 2 и прицепного 15 шатунов. Шатуны соединены между собой пальцем 13, который установлен во втулке 12, запрессованной в проушины главного шатуна. Прицепной шатун крепится к пальцу 13 двумя болтами 16 со шлицевыми головками.

В верхние головки обоих шатунов запрессованы стальные втулки 1 и 17, покрытые свинцовистой бронзой. Для подачи масла к поршневому пальцу в средней части каждой втулки имеются каналы с отверстием.

Нижняя головка главного шатуна имеет съемную крышку 7, которая крепится к стержню четырьмя шатунными болтами 6.

Стык нижней головки и крышки 7 имеет зубцы Д трапецеидальной формы, препятствующие поперечному смещению крышки.

В нижнюю головку главного шатуна установлены верхний 11 и нижний 9 стальные тонкостенные вкладыши, залитые свинцовистой бронзой. Рабочая поверхность вкладышей выполнена по гиперболической кривой. Поверхность вкладышей, которыми они опираются на крышку и шатун, покрыты сплавом медь-олово. Вкладыши устанавливаются с гарантированной величиной выступания поверхности стыков, положение их фиксируется штифтами 10 и 8, запрессованными в стержень и крышку.

Величина выступания поверхности стыков вкладыша (в миллиметрах), измеренная в специальном приспособлении, выбита цифрами на торце вкладыша.

Верхний и нижний вкладыши – невзаимозаменяемые. В нижнем вкладыше в отличие от верхнего имеется канавка с отверстиями для перетока масла.

Шатунный подшипник смазывается и охлаждается маслом, поступающим из коренных подшипников через каналы коленчатого вала. По отверстиям Г в нижней крышке и по каналу В, в крышке 7 масло перетекает в канал нижней головки шатуна и по втулке 5, уплотненной кольцом 4, в канал стержня главного

шатуна. Далее часть масла поступает в продольный канал в стержне главного шатуна к втулке 1.

Другая часть масла поступает к втулке 12 и через отверстие в пальце 13 и продольному каналу в стержне прицепного шатуна 15 к втулке 17.

Из верхних головок главного и прицепного шатунов масло поступает на охлаждение поршней.

2.5. Поршень двигателей 12ЧН1А26/26

Поршень состоит из стальной головки 6 (рис. 5) и алюминиевого тронка 11, скрепленных четырьмя шпильками 1 с гайками 17.

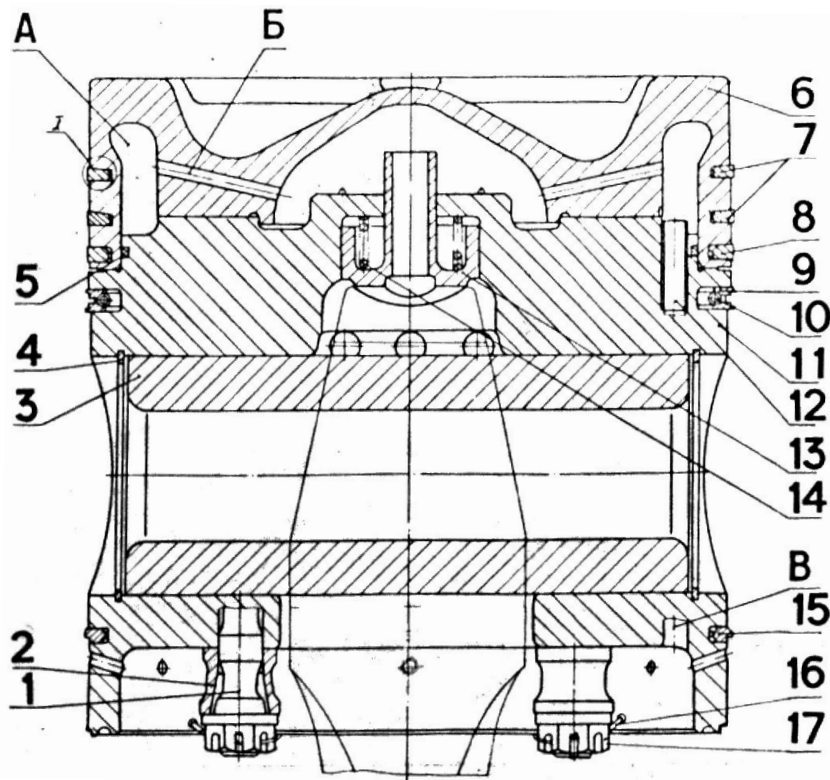


Рисунок 5 – Поршень: 1 – шпилька; 2 – втулка; 3 – палец поршневой; 4 – кольцо стопорное; 5 – кольцо уплотнительное; 6 – головка поршня; 7, 8 – кольца компрессионные; 9, 15 – кольца маслосъемные; 10 – экспандер; 11 – тронк; 12 – трубка; 13 – стакан; 14 – пружина; 16 – проволока; 17 – гайка; А – полость охлаждения; Б – отверстие подвода масла в полость охлаждения; В – канал для слива масла из полости охлаждения

Под гайками установлены втулки 2. Поршень имеет два компрессионных кольца 7 с односторонней трапецией, одно компрессионное (минутное) кольцо 8 и два маслосъемных кольца 9, 15. Кольцо 9 имеет пружинный расширитель 10.

Рабочая поверхность тронка покрыта антифрикционным приработочным покрытием.

В отверстия бобышек тронка установлен поршневой палец 3 плавающего типа. Осевое перемещение пальца ограничивается стопорными кольцами 4.

Головка поршня охлаждается маслом. Из верхней головки шатуна масло поступает в стакан 13, плотно прижатый пружиной 14, и из него по отверстиям Б в полость охлаждения А. Из полости А масло по трубке 12 и по каналам В стекает в картер дизеля.

Резиновое кольцо 5 препятствует вытеканию масла между головкой и тронком.

3. ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЕЙ

Система питания топливом обеспечивает дозирование и подачу топлива в цилиндры дизеля в соответствии с порядком их работы и заданным режимом. Топливная система (рис. 6) состоит из топливоподкачивающего насоса 6, топливного фильтра 7, воздухоотделителя 8, клапана 9 отключения подачи топлива, топливного насоса 10 высокого давления, регулятора, форсунок 11, топливных трубопроводов низкого и высокого давления (топливный бак с дизелем не поставляется).

Некоторое отличие топливных систем дизелей 6ДМ-21, 8ДМ-21 связано с разным количеством цилиндров (разное количество трубок и секций в топливных насосах).

Для повышения надежности остановки дизеля при возникновении аварийного режима работы топливная система оборудована клапаном 9, отключающим подачу топлива в насос высокого давления.

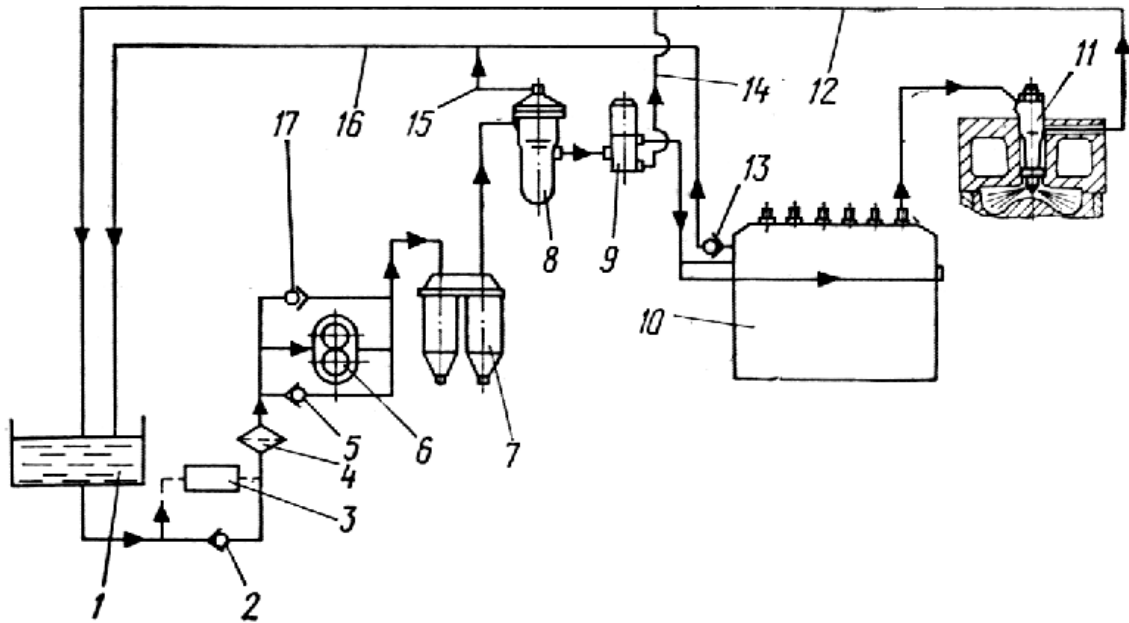


Рисунок 6 – Принципиальная схема топливной системы:

1 – бак топливный; 2 – клапан обратный; 3 – насос топливопрокачивающий; 4 – фильтр грубой очистки; 5 – клапан перепускной; 6 – насос топливоподкачивающий; 7 – фильтр тонкой очистки; 8 – воздухоотделитель; 9 – клапан отключения подачи топлива; 10 – насос топливный; 11 – форсунка; 12 – трубопровод отвода просочившегося топлива из форсунки; 13 – клапан; 14 – трубопровод отвода просочившегося топлива из клапана отключения подачи топлива; 15 – трубопровод отвода воздуха из воздухоотделителя; 16 – трубопровод отвода излишков топлива и воздуха; 17 – клапан редукционный

Клапан состоит из корпуса, в котором запрессована гильза с золотником, и электромагнита РС-330. Пружиной золотник постоянно отжимается в верхнее положение, обеспечивая проход топлива в насос. При аварийном режиме включается электромагнит, якорь которого через шток перемещает золотник в нижнее положение и перекрывает проход топлива в насос. Одновременно закрывается клапан 13, предупреждая попадание топлива в насос высокого давления из шланга, соединяющего насос с воздухоотделителем; дизель останавливается или снижает обороты до устойчивых оборотов холостого хода.

4. СИСТЕМА СМАЗКИ

Система смазки деталей ДМ-21 выполняет и дополнительные функции: охлаждает поршни циркуляцией масла через специальные полости в поршнях и обеспечивает привод вентилятора подачей масла в гидромуфту. Система смазки дизеля принудительная, циркуляционная с «сухим» картером, который позволяет увеличить срок службы масла за счет сокращения времени воздействия на него картерных газов. Большинство поверхностей трения смазывается под давлением, а часть деталей смазывается разбрызгиванием (втулки цилиндров, подшипники качения, штоки клапанов, зубья шестерен и т.п.).

Система смазки дизеля (рис. 7) состоит из нагнетающего 4 и откачивающего 13 масляных насосов, полнопоточных масляных фильтров 10, центробежного маслоочистителя 7, маслопроводов и маслозакачивающего агрегата 2. Кроме того, в машине потребителя система смазки дополнительно оборудуется масляным баком 1, охладителем масла и контрольно-измерительными приборами (манометрами и термометрами).

На дизелях ДМ-21 подвод масла к трущимся поверхностям деталей осуществляется по каналам в корпусных деталях. Исключение составляют подводы масла к трубокомпрессору 8, топливному насосу 9, компрессору и к гидромуфте 6 привода вентилятора, к которым масло подается по стальным или гибким трубопроводам.

Циркуляция масла осуществляется следующим образом.

– из масляного бака 1 по трубопроводу масло поступает к нагнетающему насосу 4, от которого оно по каналам в агрегатной коробке передается в масляные фильтры 10 и далее в центральный масляный канал блок-картера. Часть масла, поступающего к правому масляному фильтру, направляется на центробежный маслоочиститель 7, а из него в поддон дизеля. Из центрального канала масло поступает к коренным подшипникам коленчатого вала, от которых по отверстиям в щеках коленчатого вала подводится к шатунным подшипникам и далее через каналы в шатунах к втулкам верхних головок шатунов. Часть масла, через отверстия в поршневом пальце, перепускается в охлаждающие полости поршней, а затем сливается в поддон;

– из центрального масляного канала по отверстиям в блокартере масло поступает к подшипникам распределительного вала и к осям нижних рычагов клапанного механизма. Смазка кулачков распределительного вала осуществляется разбрызгиванием масла через жиклер в нижних рычагах.

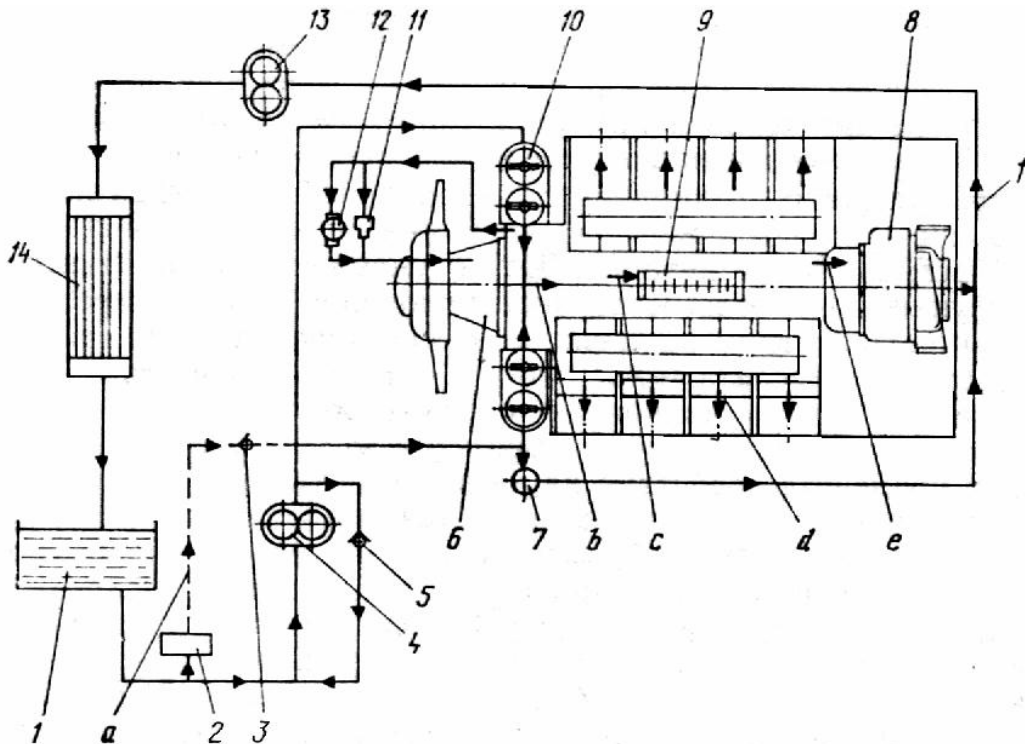


Рисунок 7 – Принципиальная схема системы смазки:
 1 – бак масляный; 2 – агрегат маслозакачивающий; 3 – клапан обратный; 4 – насос нагнетающий; 5 – клапан редуционный;
 6 – гидромуфта привода вентилятора; 7 – маслоочиститель центробежный; 8 – турбокомпрессор; 9 – насос топливный;
 10 – фильтр масляный; 11 – терморегулятор; 12 – распределитель;
 13 – насос откачивающий; 14 – радиатор; а – путь масла при предпусковой прокачке; б – подвод масла к главной магистрали; с – подвод масла к топливному насосу; д – подвод масла к механизму газораспределения; е – подвод масла к турбокомпрессору; ф – отвод масла из поддона

К верхним рычагам масло подается по штангам. К подшипникам рычагов и траверсам масло поступает по отверстиям в рычагах и его деталях. Из полости клапанного механизма масло

по каналам в головках и через перепускные втулки стекает в поддон. Из канала в блок-картере масло по трубке и через зажим с отверстием диаметром 2 мм поступает на смазку деталей топливного насоса. Из насоса масло сливается также по трубке в полость блок-картера;

- подвод и отвод масла от турбокомпрессора осуществляется по наружным трубопроводам;

- для смазки компрессора масло поступает от масляного фильтра по трубке, а сливается непосредственно в полость агрегатной коробки по внутренним каналам. Это масло вместе с маслом, подаваемым разбрызгиванием (по каналам) на смазку шестерен, подшипников, деталей и агрегатов коробки, сливается в полость блок-картера;

- для смазки подшипников передачи масло поступает по каналам в корпусных деталях из каналов в блок-картере и, сливается в полость блок-картера. Из полости блок-картера масло попадает в поддон, из отстойников которого оно через трубы отсасывается откачивающим масляным насосом 13. От насоса по трубопроводам масло поступает к радиаторам 14 на охлаждение и далее в бак 1;

- в гидромуфте привода вентилятора масло поступает из канала в корпусе конических шестерен через терморегулятор 11. Терморегулятор устанавливается в трубопроводе отвода охлаждающей жидкости из дизеля и пропускает масло в гидромуфту вентилятора только при нагреве охлаждающей жидкости до 80...82 °С;

- параллельно этому подводу масла на дизелях используется дополнительный подвод масла к гидромуфте через электромагнитный распределитель 12, устанавливаемый на торце левого выпускного коллектора. Включение этого контура осуществляется (при необходимости принудительного охлаждения дизеля) водителем воздействием на соответствующий переключатель на панели управления. Распределитель состоит из корпуса, внутрь которого запрессована гильза с натягом. Внутри гильзы передвигается клапан с зазором. Перемещение клапана в осевом направлении в одну сторону осуществляется пружиной, а в противоположную – электромагнитом (пружина, воздействуя на клапан, отключает подачу масла в гидромуфту, а электромагнит включает). К распределителю подсоединено три трубки: по одной масло подводится из масляного канала в коробке вентилятора,

по другой – поступает на заполнение гидромуфты вентилятора (аналогично подсоединению от терморегулятора), по третьей трубке отводится масло, просочившееся по зазорам клапана. Масло из привода вентилятора сливается также в полость блок-картера.

Маслозакачивающий агрегат (рис. 8) предназначен для прокачивания дизеля маслом перед пуском для предохранения его от повышенных износов и задира подшипников коленчатого вала. Маслозакачивающий агрегат устанавливается в машине потребителя. Состоит из электродвигателя 1, постоянного тока и шестеренного масляного насоса, соединенных между собой шлицевой муфтой 3. Масляный насос закачивающего агрегата состоит из двух шестерен 7 и 8 и корпуса 6 с крышкой 9 и по своему принципиальному устройству похож на основные насосы системы смазки. Крышка к корпусу крепится шпильками и фиксируется штифтами. Между корпусом и крышкой устанавливается бумажная прокладка. В расточках корпуса вращаются шестерни, изготовленные из хромоникелевой стали с цементацией зубьев и рабочих шеек. На хвостовик ведущей шестерни с тремя лысками устанавливается шлицевая ведомая втулка 4, удерживаемая в осевом направлении стопорным кольцом.

Уплотнение валика осуществляется двумя резиновыми самоподжимными манжетами 5. Отвод *b* и подвод *a* масла осуществляется через крышку. Для предохранения от чрезмерного давления в системе смазки дизеля и закачивающем насосе установлен нерегулируемый редуцирующий клапан, состоящий из клапана 10, пружины 11 и фланца. Центрируется насос в проточке корпуса электромотора, к которому он крепится болтами. На вал электромотора со шпонкой устанавливается ведущая часть внутренней шлицевой полумуфты, которая соединяется с внутренней полумуфтой насоса посредством шлицевой наружной муфты. От осевых смещений наружная муфта предохраняется стопорными кольцами, расположенными внутри муфты. При сборке полость соединительной муфты заполняется солидолом. Электромотор крепится на четырех лапах по месту его установки на машине.

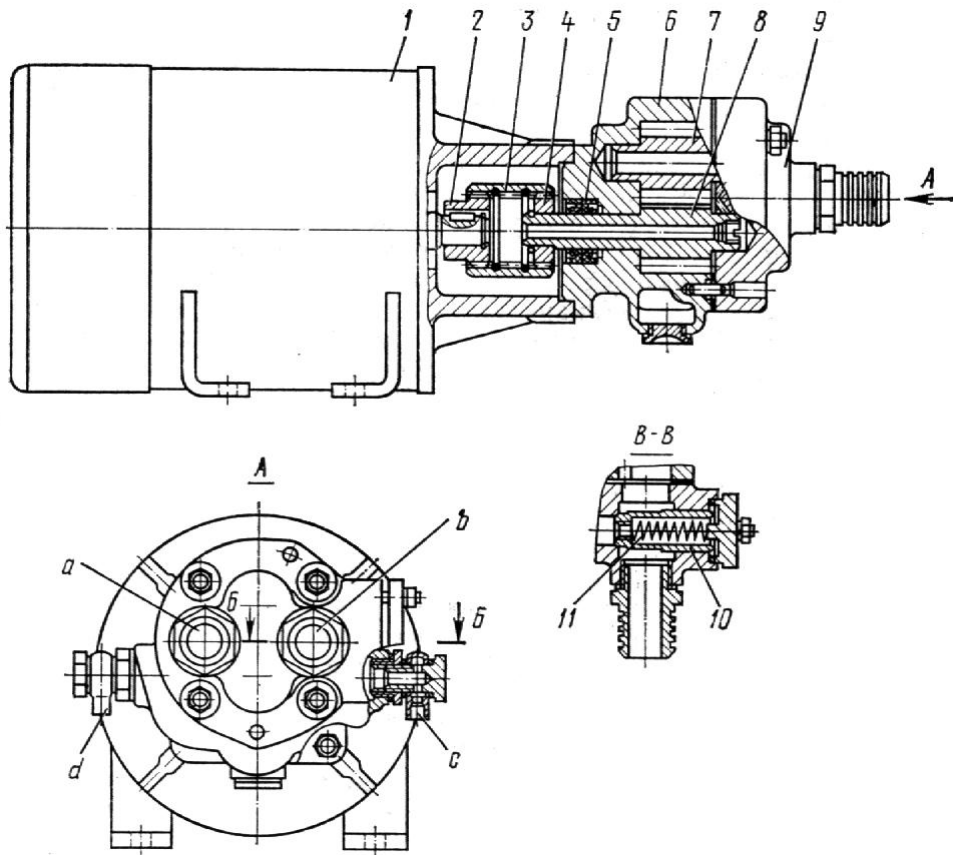


Рисунок 8 – Агрегат маслозакачивающий: 1 – электродвигатель; 2 – втулка ведущая; 3 – муфта; 4 – втулка ведомая; 5 – манжета; 6 – корпус; 7 – шестерня ведомая; 8 – шестерня ведущая; 9 – крышка; 10 – клапан; 11 – пружина редукционного клапана; а – подвод масла; б – отвод масла; с – отвод воды; д – подвод воды

Система смазки двигателей 6РАЧ-185 и 8РАЧ-185 автосамосвалов БелАЗ-549Б, БелАЗ-549В и БелАЗ-75191 комбинированная, циркуляционная с «мокрым» картером (рис. 9). Она включает два масляных насоса (нагнетающий насос контура смазки двигателя и насос контура охлаждения масла), радиатор, полнопоточные фильтры грубой очистки масла, центробежный фильтр тонкой очистки масла, фильтр тонкой очистки масла в магистральной турбокомпрессора, предпусковой маслозакачивающий насос и маслопроводы.

Для подогрева масла перед пуском двигателя при температуре воздуха ниже 8°C имеется электрический нагреватель 18 мощностью 7500 Вт, включаемый в электросеть переменного тока напряжением 220 В. Циркуляция масла через подогреватель

обеспечивается насосом. Нагнетающий насос 9 подает масло из поддона двигателя через сетчатый полнопоточный фильтр 15 в центральный масляный канал картера.

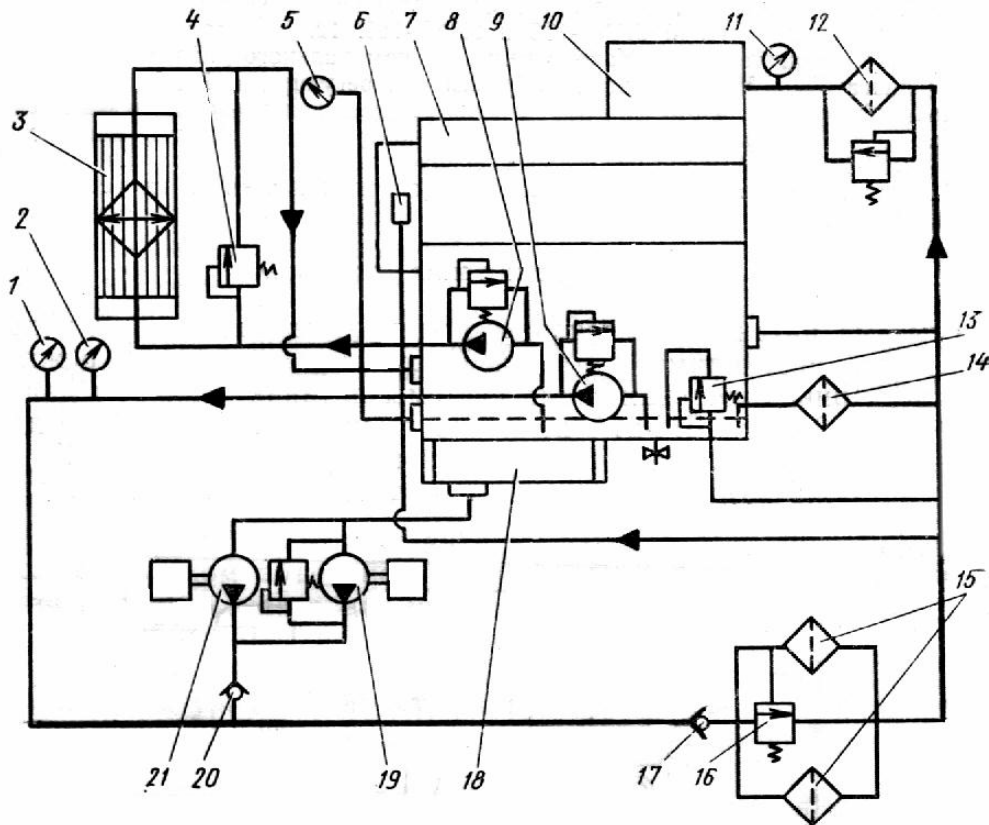


Рисунок 9 – Схема системы смазки двигателей 6РАЧ-185 и 8РАЧ-185: 1 – датчик указателя температуры масла; 2 – датчик сигнализатора аварийной температуры масла; 3 – радиатор; 4, 13, 16, 17, 20 – клапаны; 5 – датчик указателя давления масла; 6 – гидрораспределитель привода гидромолоты вентилятора; 7 – дизель, 8 – маслонасос контура охлаждения масла, 9 – масляный нагнетающий насос, 10 – турбокомпрессор; 11 – датчик сигнализатора аварийного давления масла; 12, 14, 15 – фильтры, 18 – электронагреватель масла; 19 – агрегат циркуляции нагретого масла; 21 – маслозакачивающий агрегат

Редукционный клапан 13, установленный за фильтром, поддерживает номинальное давление в системе смазки 0,55...0,6 МПа. Фильтр предварительной очистки масла 15 снабжен обратным 17 и перепускным 16 клапанами. Первый из них перепускает неочищенное масло к трущимся поверхностям при засорении фильтрующей

щих элементов, второй – обеспечивает постоянное заполнение фильтра маслом.

На одном из фильтров предварительной очистки масла установлен дифференциальный манометр, указывающий разность давлений масла до и после фильтров. При разности давлений более 0,1 МПа фильтрующие элементы необходимо промыть в бензине и продуть сжатым воздухом.

Окончательная очистка масла осуществляется в центробежном фильтре тонкой очистки (центрифуге), ротор которого вращается с частотой 6975 об/мин. Производительность фильтра 8,9 кг/мин.

Необходимо периодически удалять отложения внутри ротора и промывать детали фильтра в бензине. Из центробежного фильтра масло сливается в поддон и в гидромуфту привода вентилятора.

В нагнетательной магистрали насоса имеется предохранительный клапан, отрегулированный на давление 1,5 МПа. При повышении давления часть масла пускается через предохранительный клапан в картер. Фильтр 12 тонкой очистки масла, поступающего для смазки турбокомпрессора 10, снабжен перепускным клапаном 20, который в случае загрязнения фильтра перепускает масло для смазки турбокомпрессора без фильтрации. Перепускной клапан 4, установленный в контуре охлаждения масла, предохраняет радиатор 3 от повреждений.

5. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

Система охлаждения дизелей ДМ-21 (рис. 10) жидкостная с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости. Предназначена для отвода избыточного тепла от деталей дизеля, работающих в среде горячих газов, для поддержания оптимального температурного режима работы дизеля и обеспечения прогрева основных деталей дизеля перед его пуском в холодных климатических условиях.

Предпусковой подогрев облегчает условия пуска дизеля, улучшает доступ масла к поверхностям трения (при прокачке маслозакачивающим агрегатом) и, тем самым, уменьшает пусковые износы и устраняет возможность задиров трущихся деталей. Автоматическое поддержание оптимального температурного ре-

жима работы дизеля, осуществляемое изменением частоты вращения вентилятора, способствует уменьшению износов, особенно цилиндропоршневой группы, уменьшению навигационного разрушения втулок цилиндров и других деталей, снижению потерь мощности на трение и на привод вентилятора, что заметно снижает эксплуатационный расход топлива.

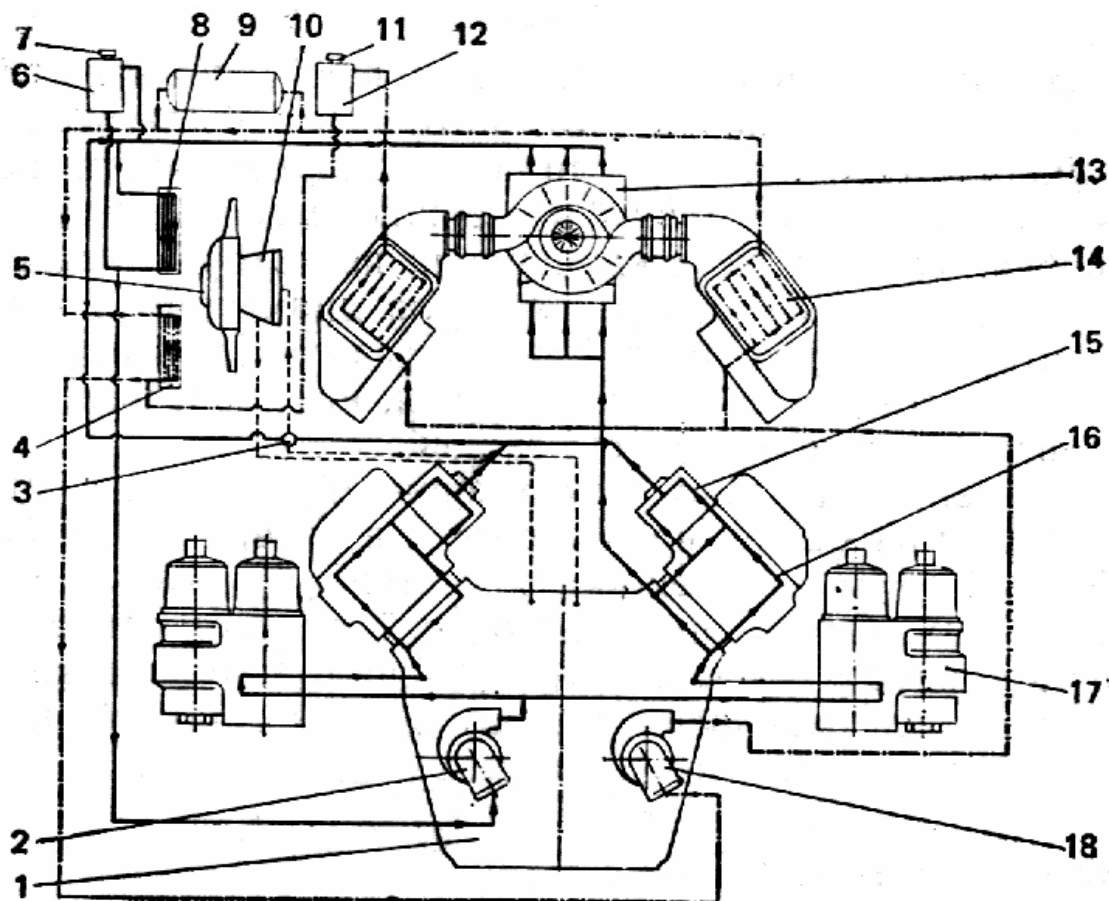


Рисунок 10 – Принципиальная схема системы охлаждения:
 1 – блок цилиндров; 2 – насос водяной системы охлаждения дизеля; 3 – терморегулятор; 4 – радиатор системы охлаждения надувочного воздуха; 5 – вентилятор; 6, 12 – бачки расширительные; 7, 11 – пробки с паровоздушными клапанами; 8 – радиатор системы охлаждения дизеля; 9 – теплообменник водомасляный; 10 – гидромуфта привода вентилятора; 13 – турбокомпрессор; 14 – охладитель надувочного воздуха; 15 – коллектор выпускной; 16 – головка цилиндра; 17 – блок фильтров масляных; 18 – насос системы охлаждения надувочного воздуха

Система охлаждения дизеля состоит из водяного насоса 2, трубопроводов и полостей в охлаждаемых деталях для циркуляции охлаждающей жидкости, вентилятора 5, контрольно-измерительных приборов, устройств терморегулирования и сигнализации. Полностью система охлаждения комплектуется на машине на месте эксплуатации. Дополнительно устанавливаются радиатор, расширительный бачок, трубопроводы, агрегаты предпускового подогрева, контрольно-измерительные приборы и приборы предупредительной сигнализации.

Работа системы охлаждения происходит следующим образом: водяной насос 2 подает охлаждающую жидкость из радиатора 8 в полости охлаждения дизеля. При этом охлаждающая жидкость поступает сначала в канал агрегатной коробки, а затем через патрубки в полости корпусов масляных фильтров и далее по патрубкам поступает в боковые каналы блок-картера. Из боковых каналов охлаждающая жидкость поступает в полости охлаждения втулок цилиндров, затем через отверстия в верхней утолщенной части втулок проходит в полости головок. Интенсивность и равномерность охлаждения верхней, наиболее горячей части втулки, достигается за счет увеличения скорости охлаждающей жидкости при проходе ее через отверстия верхнего пояса, а в головке – путем направления потока жидкости к наиболее горячим ее частям.

Из головок охлаждающая жидкость перепускается в полости охлаждения выпускных коллекторов 15 и далее через общий патрубок отводится к радиатору 8 для охлаждения. В выходном (общем) патрубке имеются отверстия, в которые устанавливаются датчики замера температуры охлаждающей жидкости и сигнализации в случае ее перегрева. К турбокомпрессору 13 охлаждающая жидкость подводится по трубке от правого канала в блок-картере. Пройдя через полости в турбокомпрессоре, охлаждающая жидкость отводится по объединенному трубопроводу к радиатору 8 на охлаждение. На охлаждение компрессора охлаждающая жидкость поступает по трубке из водяного насоса и отводится также по трубке в общий трубопровод отвода в радиатор. Поддержание оптимальной температуры охлаждающей жидкости 82...92 °С осуществляется терморегулятором 3, который установлен на трубе отвода воды из правого выпускного коллектора. При нагреве

охлаждающей жидкости выше указанных пределов терморегулятор открывает доступ масла в гидромуфту 10 привода вентилятора (включает вентилятор), а при охлаждении ниже этого предела отключает подачу масла (отключает вентилятор). Нужно иметь в виду, что при полностью выключенной подаче масла в гидромуфту крыльчатка вентилятора может продолжать вращаться с небольшой частотой вращения. Таким образом, частота вращения крыльчатки вентилятора изменяется в зависимости от количества масла, поступающего в гидромуфту в соответствии с величиной открытия клапана в терморегуляторе. С изменением частоты вращения крыльчатки вентилятора изменяется количество воздуха, проходящего через радиаторы, и, следовательно, изменяется интенсивность охлаждения охлаждающей жидкости и масла.

В расширительном бачке автосамосвала устанавливается датчик сигнального устройства предельно допустимого понижения уровня охлаждающей жидкости в системе охлаждения. Для предпускового подогрева дизеля на автосамосвале устанавливается устройство, разогревающее охлаждающую жидкость и осуществляющее ее циркуляцию через систему охлаждения дизеля.

Слив охлаждающей жидкости из системы дизеля производится через сливной кран, расположенный в нижней части улитки насоса охлаждения.

6. ПРОЧИЕ СИСТЕМЫ

6.1. Реле скорости РС-3М

На агрегатной коробке с левой стороны вместо компрессора установлено центробежное реле скорости РС-3М (рис. 11), которое предназначено для сигнализации:

- превышения оборотов дизеля выше допустимых;
 - запуска дизеля – достижение минимально допустимых оборотов;
 - включения дизель-генератора на параллельную работу.
- Давление масла в системе реле 0,03...0,1 МПа.

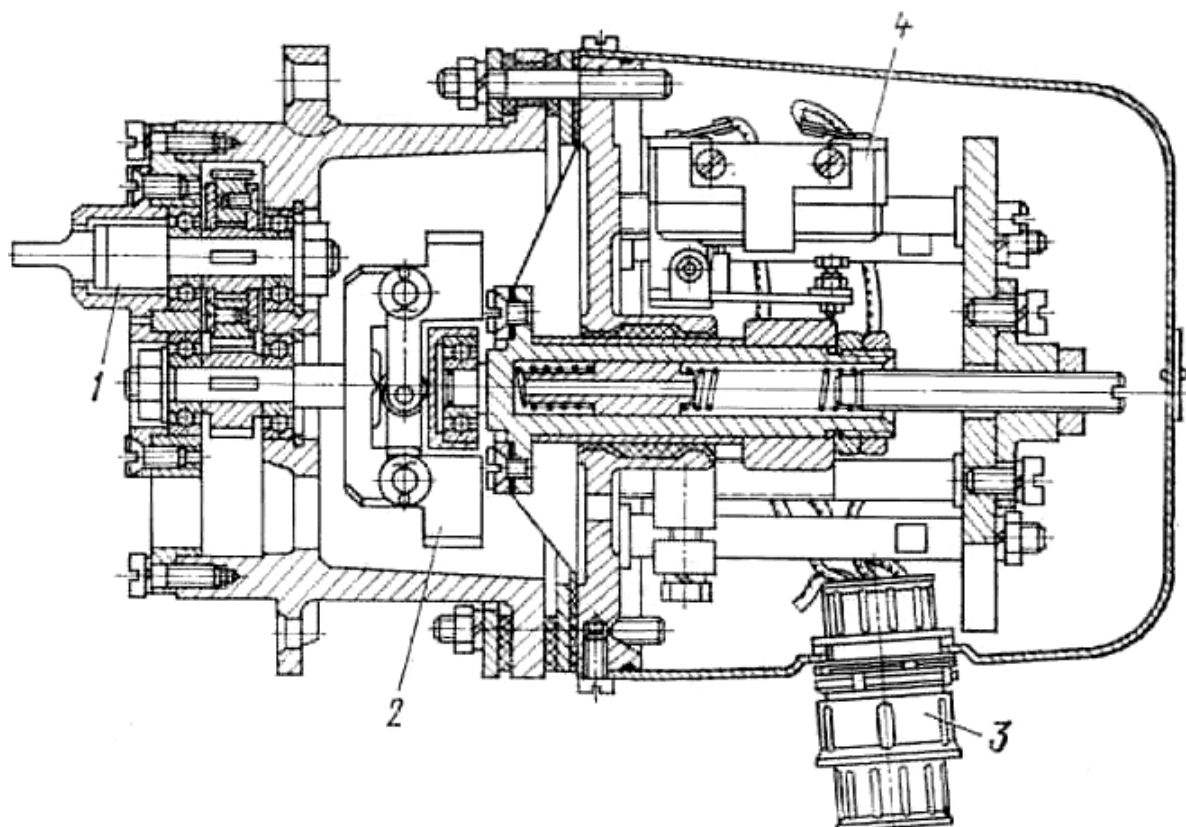


Рисунок 11 – Реле скорости РС-3М: 1 – валик ведущий; 2 – грузик; 3 – штепсельный разъем; 4 – микровыключатель

Реле скорости РС-3М имеет валик 1, соединенный через систему шестерен с коленчатым валом дизеля, грузики 2, которые под действием центробежной силы изменяют свое положение при изменении частоты вращения, и три микровыключателя 4, каждый из которых срабатывает при определенном положении грузиков. Реле настроено так, что первый микровыключатель срабатывает при 400 об/мин коленчатого вала, второй – при 1400 об/мин и третий при 1650 об/мин. Первый микровыключатель дает сигнал об окончании пуска для отключения пусковой аппаратуры, второй включает устройство синхронизации при параллельной работе дизельной электростанции и третий включает защиту дизеля от недопустимого превышения частоты вращения коленчатого вала.

6.2. Система защиты двигателя

Автомобили с двигателями 6РАЧ-185 и 8РАЧ-185 снабжены системой защиты от превышения частоты вращения коленчатого

вала более 1725 об/мин и падения давления масла в системе смазки менее 0,15 МПа.

Если при работе двигатель превысит максимально допустимую частоту вращения коленчатого вала или давление масла в крайнем подшипнике понизится ниже минимального (до 0,14 МПа), то разъединяется цепь вспомогательного реле, которое отключает электромагнитный клапан регулятора, управляющий пневматическим стоп-клапаном подачи топлива. Клапан прекращает подачу топлива в насос высокого давления. Одновременно с этим открывается клапан аварийного стоп-устройства и в топливный насос высокого давления подается сжатый воздух для вытеснения ид него топлива. Двигатель останавливается, при этом загорается контрольная лампа, сигнализирующая об аварийной остановке. При необходимости можно таким же путем остановить двигатель, нажав кнопку аварийного останова.

Система защиты двигателей отечественного производства обеспечивает их автоматический останов при повышении частоты вращения коленчатого вала более 1750 об/мин или падении давления масла в системе смазки ниже 0,13...0,19 МПа. Кроме того, система защиты исключает пуск при давлении масла менее 0,04...0,08 МПа и обеспечивает прокачивание системы маслом в течение 20 с при давлении выше 0,04...0,08 МПа.

При увеличении частоты вращения коленчатого вала более допустимой сигнал от датчика тахометра замыкает контакты реле датчика частоты вращения. При этом подается ток на катушку соленоида и якорь 3 втягивается, преодолевая усилие пружины. Втянувшись, якорь нажимает на шток микропереключателя 7 и, тем самым, размыкает цепь питания соленоида во избежание его перегрева. Поскольку якорь связан с воздушными заслонками впускных коллекторов дизеля, то при срабатывании аварийного стоп-устройства он их закрывает, и дизель останавливается из-за прекращения подачи рабочей смеси. Аналогично система действует при уменьшении давления масла в системе смазки до 0,04...0,08 МПа и замыкании контактов датчика давления. Для возврата якоря стоп-устройства необходимо открыть вручную воздушную заслонку, после чего пружина вытолкнет якорь в исходное положение и стоп-устройство снова готово к работе.

Аварийное стоп-устройство состоит из магнитопровода 4 (рис. 12), накрытого колпаком 8, который защищает электрическую часть привода. Магнитопровод состоит из двух деталей, между которыми установлена катушка 5 соленоида. В нижней части магнитопровода перемещается якорь 3, отжимаемый в нерабочем положении пружиной 6. Герметизирует якорь резиновая манжета 2.

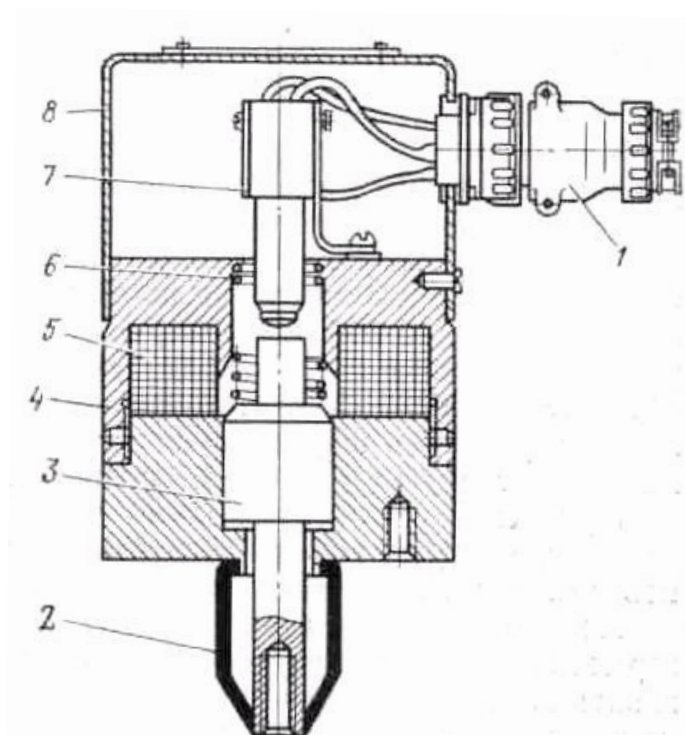


Рисунок 12 – Аварийное стоп-устройство: 1 – штепсельный разъем; 2 – манжета; 3 – якорь; 4 – магнитопровод; 5 – катушка соленоида; 6 – пружина; 7 – микропереключатель; 8 – колпак

6.3. Антивибратор комбинированный

Для уменьшения напряжений, возникающих вследствие крутильных колебаний в системе «коленчатый вал дизеля – ротор генератор», на переднем конце коленчатого вала установлен комбинированный антивибратор (рис. 13).

Антивибратор представляет собой антивибрационный агрегат, предназначенный для уменьшения напряжений, возникающих вследствие крутильных колебаний в коленчатом вале и связанных с ним механизмах, состоящий из маятникового антивибратора и установленного на нем демпфера вязкого трения 10.

Антивибратор установлен на фланце коленчатого вала и крепится болтами 1 и штифтами 2.

В отверстия ступицы 6 запрессованы втулки. С помощью пальцев 5 к ступице подвешены шесть маятников 7. Для смазки антивибратора масло подводится из полости коленчатого вала в кольцевую полость а, из которой под действием центробежной силы по каналам ступицы поступает на смазку пальцев и втулок.

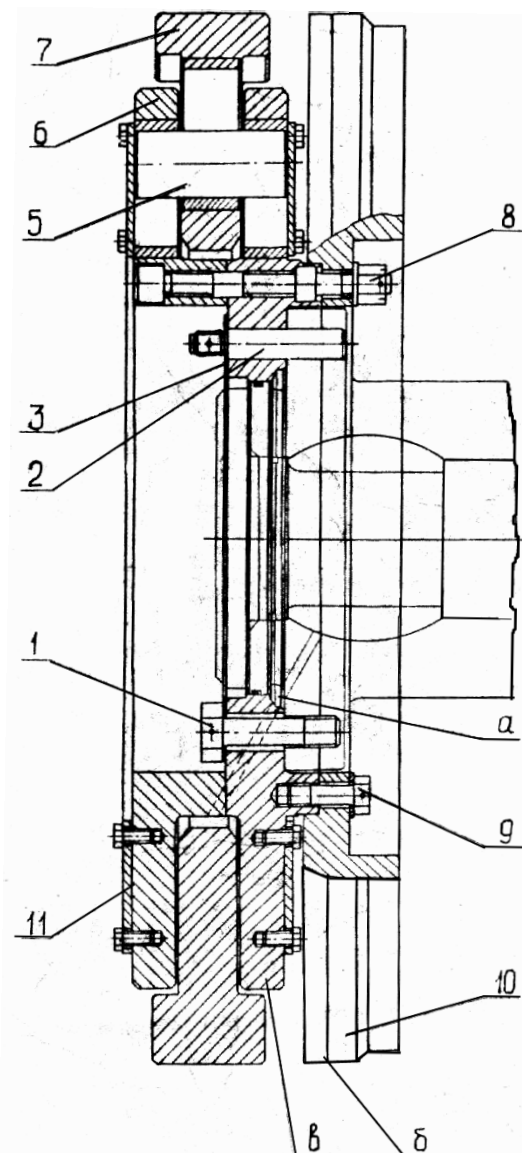


Рисунок 13 – Антивибратор комбинированный: 1, 9 – болты; 2 – штифт; 3 – пластина замочная; 8 – гайка; 5 – палец; 6 – ступица; 7 – маятник; 10 – демпфер; 11 – крышка; а – кольцевая полость для смазки; б – соединение крышки с корпусом; в – поверхность расположения отверстия под ремонтный болт

6.4. Индикаторный кран

Индикаторный кран (рис. 14), устанавливаемый на каждой крышке цилиндра, служит для продувки цилиндра, а также присоединения приборов для замера давлений сгорания и сжатия в цилиндре.

Шпindelь и наконечник крана имеют конусы А и Б.

Конус А служит для закрытия канала в корпусе, когда индикаторный кран закрыт.

Конус Б служит для уплотнения полости шпинделя 1 и штуцера 2 во время замеров, когда кран открыт.

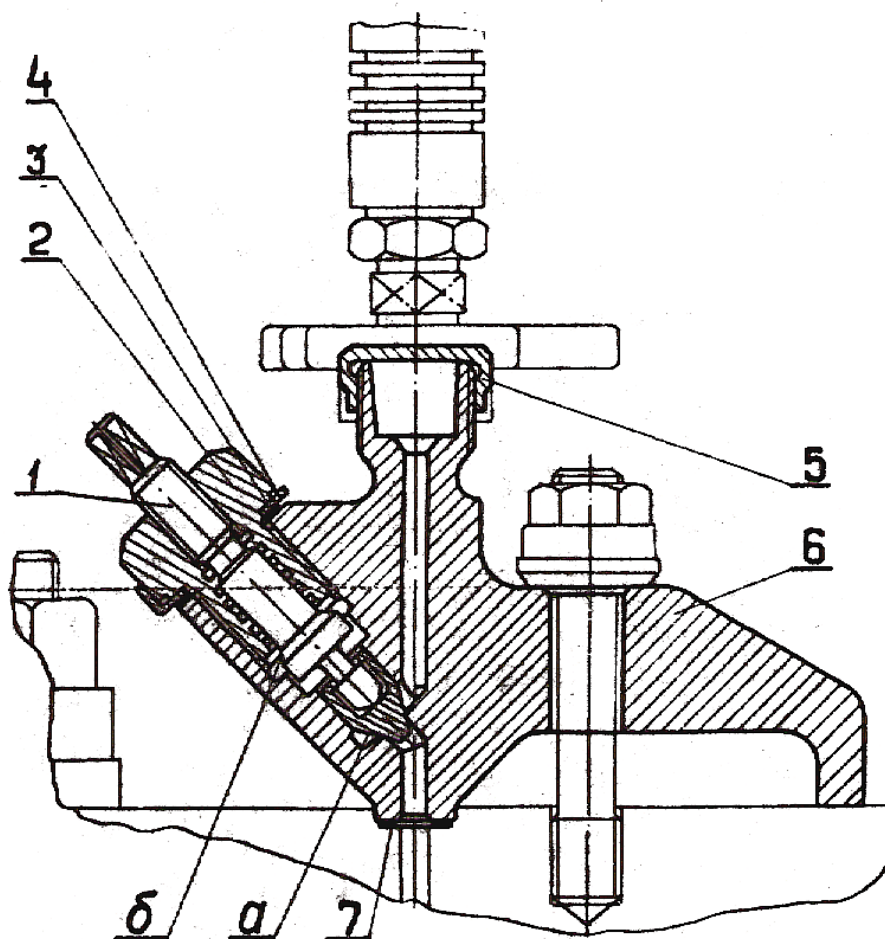


Рисунок 14 – Кран индикаторный: 1 – шпindelь; 2 – штуцер; 3, 7 – прокладка; 4 – замочная пластина; 5 – колпачок; 6 – корпус крана; а, б – уплотняющие конусы

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначен кривошипно-шатунный механизм двигателя?
2. Поясните особенности устройства КШМ дизелей ДМ-21 (рис. 1).
3. Расскажите о материалах, применяемых для изготовления деталей КШМ.
4. Объясните особенности конструкции коленчатого вала дизеля ЯМЗ-240, представленного на рис. 2.
5. Расскажите об особенностях конструкции поршней дизелей РАЧ-185 (рис. 3).
6. Объясните конструкцию шатунного механизма двигателей семейства 12ЧН1А26/26 (рис. 4).
7. Расскажите о конструкции поршней двигателей 12ЧН1А26/26 (рис. 5).
8. Для чего предназначена топливная система двигателя?
9. Из каких элементов состоит топливная система дизельных двигателей, поясните работу принципиальной схемы на рис. 6.
10. Расскажите об особенностях конструкции системы смазки дизелей семейства ДМ (рис. 7).
11. Функции и конструкция маслозакачивающего агрегата (рис. 8).
12. Для чего предназначена система смазки двигателя?
13. Поясните работу системы смазки дизелей семейства РАЧ (рис. 9).
14. Для чего предназначена система охлаждения двигателя?
15. Расскажите об особенностях работы и конструкции системы охлаждения дизелей ДМ.
16. Функции реле скорости РС-3М.
17. Назначение и работа система защиты двигателя РАЧ.
18. Назовите основные части аварийного стоп-устройства, представленного на рис. 12.
19. Конструкция и функции антивибратора комбинированного (рис. 13).
20. Функции индикаторного крана.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. С. Квагинидзе, Г. И. Козовой, В. Б. Корецкий и др. – М. : Горная книга, 2011. – 408 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229079>

2. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля : учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Организация дорожного движения» / Л. Л. Афанасьев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 212 с.

3. Васильев, М. В. Автомобильный транспорт карьеров / М. В. Васильев, З. Л. Сироткин, В. П. Смирнов. – М. : Недра, 1973. – 280 с.

4. Васильев, М. В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М. : Недра, 1983. – 295 с.

5. Васильев, М. В. Комбинированный транспорт на карьерах / М. В. Васильев. – М. : Недра, 1975. – 307 с.

6. Потапов, М. Г. Карьерный транспорт : учебник для техникумов. – изд. 4-е, перераб. и доп. / М. Г. Потапов. – М. : Недра, 1980. – 264 с.

7. Хубаев, Б. Г. Особенности конструкции и перспективы развития карьерных самосвалов грузоподъемностью свыше 30 т / Б. Г. Хубаев, М. В. Тверитнев. – М. : НИИНавтопром, 1985. – 60 с.

8. Циперфин, И. М. Карьерный автомобильный транспорт: справочник / И. М. Циперфин, В. Д. Штейн. – М. : Недра, 1992. – 415 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составители

А. С. Фурман

Н. В. Фурман

**РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ АГРЕГАТОВ
И СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ
И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ**

**Методические указания к выполнению курсового проекта
для студентов очной формы обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления 23.03.03 (190600.62)
«Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов»
в качестве электронного издания
для самостоятельной работы

Кемерово 2015

Рецензенты

Стенин Д. В. – к.т.н., доцент кафедры эксплуатации автомобилей

Подгорный А. И. – к.т.н., доцент, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Фурман Андрей Сергеевич, Фурман Наталья Владимировна. Рабочие процессы агрегатов и систем транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсового проекта для студентов направления 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», образовательная программа «Автомобили и автомобильное хозяйство», очной формы обучения / сост.: А. С. Фурман, Н. В. Фурман. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

В данных методических указаниях изложены содержание и порядок выполнения курсовой работы.

© КузГТУ, 2015
© Фурман А. С.,
Фурман Н. В., 2015
составление, 2015

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель данного курсового проекта – дать студентам инженерные знания, необходимые для объективной оценки конструкций ТиТТМО, их агрегатов и систем.

В данном разделе курса решаются следующие задачи:

- знакомство с основными требованиями к конструкциям ТиТТМО, их агрегатов и систем, изучение выходных и оценочных параметров агрегатов и систем ТиТТМО;
- изучение условий эксплуатации и нагрузочных режимов агрегатов и систем ТиТТМО;
- изучение рабочих процессов агрегатов и систем ТиТТМО, оценка влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на рабочие процессы и выходные параметры агрегатов и систем ТиТТМО;
- знакомство с основами расчета агрегатов и систем ТиТТМО на прочность и долговечность.

При изучении данного раздела необходимо в первую очередь рассмотреть требования, предъявляемые к конструкции агрегатов и систем ТиТТМО, и проанализировать, как эти требования выполняются в существующих конструкциях. Основное внимание следует уделить изучению рабочих процессов и выходных параметров агрегатов и систем ТиТТМО. При этом необходимо выделить связи между рабочими процессами, нагрузочными режимами и требованиями к конструкции, а также отметить влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на рабочие процессы и выходные параметры агрегатов и систем ТиТТМО.

Проектирование трансмиссии автомобиля обычно осуществляется в такой последовательности: в зависимости от назначения автомобиля определить принципиальную схему трансмиссии, рассмотреть основные характеристики, выбрать принципиальные схемы агрегатов, провести их конструирование и выполнить расчеты на прочность основных деталей. При этом конструктор анализирует существующие конструкции, оценивает их конструктивные, производственные и эксплуатационные достоинства и недостатки, учитывает преемственность, особенно-

сти производства и возможности широкой унификации между существующими и проектируемыми образцами.

1. НАГРУЗОЧНЫЕ РЕЖИМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТРАНСМИССИЙ ТнТТМО

При расчете элементов трансмиссии используются три расчетных режима.

1. По максимальному крутящему моменту двигателя:

$$M_p = M_{e \max} i_{\Sigma}, \quad (1.1)$$

где M_p – расчетный момент, Н·м; $M_{e \max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м; i_{Σ} – суммарное передаточное число до рассчитываемой детали.

Этот метод дает условные величины напряжений. Они меньше пиковых, но больше эксплуатационных. Метод используется для поверочных расчетов.

2. По максимальному сцеплению ведущих колес с дорогой. При расчете раздаточных коробок, ведущих мостов полноприводных транспортных средств, их карданных передач определение моментов по двигателю является трудоемкой операцией, что обусловлено значительной разницей в жесткостях приводов от раздаточной коробки к ведущим колесам. Момент на полуоси ведущего моста:

$$M_p = 0,5 R_{z \text{ вед.м}} \varphi_{\max} r_d, \quad (1.2)$$

где $R_{z \text{ вед.м}}$ – нормальная реакция на колесах ведущего моста, Н; φ_{\max} – максимальный коэффициент сцепления; r_d – динамический радиус колеса автомобиля, м.

Как правило, в расчетах принимается $\varphi_{\max} = 0,8$.

Такой расчетный режим целесообразно применять и для автомобилей с высокой удельной мощностью, когда расчетная сила тяги выше, чем сила тяги по сцеплению на низших передачах.

3. По максимальным динамическим нагрузкам, наблюдающимся при переходных режимах движения автомобиля. Расчетный момент:

$$M_p = M_{e \max} i_{\Sigma} K_d, \quad (1.3)$$

где K_d – коэффициент динамичности, равный отношению максимально возможного момента на ведущем валу к максимальному крутящему моменту двигателя.

Для транспортных средств, в трансмиссии которых установлен гидротрансформатор или гидромукфта, коэффициент динамичности можно принять равным единице. Снижение динамических нагрузок в этом случае обусловлено отсутствием жесткой связи между двигателем и трансмиссией.

Для вновь проектируемых транспортных средств определение коэффициента динамичности весьма затруднительно и трудоемко. В этом случае коэффициент динамичности определяют по результатам испытаний существующих моделей транспортных средств.

Значения коэффициента динамичности [4]:

- для легковых автомобилей – $K_d = 1,5–2,0$;
- для грузовых автомобилей – $K_d = 2,0–2,5$;
- для АТС высокой проходимости – $K_d = 2,5–3,0$.

2. РАСЧЕТ СЦЕПЛЕНИЯ

Сцепление – механизм трансмиссии автомобиля, передающий крутящий момент двигателя и позволяющий кратковременно отсоединить двигатель от трансмиссии и вновь плавно их соединить.

Классификация и требования к конструкции сцепления подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

На большинстве современных ТиТТМО устанавливаются постоянно замкнутые сухие одно- или двухдисковые сцепления с периферийным расположением цилиндрических нажимных пружин или центрально расположенной диафрагменной пружины с принудительным управлением.

Выбор размеров сцепления производится из условия передачи максимального крутящего момента двигателя посредством трения с некоторым запасом.

Статический момент трения сцепления определяют по формуле

$$M_c = M_e \max \beta, \quad (2.1)$$

где M_c – статический момент трения сцепления, Н·м; β – коэффициент запаса сцепления.

Значение коэффициента запаса сцепления выбирается с учетом неизбежного уменьшения коэффициента трения накладок в процессе эксплуатации, усадки нажимных пружин, наличия регулировки нажимного усилия, числа ведомых дисков. С другой стороны, пиковые нагрузки в трансмиссии, независимо от их происхождения, должны ограничиваться пробуксовыванием сцепления. По этой причине коэффициент запаса сцепления не должен превышать определенного значения.

Сцепления с регулируемым давлением пружин и с диафрагменными пружинами имеют наиболее низкое значение коэффициента запаса сцепления. Большие значения имеют сцепления грузовых автомобилей и автобусов.

В зависимости от максимального крутящего момента двигателя коэффициент запаса сцепления можно определить следующим образом [2] (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Коэффициент запаса сцепления

| $M_{e \max}$, Н·м | 100–250 | 250–600 | 700–1800 |
|--------------------|---------|---------|----------|
| β | 1,75 | 2,2 | 2,5 |

Средние значения коэффициента запаса сцепления [5]:

- для легковых автомобилей – $\beta = 1,2–1,75$;
- для грузовых автомобилей – $\beta = 1,5–2,2$;
- для ГТТМО повышенной проходимости – $\beta = 1,8–3,0$.

Средний радиус дисков определяют по формуле

$$R_c = \frac{R_H + R_B}{2}, \quad (2.2)$$

где R_c – средний радиус дисков, м; R_H , R_B – соответственно, наружный и внутренний радиус фрикционных накладок, м.

Ориентировочно средний радиус дисков можно определить следующим образом. Наружный радиус дисков определяют по формуле

$$R_H = 0,5 \sqrt{\frac{M_{e \max}}{A}}, \quad (2.3)$$

где R_H – наружный радиус дисков, см; $M_{e \max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, кг·см; A – коэффициент.

Коэффициент выбирается в зависимости от вида транспортного средства [2]:

- для легковых автомобилей – $A = 4,7$;
- для грузовых автомобилей – $A = 3,6$;
- для ГТТМО повышенной проходимости – $A = 1,9$.

При этом внутренний радиус фрикционных накладок:

$$R_B = (0,55 - 0,7)R_H, \quad (2.4)$$

где R_B – внутренний радиус дисков, м.

Рассчитанные величины необходимо привести в соответствие с требованиями ГОСТ 12238 – 76 (табл. 2.2) [5]

Таблица 2.2

Диаметры фрикционных накладок

| | | | | | | | |
|-------|--------------------|---------------|-------------------------|---------------|----------|---------------|---------------|
| D, мм | 180 | 200 | 215 | 240 | 250 | 280 | 300 |
| d, мм | 100, 120, 125 | 120, 130, 140 | 140, 150, 160 | 160, 180 | 155, 180 | 165, 180, 200 | 165, 175, 200 |
| D, мм | 325 | 340 | 350 | 380 | | 400 | 420 |
| d, мм | 185, 200, 220, 230 | 185, 195, 210 | 195, 200, 210, 240, 290 | 200, 220, 230 | | 220, 240, 280 | 220, 240, 280 |

Нажимное усилие пружин рассчитывают по формуле

$$P_{\Sigma} = \frac{M_c}{\mu i R_c}, \quad (2.5)$$

где P_{Σ} – нажимное усилие пружин, Н; i – число пар трения.

Число пар трения [5]:

- для однодисковых сцеплений – $i = 2$;
- для двухдисковых сцеплений – $i = 4$.

Расчетный коэффициент трения зависит от ряда факторов: параметров фрикционных материалов, состояния и относительной скорости скольжения поверхностей трения, давления, температуры.

Расчетный коэффициент трения – $\mu = 0,25 - 0,3$ [3].

Для сцепления с периферийными цилиндрическими пружинами нажимное усилие пружин (рис. 2.1) рассчитывают по формуле

$$P_{\Sigma} = \frac{\pi d_{\text{пр}}^3 \tau Z_{\text{п}}}{8D_{\text{пр}}}, \quad (2.6)$$

где $d_{\text{пр}}$ – диаметр проволоки пружины, м; τ – напряжение кручения пружины, Па; $Z_{\text{п}}$ – число нажимных пружин; $D_{\text{пр}}$ – диаметр пружины, м.

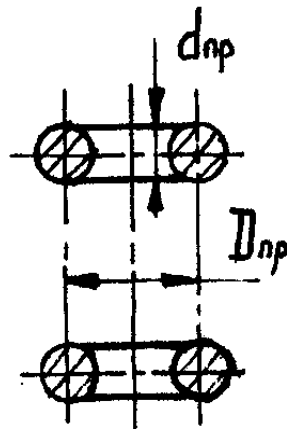


Рис. 2.1. Схема цилиндрической нажимной пружины

Обычно сцепление проектируется так, чтобы при выключении нажимное усилие пружин увеличивалось на 20 %, то есть:

$$P_{\Sigma \text{max}} = 1,2 P_{\Sigma} = \frac{\pi d_{\text{пр}}^3 \tau_{\text{max}} Z_{\text{п}}}{8D_{\text{пр}}}, \quad (2.7)$$

где $P_{\Sigma \text{max}}$ – усилие пружины при выключении сцепления, Н; τ_{max} – максимальное напряжение кручения, Па.

Максимальное напряжение кручения – $\tau_{\text{max}} = 700\text{--}900$ МПа [4].

Число пружин выбирается в зависимости от наружного диаметра фрикционных накладок (табл. 2.3) [2] и должно быть кратно числу рычагов выключения.

Таблица 2.3

Число нажимных пружин

| | | | | | |
|---------------------|-----------|-----|----------|----------|----------|
| $D_{\text{н}}$, мм | 180 – 250 | 280 | 310; 325 | 350; 380 | 400; 420 |
| $Z_{\text{п}}$ | 6 | 9 | 12 | 16 | 28 |

Нагрузка на пружину не должна превышать $P_{\text{пр}} = 800 \text{ Н}$ [4].

Принимается $\frac{D_{\text{пр}}}{d_{\text{пр}}} = 3 - 10$ [4].

После выбора отношения диаметра пружины к диаметру проволоки пружины определяется диаметр проволоки и диаметр пружины.

Диафрагменная пружина (рис. 2.2) представляет собой пружину Бельвиля, модифицированную для использования в автомобильных сцеплениях.

Нажимное усилие диафрагменной пружины определяют по формуле

$$P_{\Sigma} = \frac{2}{3} \frac{\pi E}{1 - \mu^2} \frac{\delta l_1}{D_e^2} \frac{\ln\left(\frac{1}{k_1}\right)}{(1 - k_2)^2} \left[\delta^2 + \left(h - l_1 \frac{1 - k_1}{1 - k_2}\right) \left(h - 0,5 l_1 \frac{1 - k_1}{1 - k_2}\right) \right], \quad (2.8)$$

где E – модуль упругости первого рода, Па; δ – толщина диафрагменной пружины, м; l_1 – перемещение пружины в месте приложения силы, действующей со стороны ведомого диска, м; k_1, k_2 – коэффициенты; h – высота сплошного кольца диафрагменной пружины, м; μ – коэффициент Пуассона; D_e – наружный диаметр сплошного кольца диафрагменной пружины, м.

Модуль упругости 1-го рода – $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ [4].

Толщина диафрагменной пружины – $\delta = 2,0 - 2,5 \text{ мм}$ [4].

Перемещение пружины в месте приложения силы – $l_1 = 1,5 - 2,0 \text{ мм}$ [2].

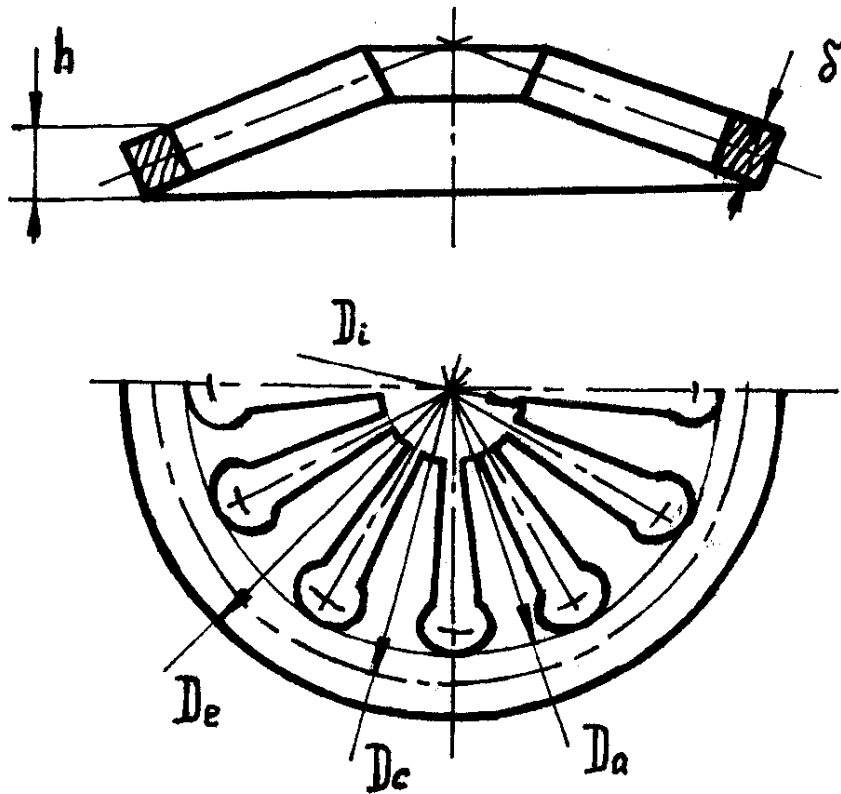


Рис. 2.2. Расчетная схема диафрагменной пружины

Коэффициенты определяют по формуле

$$k_1 = \frac{D_a}{D_e}, \quad (2.9)$$

где D_a – внутренний диаметр сплошного кольца диафрагменной пружины, м.

Так как в расчетах можно принять наружный диаметр сплошного кольца диафрагменной пружины равным наружному диаметру дисков сцепления, то из рекомендуемого соотношения [5] можно найти наружный диаметр сплошного кольца.

$$\frac{D_e}{D_a} = 1,2 - 1,5$$

$$k_2 = \frac{D_c}{D_e}, \quad (2.10)$$

где D_c – средний диаметр сплошного кольца диафрагменной пружины, м.

Средний диаметр сплошного кольца диафрагменной пружины можно приближенно вычислить по формуле

$$D_c = \frac{D_e + D_a}{2}, \text{ м.} \quad (2.11)$$

Усилие при выключении отличается от нажимного усилия передаточным числом диафрагменной пружины:

$$P_{\Sigma \max} = P_{\Sigma} \frac{D_e - D_c}{D_c - D_i}, \quad (2.12)$$

где D_i – внутренний диаметр лепестков диафрагменной пружины, м.

Внутренний диаметр лепестков диафрагменной пружины можно определить из рекомендованного соотношения [4]:

$$\frac{D_e}{D_i} \geq 2,5.$$

Высоту сплошного кольца диафрагменной пружины можно найти, задаваясь значением из рекомендованного соотношения [4]:

$$\frac{h}{\delta} = 1,5 - 2,0.$$

Отношение высоты сплошного кольца диафрагменной пружины к ее толщине определяет нелинейность пружины. При $\frac{h}{\delta} \geq 1,6$ на характеристике пружины имеется большая область с постоянной осевой силой; при $\frac{h}{\delta} > 2,8$ возможно "выворачивание" пружины.

Давление на фрикционные накладки рассчитывают по формуле

$$P_0 = \frac{P_{\Sigma}}{F} = \frac{4P_{\Sigma}}{\pi(D^2 - d^2)}, \quad (2.13)$$

где P_0 – давление на фрикционные накладки, Па; F – площадь поверхности одной стороны фрикционной накладки, м^2 .

Допустимые давления на фрикционные накладки – $[P_0] = 0,15 - 0,25$ МПа [4].

Меньшие значения имеют сцепления грузовых автомобилей и автобусов или автомобилей, работающих в тяжелых до-

рожных условиях; большие значения – сцепления легковых автомобилей.

К показателям нагруженности деталей сцепления относятся удельная работа буксования (отражающая также износостойкость сцепления) и нагрев деталей сцепления при одном трогании с места.

Удельную работу буксования сцепления рассчитывают по формуле

$$q_{\text{б}} = \frac{L_{\text{б}}}{F} = \frac{4L_{\text{б}}}{\pi(D^2 - d^2)}, \quad (2.14)$$

где $q_{\text{б}}$ – удельная работа буксования сцепления, Дж/м²; $L_{\text{б}}$ – работа буксования, Дж; F – площадь поверхности одной стороны фрикционной накладки, м².

Работу буксования определяют по формуле

$$L_{\text{б}} = \frac{0,5J_a \omega_e^2 M_{\text{max}}}{M_{e \text{ max}} - M_{\Psi}}, \quad (2.15)$$

где J_a – момент инерции приведенного к коленчатому валу двигателя маховика, заменяющего поступательно движущуюся массу автомобиля, кг·м²; ω_e – угловая скорость коленчатого вала, рад/с; M_{Ψ} – момент сопротивления движению автомобиля, приведенный к коленчатому валу двигателя, Н·м.

При определении работы буксования следует иметь в виду, что формула (2.15) выведена при следующих допущениях:

- для исключения влияния водителя предполагается, что сцепление включается мгновенно;
- угловая скорость коленчатого вала двигателя в процессе включения постоянна;
- крутящий момент двигателя, равный передаваемому сцеплением моменту, растет пропорционально времени;
- момент сопротивления движению – величина постоянная.

Такая идеализация процесса включения сцепления позволяет проводить лишь ориентировочные расчеты. Для повышения точности результатов следует учитывать упругие свойства трансмиссии как колебательной системы и изменение перемен-

ных, входящих в формулу (2.15) в реальных условиях эксплуатации.

Момент инерции условного маховика, заменяющего собой поступательно движущуюся массу автомобиля, рассчитывают по формуле

$$J_a = \frac{J_M J_B}{J_M + J_B}, \quad (2.16)$$

где J_a – момент инерции условного маховика, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; J_M – момент инерции маховика двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; J_B – момент инерции условного маховика, приведенного к ведущему валу коробки передач, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Величины момента инерции маховиков приведены в табл. 2.4 [6].

Таблица 2.4

Момент инерции маховика двигателя

| | | | | | |
|-----------------------------------|------------|----------|----------|------------|----------|
| Автомобиль | ЗАЗ-968 | ВАЗ-2101 | ВАЗ-2121 | М-2140 | ГАЗ-24 |
| $J_M, \text{кг}\cdot\text{м}^2$ | 0,118 | 0,130 | 0,130 | 0,170 | 0,310 |
| Момент инерции маховика двигателя | | | | | |
| Автомобиль | УАЗ-469 | РАФ-2203 | ПАЗ-3201 | ЛиАЗ-677 | ЛАЗ-695Е |
| $J_M, \text{кг}\cdot\text{м}^2$ | 0,360 | 0,314 | 0,510 | 1,070 | 0,991 |
| Момент инерции маховика двигателя | | | | | |
| Автомобиль | ЛАЗ-699Н | ГАЗ-52 | ГАЗ-3307 | ЗИЛ-431410 | ЗИЛ-133 |
| $J_M, \text{кг}\cdot\text{м}^2$ | 1,740 | 0,491 | 0,510 | 0,991 | 0,991 |
| Момент инерции маховика двигателя | | | | | |
| Автомобиль | КамАЗ-5320 | Урал-377 | КрАЗ-257 | МАЗ-5551 | МАЗ-5432 |
| $J_M, \text{кг}\cdot\text{м}^2$ | 2,070 | 1,740 | 4,61 | 2,60 | 4,61 |

Момент инерции условного маховика, приведенного к ведущему валу коробки передач, рассчитывают по формуле

$$J_B = \frac{M_a r_k^2}{i_0^2 i_1^2}, \quad (2.17)$$

где M_a – полная масса автомобиля, кг ; r_k – радиус качения колеса, м ; i_0 – передаточное число главной передачи; i_1 – передаточное число первой ступени коробки передач.

Угловая скорость коленчатого вала двигателя для автомобилей с бензиновым двигателем определяют по формуле

$$\omega_e = \frac{\omega_M}{30} + 50\pi, \quad (2.18)$$

где ω_e – угловая скорость коленчатого вала двигателя, рад/с; ω_M – угловая скорость при максимальном крутящем моменте, рад/с.

Для автомобилей с дизелями угловая скорость коленчатого вала двигателя определяют по формуле

$$\omega_e = 0,75\omega_N, \quad (2.19)$$

где ω_N – угловая скорость при максимальной мощности, рад/с.

Угловая скорость коленчатого вала двигателя определяют по формуле

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.20)$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

Момент сопротивления движению автомобиля, приведенный к коленчатому валу двигателя, рассчитывают при допущении о равенстве радиусов качения всех колес автомобиля по формуле

$$M_\Psi = \frac{M_a g r_k \Psi}{i_0 i_1 \eta_{тр}}, \quad (2.21)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; $\psi = 0,02$ [4].

Допустимая удельная работа буксования [4]:

- для легковых автомобилей – $q_6 = 50–70$ Дж/см²;
- для грузовых автомобилей – $q_6 = 15–120$ Дж/см²;
- для автопоездов – $q_6 = 10–40$ Дж/см².

При определении теплового режима сцепления рассчитывается нагрев ведущего диска. Маховик имеет значительно большую массу, чем нажимной диск, и поэтому температура его нагрева сравнительно невелика.

При расчете нагрева ведущего диска принимается допущение, что теплопередача в окружающую среду отсутствует, и вся работа буксования используется на нагрев диска.

Нагрев ведущего диска при одном трогании с места рассчитывают по формуле

$$\Delta T = \frac{\gamma L \delta}{M_d C_d}, \quad (2.22)$$

где ΔT – нагрев ведущего диска, °С; γ – доля теплоты, поглощаемая диском; M_d – масса нажимного диска, кг; C_d – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·град).

Доля теплоты, поглощаемая диском [4]:

- для ведущего диска однодискового сцепления и среднего диска двухдискового – $\gamma = 0,5$;
- для нажимного диска двухдискового сцепления – $\gamma = 0,25$.

Радиальные размеры дисков выбираются, исходя из размеров фрикционных накладок. Толщина дисков предварительно принимается в зависимости от наружного диаметра накладок и затем уточняется по результатам теплового расчета сцепления:

$$S_d = (0,045 - 0,06)D, \quad (2.23)$$

где S_d – толщина дисков, м.

Удельная теплоемкость стали – $C_d = 481,5$ Дж/(кг·град) [5].

Допустимый нагрев нажимного диска – $\Delta T = 10-15^\circ\text{C}$ [4].

Полученная расчетная температура является условной (определение ее проведено при одном трогании автомобиля с места) и используется при сравнительной оценке конструкций сцеплений различных типов. В действительности же процесс нагрева дисков значительно сложнее из-за большого числа включений сцепления на единицу пройденного пути, особенно в условиях городского движения. Поэтому температура деталей сцепления в процессе работы автомобиля значительно выше.

3. РАСЧЕТ ПРИВОДА СЦЕПЛЕНИЯ

Классификация и требования к приводам фрикционных сцеплений подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

Удобство управления сцеплением обеспечивается правильным выбором передаточного числа привода, чтобы иметь:

1. Оптимальную величину перемещения педали, не более [5]:

- для легковых автомобилей – $S_{\text{пед}} = 160$ мм;
- для грузовых автомобилей – $S_{\text{пед}} = 190$ мм.

2. Максимальную величину усилия на педали, не более [3]:

- сцепления с усилителем – $P_{\text{пед}} = 150$ Н;

- сцепления без усилителя – $P_{пед} = 250 \text{ Н}$.

Механические приводы (рис. 3.1, а) в настоящее время применяются только на легковых автомобилях особо малого класса; на грузовых автомобилях, автобусах и легковых автомобилях малого класса и выше применяют гидропривод (рис. 3.1, б).

При расчете привода рассчитываются его передаточное число, усилие на педали и ход педали. Кроме этого, определяют геометрические размеры рычагов, цилиндров и тяг привода.

Общее передаточное число привода от педали до нажимного диска можно определить по формуле

$$i_{пр} = i_{пед} i_{в} = \frac{a}{b} \frac{c}{d}, \quad (3.1)$$

где $i_{пр}$ – общее передаточное число привода; $i_{пед}$ – передаточное число педали сцепления; $i_{в}$ – передаточное число вилки выключения; a, b – плечи педали; c, d – плечи вилки выключения.

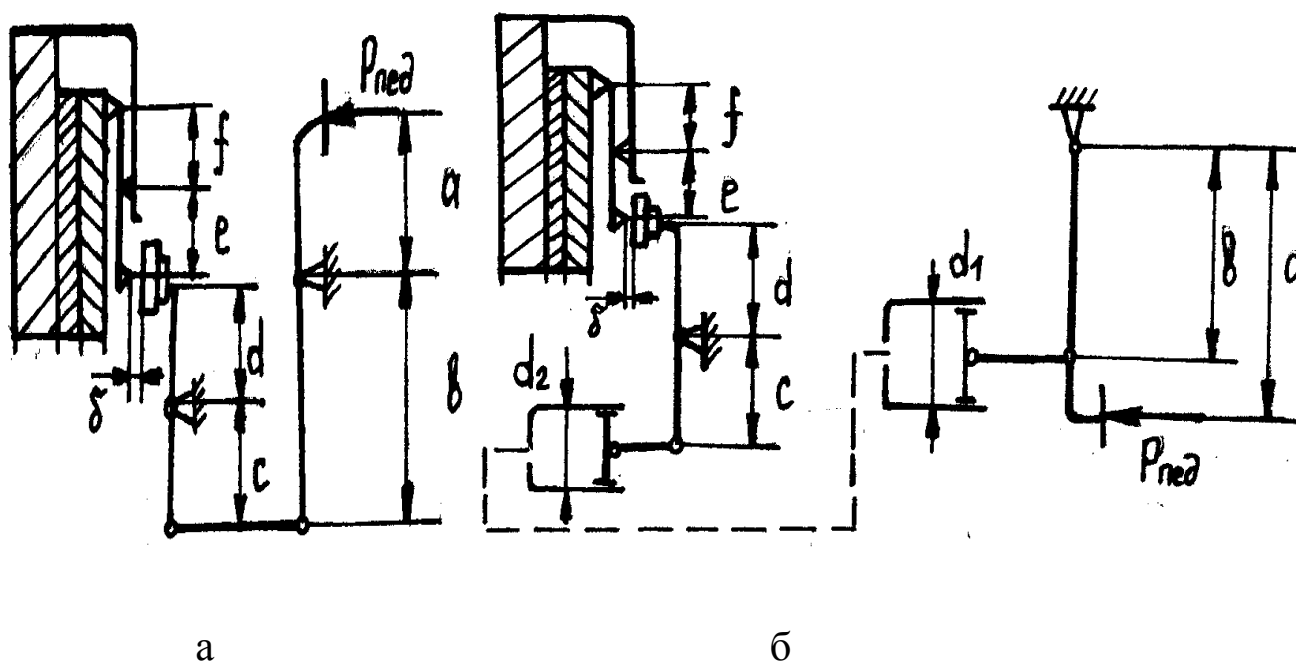


Рис. 3.1. Схемы приводов сцепления:

а – механический привод; б – гидравлический привод

Полный ход педали механического привода складывается из свободного хода педали, рабочего хода и упругих деформаций элементов привода. Полный ход педали механического привода рассчитывается по формуле

$$S_{\text{пед}} = S_{\text{св}} + S_{\text{р}} = \delta i_{\text{пр}} + \Delta S i_{\text{пр}} i_{\text{р}}, \quad (3.2)$$

где $S_{\text{пед}}$ – полный ход педали механического привода, м; $S_{\text{св}}$ – свободный ход педали, м; $S_{\text{р}}$ – рабочий ход педали, м; δ – зазор в механизме выключения (между муфтой и рычагами выключения), м; ΔS – ход нажимного диска, м; $i_{\text{р}}$ – передаточное число рычагов выключения.

Величина зазора в механизме выключения [2]:

- для сцеплений с периферийными цилиндрическими пружинами – $\delta = 1,5\text{--}2,0$ мм;
- для сцеплений с центральной диафрагменной пружиной – $\delta = 3,5\text{--}4,0$ мм.

Ход нажимного диска [5]:

- для однодисковых сцеплений – $\Delta S = 1,5\text{--}2,0$ мм;
- для двухдисковых сцеплений – $\Delta S = 2,4\text{--}2,8$ мм.

Передаточное число рычагов выключения рассчитывают по формуле

$$i_{\text{р}} = \frac{e}{f}, \quad (3.3)$$

где e , f – плечи рычагов выключения, м.

Выполненные конструкции приводов имеют обычно следующие значения передаточных чисел:

$$i_{\text{пр}} = 30\text{--}45; i_{\text{р}} = 3,8\text{--}5,5; i_{\text{в}} = 1,4\text{--}2,2 \text{ [5]}.$$

Исходя из выбранных величин необходимо определить передаточное число привода сцепления, а затем, задавшись передаточным числом вилки выключения, найти передаточное число педали.

Усилие на педали определяют по формуле

$$P_{\text{пед}} = \frac{P_{\Sigma \text{max}}}{i_{\text{пр}} i_{\text{р}} \eta_{\text{пр}}}, \quad (3.4)$$

где $P_{\text{пед}}$ – усилие на педали, Н; $\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода сцепления.

КПД привода сцепления [3]:

- для механического привода – $\eta_{\text{пр}} = 0,7\text{--}0,8$;
- для гидравлического привода – $\eta_{\text{пр}} = 0,8\text{--}0,9$.

Если усилие на педали больше допустимого, то в привод необходимо устанавливать усилитель.

Передаточное число гидропривода определяют по формуле

$$i_{\text{пр}} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \frac{a}{b} \frac{c}{d}, \quad (3.5)$$

где d_1 – диаметр главного цилиндра, м;

d_2 – диаметр исполнительного цилиндра, м.

Диаметры главного и исполнительного цилиндров выполняются обычно равными, так что

$$\frac{d_1}{d_2} \approx 1,0.$$

Полный ход педали сцепления при гидроприводе рассчитывают по формуле

$$S_{\text{пед}} = \delta i_{\text{пр}} + \Delta S i_{\text{пр}} i_p. \quad (3.6)$$

4. РАСЧЕТ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

Коробка передач – агрегат трансмиссии, предназначенный для преобразования крутящего момента и частоты вращения, развиваемых на коленчатом валу двигателя, для получения различных тяговых усилий на ведущих колесах при трогании автомобиля с места и его разгоне. Коробка передач служит также для обеспечения возможности движения автомобиля задним ходом и длительного отсоединения двигателя от трансмиссии при его пуске, на стоянке или при движении автомобиля накатом.

Классификация и требования к конструкции коробки передач подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

На современных автотранспортных средствах наибольшее распространение получили двух- и трехвальные ступенчатые коробки передач с шестернями постоянного зацепления. Для включения передач используют зубчатые муфты и синхронизаторы. Современные коробки передач имеют высокий КПД ($\eta = 0,96-0,98$) [3].

При рассмотрении конструкций коробок передач используется такое понятие, как "диапазон передаточных чисел коробки передач" – отношение передаточного числа низшей ступени ко-

робки передач к передаточному числу высшей ступени. Величина диапазона [3] для:

- легковых автомобилей – $D = 3,0–4,5$;
- грузовых автомобилей – $D = 5,0–8,0$;
- ТнТТМО высокой проходимости и тягачей – $D = 10,0–20,0$.

Преимуществами двухвальных коробок передач (рис. 4.1, а) являются:

- 1) более простая конструкция;
- 2) низкий уровень шума;
- 3) высокий КПД на низших ступенях;
- 4) удобство компоновки;
- 5) возможность снижения массы.

К недостаткам можно отнести:

1) отсутствие прямой ступени (зубчатые колеса и подшипники постоянно под нагрузкой);

- 2) максимальное передаточное число первой ступени не выше $i_1 = 4,0 – 4,5$.

Преимуществами трехвальных коробок передач (рис. 4.1, б) являются:

1) наличие прямой передачи (при этом КПД максимален; зубчатые колеса, подшипники промежуточного вала нагрузку не воспринимают, что ведет к снижению их износа и уменьшению уровня шума);

2) две пары зубчатых колес в зацеплении позволяют получить большое передаточное число при малом межосевом расстоянии.

Недостатком является некоторое снижение КПД на промежуточных ступенях.

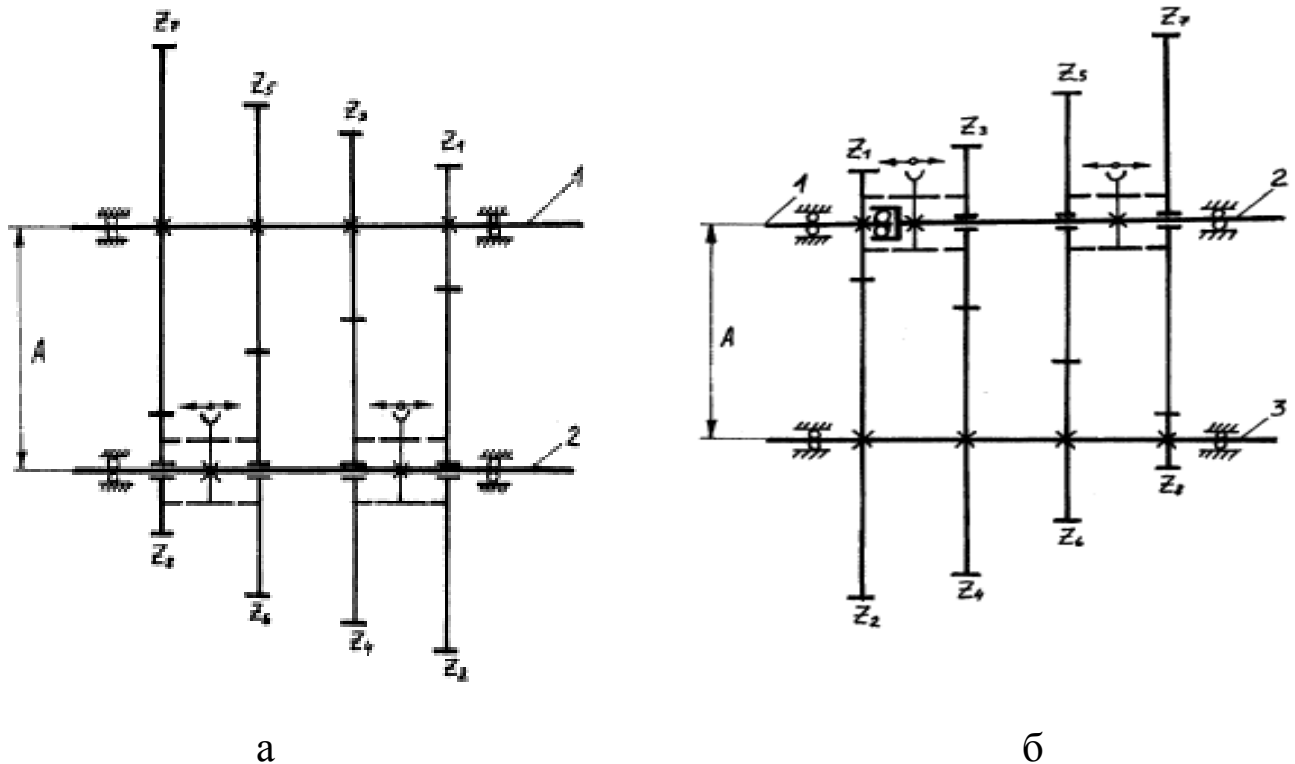


Рис. 4.1. Принципиальная кинематическая схема четырехступенчатой коробки передач: а – двухвальной коробки передач, б – трехвальной коробки передач: 1 – ведущий вал; 2 – ведомый вал; 3 – промежуточный вал

Двухвальные коробки передач применяют на переднеприводных автомобилях малого класса и заднеприводных – с поперечным расположением двигателя. Трехвальные коробки передач используют для легковых автомобилей, выполненных по классической схеме, грузовых автомобилей и автобусов

4.1. Определение основных параметров коробки передач

После выбора схемы коробки передач определяют ее основные размеры. В первую очередь оценивается межосевое расстояние. Межосевое расстояние приблизительно можно определить по формуле

$$A = a \sqrt[3]{M_{e \max}} \quad (4.1)$$

где $M_{e \max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м; A – межосевое расстояние, мм; a – коэффициент.

Величина коэффициента зависит от типа транспортного средства [3]:

- для легковых автомобилей – $a = 14,5–16,0$;
- для грузовых автомобилей – $a = 17,0–19,5$;
- для транспортных средств с дизелями – $a = 20,5–21,5$.

Для коробок передач грузовых автомобилей рекомендуется следующий рациональный ряд межосевых расстояний (табл. 4.1) [5]. Для коробок передач легковых автомобилей:

$$A = 65 – 80 \text{ мм [5].}$$

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения параметров коробок передач

| $M_{e \text{ max}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$ | 170 | 260 | 340–420 | 700–850 | 900–1150 |
|---------------------------------------------|-----|-----|---------|---------|----------|
| $A, \text{ мм}$ | 85 | 105 | 125 | 140 | 160 |
| Число ступеней | 4 | 5 | 5 | 5 | 10 |

Затем устанавливается нормальный модуль зубчатых колес. Нормальный модуль определяется из условий изгибной прочности на усталость или статической прочности при действии максимального момента.

При выборе модуля необходимо учитывать, что его уменьшение при увеличении ширины зубчатого венца зубчатых колес приводит к уменьшению уровня шума. Для уменьшения массы коробки передач следует увеличивать модуль путем уменьшения ширины венцов (при том же межосевом расстоянии).

Для грузовых автомобилей уменьшение уровня шума имеет меньшее значение, чем для легковых, и следует большее внимание уделять уменьшению массы зубчатых передач.

Нормальный модуль определяют по формуле

$$m_H = \frac{d_0}{z}, \quad (4.2)$$

где m_H – нормальный модуль, м; d_0 – диаметр начальной окружности, м; z – число зубьев зубчатого колеса.

Торцевой модуль рассчитывают по формуле

$$m_s = \frac{d_0 \cos \beta}{z}, \quad (4.3)$$

где m_s – торцевой модуль, м; β – угол наклона спирали зубьев, град.

Как правило, модуль принимается одинаковый для всех зубчатых колес коробки передач, что дает некоторые технологические преимущества. Величина модуля зависит от передаваемого момента и типа транспортного средства (табл. 4.2) [4].

Таблица 4.2

Значения нормального модуля зубчатых колес коробок передач

| $M_{кр}$, Н·м | m_n , мм | Тип транспортного средства |
|----------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100–200 | 2,25–2,75 | Легковые автомобили особо малого и малого класса |
| 200–400 | 2,75–3,5 | Легковые автомобили среднего класса и грузовые малой грузоподъемности |
| 400–600 | 3,5–4,25 | Грузовые автомобили средней грузоподъемности |
| 600–800 | 4,25–5,0 | Грузовые автомобили большой грузоподъемности |
| 800–1000 | 5,0–6,0 | Первая передача в коробках передач грузовых автомобилей большой грузоподъемности при малом числе зубьев шестерни ($Z=12$) |

Стандартные значения нормального модуля, мм [5]:

$m_n=1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0$ и т. д.

Большинство зубчатых колес в коробках передач выполняют косозубыми для уменьшения шума при работе и повышения прочности. При выборе угла наклона учитывают ряд факторов: необходимость обеспечения достаточного осевого перекрытия зубьев; ограничение осевой силы, действующей на подшипники валов; необходимость выдержать заданное межосевое расстояние; условие уравнивания осевых сил на промежуточном валу (для трехвальных коробок передач)

Угол наклона спирали зубьев [5]:

- для зубчатых колес двухвальных коробок передач легковых автомобилей – $\beta = 20–25^\circ$;
- для зубчатых колес трехвальных коробок передач легковых автомобилей – $\beta = 22–34^\circ$;

- для зубчатых колес коробок передач грузовых автомобилей – $\beta = 18\text{--}26^\circ$.

Рабочую ширину венцов зубчатых колес коробки передач можно определить из соотношения:

$$b = (5 - 8) m_H = (0,19 - 0,23) A, \quad (4.4)$$

где b – рабочая ширина венца зубчатого колеса, м.

При определении ширины венцов зубчатых колес следует учитывать, что при применении зубчатых колес большей ширины повышаются требования к жесткости валов коробки передач.

Число зубьев колес определяется по известному передаточному числу коробки передач (при условии равенства модулей). Так, например, для второй ступени трехвальной четырехступенчатой коробки передач (рис. 4.1, б):

$$i_2 = i_{II} i_{\text{пары}} = \frac{Z_2 Z_5}{Z_1 Z_6}, \quad (4.5)$$

где i_{II} – передаточное число привода промежуточного вала; $i_{\text{пары}}$ – передаточное число зубчатой пары второй ступени коробки передач.

В обозначении числа зубьев принято следующее: нечетные индексы относятся к ведущим зубчатым колесам, четные – к ведомым шестерням.

Число зубьев зубчатого колеса первичного вала $Z_1 = 17\text{--}27$ [5], передаточное число привода промежуточного вала $i_{II} = 1,6\text{--}2,5$ [2].

Задаваясь числом зубьев зубчатого колеса первичного вала и передаточным числом привода промежуточного вала, можно определить число зубьев шестерни привода промежуточного вала.

После этого необходимо проверить межосевое расстояние по числу зубьев:

$$A = \frac{m_H (Z_1 + Z_2)}{2 \cos \beta}. \quad (4.6)$$

При определении числа зубьев необходимо учитывать, что нечетное число суммы зубьев передачи предпочтительнее, так как уменьшается возможность получения суммы чисел зубьев с

общим множителем, что приводит к неравномерности износа зубьев.

Путем варьирования углом наклона спирали зубьев в заданных пределах необходимо добиться точного совпадения определяемого межосевого расстояния с вычисленным по формуле (4.1). В крайнем случае, можно изменять модуль зубчатых колес.

Передаточное число зубчатой пары можно определить из формулы (4.5):

$$i_{\text{пары}} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{Z_5}{Z_6}. \quad (4.7)$$

Число зубьев зубчатого колеса на ведомом валу можно рассчитать по формуле

$$Z_6 = \frac{2 A \cos \beta'}{m_H (i_{\text{пары}} + 1)}, \quad (4.8)$$

где β' – угол наклона спирали зубьев для данной зубчатой пары.

Затем находится число зубьев шестерни на промежуточном валу.

Далее необходимо проверить межосевое расстояние по числу зубьев рассчитанной зубчатой пары.

При расчетах необходимо помнить, что межосевое расстояние и число зубьев зубчатого колеса должны быть целыми числами.

После определения числа зубьев для каждой пары зубчатых колес необходимо уточнить передаточные числа коробки передач на каждой ступени.

Число зубьев шестерни первой передачи, располагающейся на промежуточном валу коробки передач, выбирается минимальным – $Z_8=13-17$ [3], что обуславливается применением шестерни первичного вала с достаточно большим диаметром (для размещения в ней подшипника вторичного вала).

Передаточное число пары зубчатых колес должно быть на низшей ступени не выше $i_{\text{пары}}=3,5-4,0$; на высшей не выше – $i_{\text{пары}}=0,6-0,8$ [2].

Для двухвальной коробки передач расчет ведется аналогично, однако в формулах отсутствует передаточное число при-

вода промежуточного вала и по формуле (4.8) определяется число зубьев зубчатых колес с нечетными индексами.

4.2. Расчет зубчатых колес коробки передач на прочность

При расчете коробки передач расчетный момент определяется по максимальному крутящему моменту двигателя. Расчет шестерен производится: на прочность – по напряжениям изгиба зубьев и на долговечность – по контактным напряжениям. В основу расчета положена зависимость Беляева – Герца для наибольших нормальных напряжений в зоне контакта, возникающих при сжатии двух цилиндров.

Напряжение изгиба рассчитывают по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{P}{b \pi m_H y}, \quad (4.9)$$

где $\sigma_{и}$ – напряжение изгиба, Па; P – окружное усилие, Н; y – коэффициент формы зуба.

Окружное усилие рассчитывают по формуле

$$P = \frac{M_{e \max} i_k^*}{r_0} = \frac{2 M_{e \max} i_k^* \cos \beta}{m_H Z}, \quad (4.10)$$

где i_k^* – передаточное число до рассчитываемого зубчатого колеса; r_0 – радиус начальной окружности зубчатого колеса, м.

Коэффициент формы зуба приближенно определяют по формуле

$$y = 0,154 - \frac{1,23}{Z} + \frac{3,33}{Z^2}. \quad (4.11)$$

Допустимые напряжения изгиба зубьев приведены в табл. 4.3 [2].

Таблица 4.3

Допустимые напряжения изгиба зубьев, МПа

| Ступень | Легковые автомобили | Грузовые автомобили |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Первая, задний ход | 350 – 400 | 500 – 900 |
| Высшие ступени | 180 – 350 | 150 – 400 |

Контактные напряжения определяют по формуле:

$$\sigma_{\text{сж}} = 0,418 \cos \beta \sqrt{\frac{P E}{b \sin \alpha \cos \alpha} \left(\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \right)}, \quad (4.12)$$

где E – модуль упругости 1-го рода Па; $\sigma_{\text{сж}}$ – контактные напряжения, Па; α – угол зацепления шестерен, град; r_1, r_2 – радиусы начальных окружностей шестерен в паре, м; "+" – для внешнего зацепления; "-" – для внутреннего зацепления.

Модуль упругости 1-го рода – $E = 2 \cdot 10^5$ МПа [4].

Угол зацепления шестерен – $\alpha = 20^\circ$ [5].

Допустимые напряжения сжатия приведены в табл. 4.4 [2].

Таблица 4.4

Допустимые напряжения сжатия, МПа

| Ступень | Легковые автомобили и грузовые малой грузоподъемности | Грузовые Автомобили |
|--------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|
| Первая, задний ход | 1500 – 2000 | 3000 – 4000 |
| Высшие ступени | 1000 – 1400 | 2000 – 2800 |

4.3. Расчет синхронизаторов

Наибольшее распространение на современных транспортных средствах получили инерционные конусные синхронизаторы (рис. 4.2), которые не допускают включения передачи до полного выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей.

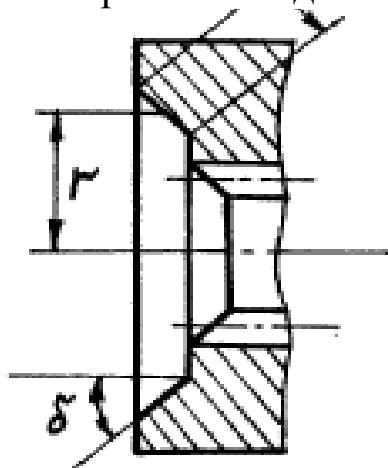


Рис. 4.2. Расчетная схема инерционного конусного синхронизатора

Цель расчета синхронизатора – определение углов наклона конусов и блокирующих поверхностей, обеспечивающих соблюдение условия невключения передачи до полного выравнивания угловых скоростей соединяемых деталей, а также момента трения и времени синхронизации.

При расчетах синхронизатора пренебрегают влиянием сопротивления масла на снижение частоты вращения зубчатых колес, так как оно при нормальном температурном режиме не оказывает существенного влияния на процесс синхронизации. Предполагается также, что скорость автомобиля за время синхронизации не изменяется.

Синхронизаторы принято оценивать по удельной работе буксования.

Удельную работу буксования рассчитывают по формуле

$$l_c = \frac{L_c}{F_c}, \quad (4.13)$$

где l_c – удельная работа буксования, МДж/м²; L_c – работа буксования при выравнивании угловых скоростей вала и установленного на нем зубчатого колеса, Дж; F_c – площадь поверхности трения синхронизатора, м².

Работу буксования определяют по формуле

$$L_c = J_{\text{пр}} \frac{\omega_e^2}{2} \left(\frac{1}{i_{k+1}} - \frac{1}{i_k} \right)^2, \quad (4.14)$$

где $J_{\text{пр}}$ – суммарный приведенный момент инерции, кг·м²; ω_e – расчетная угловая скорость коленчатого вала двигателя при переключении передач, рад/с; i_k – передаточное число выключаемой передачи; i_{k+1} – передаточное число включаемой передачи.

При этом необходимо учитывать, что в пятиступенчатых коробках передач грузовых автомобилей синхронизированы высшие ступени, а первая передача и передача заднего хода включаются зубчатой муфтой. У коробок передач легковых автомобилей синхронизированы все ступени.

Для трехвальной коробки передач суммарный приведенный момент инерции можно определить следующим образом:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{сц}} + J_{\text{вщ}} + J_{\text{к}}^{\text{вщ}} + (J_{\text{пром}} + \sum J_{\text{к}}^{\text{пром}}) / i_{\text{п}}^2 + \sum (J_{\text{к}}^{\text{вд}} / i_{\text{к}}^2), \quad (4.15)$$

где $J_{\text{сц}}$ – момент инерции ведомого диска сцепления, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{\text{вщ}}$ – момент инерции ведущего вала коробки передач, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{\text{к}}^{\text{вщ}}$ – момент инерции ведущей шестерни привода промежуточного вала, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{\text{пром}}$ – момент инерции промежуточного вала, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $\Sigma J_{\text{к}}^{\text{пром}}$ – момент инерции шестерен постоянного зацепления на промежуточном валу, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_{\text{к}}^{\text{вд}}$ – момент инерции зубчатого колеса на ведомом валу коробки передач, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Для двухвальной коробки передач:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{сц}} + J_{\text{вщ}} + \Sigma J_{\text{к}}^{\text{вщ}} + \Sigma (J_{\text{к}}^{\text{вд}} / i_{\text{к}}^2), \quad (4.16)$$

где $\Sigma J_{\text{к}}^{\text{вщ}}$ – суммарный момент инерции зубчатых колес на ведущем валу, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент инерции диска (шестерни, вала) относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости его вращения, в общем случае можно определить по формуле

$$J = \frac{1}{2} M R^2, \quad (4.17)$$

где J – момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; M – масса диска, кг ; R – радиус диска, м .

Для нахождения моментов инерции валов необходимо определить их размеры. Размеры валов коробок передач выбираются, исходя из условия обеспечения достаточной их жесткости.

Диаметр ведущего вала коробки передач приближенно определяют по формуле

$$d_{\text{вщ}} = k \sqrt[3]{M_e \max}, \quad (4.18)$$

где $d_{\text{вщ}}$ – диаметр ведущего вала, мм ; k – коэффициент.

Коэффициент – $k = 4,0 - 4,6$ [5].

Из рекомендуемого отношения диаметра ведущего вала к его длине [2] можно найти длину вала:

$$\frac{d_{\text{вщ}}}{l_{\text{вщ}}} = 0,16 - 0,18, \quad (4.19)$$

где $l_{\text{вщ}}$ – длина ведущего вала, мм .

Диаметр ведомого и промежуточного валов в средней их части (валы ступенчатые) определяют по формуле

$$d_{\text{вд(пром)}} \approx 0,45A, \quad (4.20)$$

где $d_{\text{вд (пром)}}$ – диаметр ведомого (промежуточного) вала, м.

Отношения диаметров валов к их длинам для промежуточного и ведомого валов соответственно [2]:

$$\frac{d_{\text{пром}}}{l_{\text{пром}}} = 0,16 - 0,18;$$

$$\frac{d_{\text{вд}}}{l_{\text{вд}}} = 0,18 - 0,21.$$

Длину ведущего вала двухвальной коробки передач приближенно рассчитывают по формуле

$$l_{\text{вщ}} = (3,0 - 3,4) A + 0,1. \quad (4.21)$$

Расчетная угловая скорость коленчатого вала двигателя при переключении передач приведена в табл. 4.5 [5].

Таблица 4.5

Расчетная угловая скорость коленчатого вала двигателя при переключении передач, рад/с

| Направление переключения передач | Бензиновый двигатель | | Дизель |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| | Легковой автомобиль | Грузовой автомобиль | Грузовой автомобиль |
| С низшей на высшую | $(0,6-0,7)\omega_N$ | $(0,7-0,8)\omega_N$ | $(0,75-0,85)\omega_N$ |
| С высшей на низшую | $(0,4-0,5)\omega_N$ | $(0,5-0,6)\omega_N$ | $(0,9-1,0)\omega_M$ |

где ω_N , ω_M – угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальной мощности и максимальном крутящем моменте соответственно, рад/с.

Площадь поверхности трения синхронизатора определяют по формуле

$$F_c = 2 \pi r b_c, \quad (4.22)$$

где r – средний радиус поверхности трения конуса синхронизатора, м; b_c – ширина кольца трения по образующей конуса, м.

Средний радиус поверхности трения рассчитывают по формуле

$$r = \frac{M_T \sin \delta}{\mu S}, \quad (4.23)$$

где M_T – момент трения на поверхности конуса, Н·м; δ – половина угла при вершине конуса, град; μ – коэффициент трения; S – осевая сила, Н.

Момент трения на поверхности конуса рассчитывают по формуле

$$M_T = \frac{J_{\text{пр}} \omega_e \left(\frac{1}{i_{\text{к}+1}} - \frac{1}{i_{\text{к}}} \right)}{t_c}, \quad (4.24)$$

где t_c – время синхронизации, с.

Время синхронизации приведено в табл. 4.6 [5].

Таблица 4.6

Время синхронизации, с

| Передачи | Легковые автомобили | Грузовые автомобили |
|----------|---------------------|---------------------|
| Низшие | 0,5–0,8 | 1,0–1,5 |
| Высшие | 0,15–0,3 | 0,3–0,8 |

Одним из важнейших конструктивных параметров синхронизатора является угол конусности поверхностей трения. Низший предел половины угла конусности для пары "сталь – бронза" – $\delta = 6\text{--}12^\circ$ [4]. Из-за возможного заклинивания поверхностей трения половина угла конусности должна быть больше угла трения, который связан с коэффициентом трения зависимостью:

$$\text{tg } \rho = \mu, \quad (4.25)$$

где ρ – угол трения, град.

Коэффициент трения для пары "сталь – бронза" – $\mu = 0,06\text{--}0,1$ [4].

Осевую силу определяют по формуле

$$S = P_{\text{рыч}} i_{\text{рыч}}, \quad (4.26)$$

где $P_{\text{рыч}}$ – усилие, прикладываемое водителем к рычагу коробки передач, Н; $i_{\text{рыч}}$ – передаточное число рычага переключения передач (отношение хода рукоятки к ходу муфты).

Усилие, прикладываемое водителем к рычагу коробки передач [5]:

- для легковых автомобилей и автобусов – $P_{\text{рыч}} \leq 60$ Н;
- для грузовых автомобилей – $P_{\text{рыч}} \leq 100$ Н.

Передаточное число рычага переключения передач [5]:

- для легковых автомобилей – $i_{\text{рыч}} = 2\text{--}5$;

- для грузовых автомобилей – $i_{\text{рыч}} = 7 - 13$.

Ширину кольца трения по образующей конуса определяют по формуле

$$b_c = \frac{M_T}{2 \pi \mu r^2 P_N}, \quad (4.27)$$

где P_N – допустимое давление на поверхность конуса, Па.

Допустимое давление – $P_N = 1,0 - 1,5$ МПа [5].

Допустимая удельная работа буксования [4]:

- для легковых автомобилей – $[l_c] = 0,03 - 0,1$ МДж/м²;
- для грузовых автомобилей – $[l_c] = 0,05 - 0,4$ МДж/м².

Нижние пределы соответствуют высшим ступеням коробки передач, верхние – низшим.

5. РАСЧЕТ КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Карданная передача – механизм трансмиссии автомобиля, состоящий из одного или нескольких карданных валов и карданных шарниров, предназначенный для передачи крутящего момента между агрегатами, оси валов которых не совпадают или могут изменять свое относительное положение при движении автомобиля.

Классификация и требования к карданным передачам подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

5.1. Расчет карданной передачи с шарнирами неравных угловых скоростей

При расчете карданных передач с шарнирами неравных угловых скоростей рассчитываются карданный вал, крестовина, вилки и подшипники карданного шарнира.

5.1.1. Расчет карданного вала

Для определения основных размеров карданного вала необходимо определить максимальную частоту вращения карданного вала, соответствующую максимальной скорости автомобиля.

Максимальную частоту вращения карданного вала, соответствующую максимальной скорости автомобиля, рассчитывают по формуле

$$n_{\max} = n_N i_B k, \quad (5.1)$$

где n_{\max} – максимальная частота вращения карданного вала, об/мин; n_N – частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности, об/мин; i_B – передаточное число высшей ступени коробки передач; k – коэффициент.

Значения коэффициента:

- для бензиновых двигателей без ограничителя максимальной частоты вращения коленчатого вала – $k = 1,2$;
- для дизелей и бензиновых двигателей с ограничителем максимальной частоты вращения коленчатого вала – $k=1,0$.

Для определения основных размеров карданного вала необходимо также определить расчетный крутящий момент на карданном валу на низшей ступени в коробке передач.

Расчетный крутящий момент на карданном валу определяют по формуле

$$M_K = M_{e \max} i_1, \quad (5.2)$$

где M_K – расчетный момент на карданном валу, Н·м; i_1 – передаточное число первой ступени коробки передач.

После определения максимальной частоты вращения карданного вала и расчетного крутящего момента на карданном валу из табл. 5.1 [5], выбирают соответствующие размеры сечений труб карданных валов.

Критическую частоту вращения карданного вала определяют по формуле

$$n_{кр} = 12 \cdot 10^4 \frac{\sqrt{D_B^2 + d_B^2}}{L_B^2}, \quad (5.3)$$

где $n_{кр}$ – критическая частота вращения карданного вала, об/мин; D_B – внешний диаметр карданного вала, м; d_B – внутренний диаметр карданного вала, м; L_B – длина карданного вала, м.

Расчетная критическая частота вращения карданного вала обычно превосходит действительное значение вследствие податливости опор, неточной балансировки вала, наличия зазоров в шлицевых соединениях. Опыт эксплуатации показал, что для

удовлетворительной работы карданной передачи необходимо вводить коэффициент запаса по критической частоте вращения:

$$K = \frac{n_{\text{кр}}}{n_{\text{max}}} = 1,5 - 2,0. \quad (5.4)$$

Напряжение кручения трубчатого вала рассчитывают по формуле

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{к}}}{W_{\text{кр}}}, \quad (5.5)$$

где $\tau_{\text{кр}}$ – напряжение кручения трубчатого вала, Па; $W_{\text{кр}}$ – момент сопротивления сечения кручению, м³.

Момент сопротивления нестандартного сечения кручению рассчитывают по формуле

$$W_{\text{кр}} = \frac{\pi (D_{\text{в}}^4 - d_{\text{в}}^4)}{16 D_{\text{в}}}. \quad (5.6)$$

Допустимые напряжения кручения [4]:

* для карданных валов легковых автомобилей – $[\tau_{\text{кр}}] = 25-55$ МПа;

* для карданных валов грузовых автомобилей – $[\tau_{\text{кр}}] = 100-120$ МПа.

На жесткость карданный вал рассчитывают по углу закручивания:

$$\Theta = \frac{M_{\text{к}} L_{\text{в}} 180}{\pi J_{\text{кр}} G}, \quad (5.7)$$

где Θ – угол закручивания карданного вала, град; $J_{\text{кр}}$ – полярный момент инерции сечения, м⁴; G – модуль упругости при кручении, Па.

Полярный момент инерции нестандартного сечения трубчатого вала определяют по формуле

$$J_{\text{кр}} = \frac{\pi (D_{\text{в}}^4 - d_{\text{в}}^4)}{32}. \quad (5.8)$$

Модуль упругости при кручении – $G = 8,5 \cdot 10^4$ МПа [5].

Допустимый угол закручивания – $[\Theta] = 7 - 8^\circ$ на один метр длины [4].

Таблица 5.1
Размеры сечений труб карданных валов и их нагрузочная способ-
НОСТЬ

| Размеры сечения | | Момент сопротивления сечения кручению, см ³ | Полярный момент инерции сечения, см ⁴ | Расчетный крутящий момент на карданном валу, Н·м, при напряжении кручения, | | Допустимая длина карданного вала, см, при максимальной частоте вращения, | | |
|------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | 100 – 120 МПа | 25 – 55 МПа | 3000 мин ⁻¹ | 4000 мин ⁻¹ | 5000 мин ⁻¹ |
| внутренний диаметр, мм | толщина стенки, мм | | | | | | | |
| 45 | 2,5 | 8,44 | 21,10 | 844–1000 | 211–464 | 134 | 116 | 104 |
| 46 | 2,5 | 8,81 | 22,46 | 881–1050 | 220–484 | 137 | 119 | 106 |
| 55 | 2,0 | 9,87 | 29,13 | 977–1180 | 247–543 | 149 | 129 | 115 |
| 55 | 2,5 | 12,47 | 37,40 | 1247–1500 | 312–686 | 150 | 130 | 116 |
| 55 | 3,5 | 17,82 | 55,23 | 1783–2140 | 445–979 | 151 | 131 | 117 |
| 63 | 3,5 | 23,16 | 81,06 | 2316–2780 | 579–1273 | 161 | 139 | 125 |
| 66 | 2,0 | 14,12 | 49,43 | 1412–1700 | 353–776 | 162 | 140 | 126 |
| 71 | 1,6 | 12,97 | 48,11 | 1297–1560 | 324–712 | 168 | 145 | 130 |
| 71 | 1,8 | 14,63 | 54,57 | 1463–1750 | 366–805 | 168 | 146 | 130 |
| 71 | 2,0 | 16,30 | 61,14 | 1630–1950 | 407–895 | 168 | 146 | 130 |
| 71 | 2,1 | 17,15 | 64,48 | 1775–2060 | 429–943 | 169 | 146 | 131 |
| 71 | 2,2 | 17,99 | 67,83 | 1779–2180 | 450–990 | 169 | 147 | 131 |
| 71 | 2,5 | 20,54 | 78,05 | 2054–2460 | 513–1128 | 169 | 147 | 131 |
| 71 | 3,0 | 24,84 | 95,63 | 2484–2980 | 621–1366 | 170 | 147 | 132 |
| 82 | 2,5 | 27,26 | 118,60 | 2726–3280 | 621–1366 | 181 | 157 | 140 |
| 82 | 3,0 | 32,93 | 144,90 | 3293–3950 | 621–1366 | 182 | 158 | 141 |
| 82 | 3,5 | 38,67 | 172,10 | 3867–4640 | 621–1366 | 182 | 158 | 141 |
| 82 | 4,0 | 44,51 | 200,30 | 4451–5340 | 621–1366 | 183 | 159 | 142 |
| 94 | 3,5 | 50,51 | 255,10 | 5051–6050 | 621–1366 | 195 | 169 | 151 |
| 94 | 4,0 | 58,08 | 296,20 | 5808–6950 | 621–1366 | 195 | 169 | 151 |
| 100,5 | 6,0 | 101,50 | 571,00 | 10150–12200 | 621–1366 | 202 | 175 | 157 |
| 104 | 4,0 | 70,76 | 396,30 | 7076–8500 | 621–1366 | 205 | 178 | 159 |
| 104 | 4,5 | 80,03 | 452,20 | 8003–9600 | 621–1366 | 206 | 178 | 159 |
| 104 | 5,0 | 89,40 | 509,60 | 8940–10700 | 621–1366 | 206 | 178 | 160 |

5. 2. Расчет крестовины карданного шарнира

Размеры крестовины карданного шарнира (рис. 2.1) определяют размеры всего карданного шарнира.

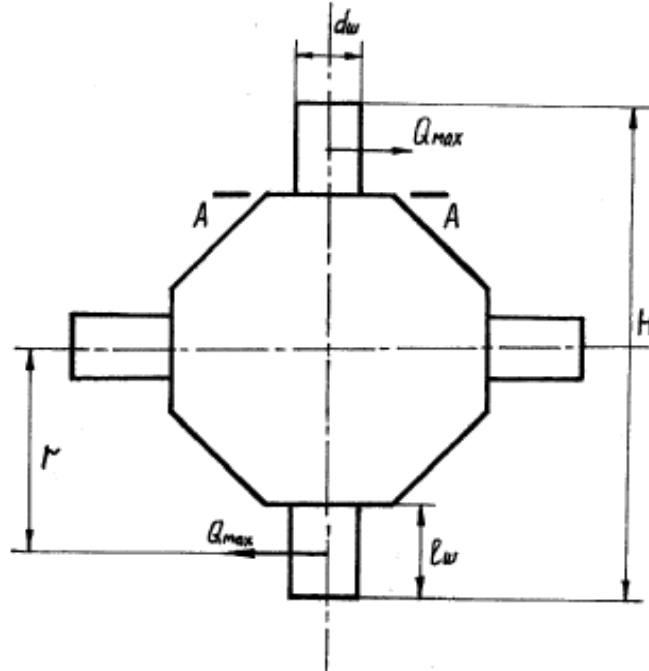


Рис. 5.1. Расчетная схема крестовины карданного шарнира

Размеры крестовины находят из условий, что крестовина не будет иметь остаточных деформаций под действием меньшей из величин максимального расчетного крутящего момента на карданном валу, определенного по двигателю или по сцеплению.

Высоту крестовины карданного шарнира по шипам, исходя из максимального крутящего момента по двигателю, определяют по формуле

$$H = 1,57 \sqrt[3]{M_K}, \quad (5.9)$$

где H – высота крестовины карданного шарнира по шипам, см.

Высоту крестовины карданного шарнира по шипам, исходя из максимального крутящего момента по сцеплению, определяют по формуле

$$H = 1,57 \sqrt[3]{\frac{85 G_{сц} r_K \varphi}{i_0}}, \quad (5.10)$$

где $G_{\text{сц}}$ – вес, приходящийся на мост, к которому подводится крутящий момент через рассчитываемую карданную передачу, кН; φ – коэффициент сцепления, i_0 – передаточное число главной передачи.

Коэффициент сцепления принимают – $\varphi = 0,85$ [5].

Определенная таким образом высота крестовины по шипам соответствует карданным шарнирам автомобилей с бензиновыми двигателями. Если крутящий момент передается от дизеля, то необходимо в подкоренное выражение формулы (5.9) добавить коэффициент, определенный из выражения (5.4).

По определенной высоте крестовины из табл. 5.2 [5] выбирают соответствующий типоразмер карданного шарнира.

Шипы крестовины карданного шарнира рассчитывают по напряжениям изгиба и среза.

Напряжение изгиба шипа в опасном сечении А – А определяют по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{Q_{\text{max}} l_{\text{ш}}}{2 W_{\text{ш}}}, \quad (5.11)$$

где $\sigma_{\text{и}}$ – напряжение изгиба шипа, Па; Q_{max} – максимальная нагрузка на шип крестовины, Н; $l_{\text{ш}}$ – длина шипа, м; $W_{\text{ш}}$ – момент сопротивления сечения шипа изгибу, м^3 .

При расчете максимальной нагрузки на шип крестовины принимают, что условно сосредоточенная сила действует в середине шипа.

Максимальную нагрузку на шип крестовины карданного шарнира рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{max}} = \frac{M_{\text{к}}}{2 r \cos \gamma}, \quad (5.12)$$

где r – плечо приложения максимальной нагрузки, м; γ – угол наклона осей карданной передачи, град.

Плечо приложения максимальной нагрузки (расстояние от центра крестовины до середины шипа) можно определить по формуле

$$r = \frac{H_1 + H_2}{4}, \quad (5.13)$$

где H_1, H_2 – расстояние между внутренними и наружными плоскостями вилки карданного шарнира соответственно, м.

Угол наклона осей карданной передачи – $\gamma = 15\text{--}20^\circ$ [2].

Высоту шипа можно приближенно принять равной длине иглы подшипника карданного шарнира.

Таблица 5.2

Основные размеры крестовин карданных шарниров
неравных угловых скоростей

| Размеры, мм | Типоразмер | | | | | | | | |
|----------------|------------|--------|--------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | I | II | III | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| H | 57,17 | 74,2 | 80,0 | 80,0 | 90,0 | 108,0 | 127,0 | 147,0 | 165,0 |
| $d_{\text{ш}}$ | 14,725 | 15,23 | 16,3 | 16,3 | 22,0 | 25,0 | 33,65 | 33,65 | 45,0 |
| H_1 | 64,260 | 55,0 | 60,0 | – | – | – | – | – | – |
| H_2 | – | – | – | – | 98,0 | 118,0 | 135,0 | 155,0 | 173,0 |
| B | 36,0 | 45,0 | 40,0 | 40,0 | 50,0 | 65,0 | 74,0 | 86,0 | 85,0 |
| D | 23,823 | 28,00 | 30,0 | 30,0 | 35,0 | 39,0 | 50,0 | 50,0 | 62,0 |
| Подшипник | 904902 | 704902 | 704702 K2 | T04702 KY2 | 804704 | 804805 | 804907 | 804707 | 804709 |
| $Z_{\text{и}}$ | 22 | 22 | 29 | 20 | 26 | 29 | 38 | 38 | 50 |
| $D_{\text{и}}$ | 2,4 | 2,5 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| $l_{\text{и}}$ | 10,0 | 12,5 | 13,8 | 13,5 | 18,0 | 18,1 | 18,0 | 24,0 | 24,0 |

Момент сопротивления сечения шипа изгибу определяют по формуле

$$W_{\text{ш}} = \frac{\pi d_{\text{ш}}^3}{32} \approx 0,1d_{\text{ш}}^3, \quad (5.14)$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр шипа крестовины, м.

Допустимые напряжения изгиба – $[\sigma_{\text{и}}] = 250\text{--}300$ МПа [4].

Напряжение среза шипа крестовины определяют по формуле

$$\tau = \frac{4 Q_{\text{max}}}{\pi d_{\text{ш}}^2}, \quad (5.15)$$

где τ – напряжение среза шипа крестовины, Па.

Допустимые напряжения – $[\tau] = 60\text{--}80$ МПа [4].

5.3. Расчет вилки карданного шарнира

Вилка карданного шарнира (рис. 5.2) под действием максимальной нагрузки на шип крестовины испытывает изгиб и кручение.

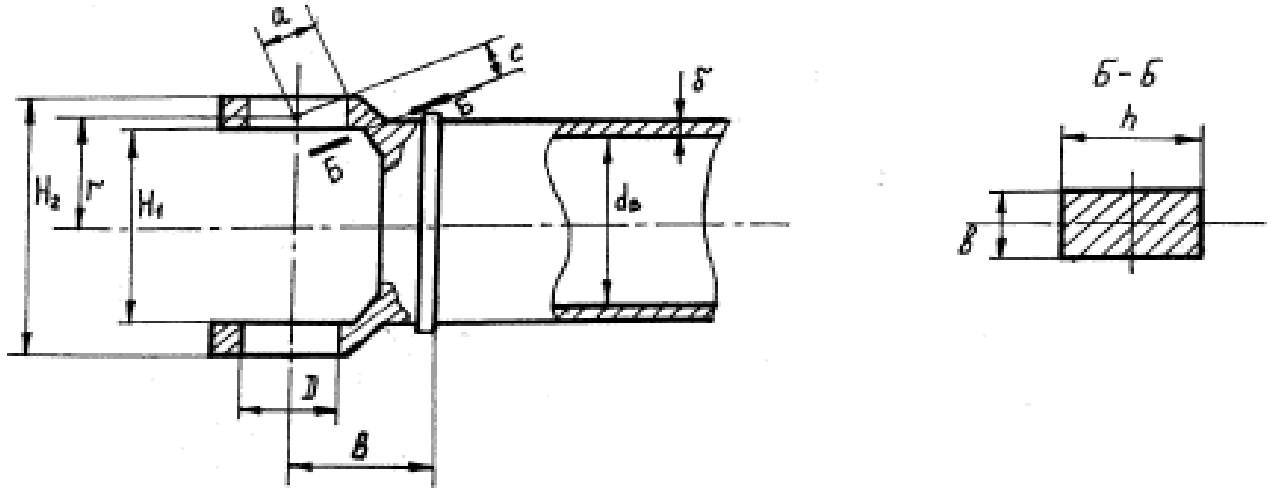


Рис. 5.2. Расчетная схема вилки карданного шарнира

Напряжение изгиба вилки рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{Q_{\text{max}} c}{W_{\text{из}}}, \quad (5.16)$$

где $\sigma_{\text{из}}$ – напряжение изгиба, Па; c – плечо изгиба, м; $W_{\text{из}}$ – момент сопротивления сечения изгибу, м³.

Момент сопротивления изгибу для прямоугольного сечения определяют по формуле

$$W_{\text{из}} = \frac{b h^2}{6}, \quad (5.17)$$

где b , h – соответственно, высота и ширина сечения вилки карданного шарнира, м.

Высоту сечения вилки можно принять равной длине иглы подшипника карданного шарнира.

Допустимые напряжения изгиба – $[\sigma_{\text{из}}] = 60\text{--}80$ МПа [4].

Напряжение кручения вилки определяют по формуле

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{Q_{\text{max}} a}{W_{\text{кр}}}, \quad (5.18)$$

где $\tau_{кр}$ – напряжение кручения, Па; a – плечо кручения, м; $W_{кр}$ – момент сопротивления сечения кручению, м³.

Момент сопротивления сечения кручению рассчитывают по формуле

$$W_{кр} = k h b^2, \quad (5.19)$$

где k – коэффициент.

Данный коэффициент зависит от отношения ширины сечения вилки к его высоте (табл. 5.3) [4].

Таблица 5.3

Значения коэффициента

| h/b | 1,0 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | 10,0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k | 0,208 | 0,231 | 0,239 | 0,246 | 0,258 | 0,267 | 0,282 | 0,312 |

Допустимые напряжения кручения – $[\tau_{кр}] = 120\text{--}150$ МПа [4].

5. 4. Расчет подшипников карданного шарнира

Игольчатые подшипники карданных шарниров рассчитывают по допустимой нагрузке.

Допустимую нагрузку на подшипник карданного шарнира определяют по формуле

$$P_{доп} = 7900 \frac{Z_{и} l_{и} d_{и}}{\sqrt[3]{\frac{n_{м}}{i_{тр}} \operatorname{tg} \gamma}}, \quad (5.20)$$

где $P_{доп}$ – допустимая нагрузка на подшипник, Н; $Z_{и}$ – количество иголок в подшипнике; $l_{и}$ – длина иголки, см; $d_{и}$ – диаметр иголки, см; $n_{м}$ – частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальном крутящем моменте двигателя, об/мин; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии до рассчитываемой карданной передачи

После расчета допустимой нагрузки необходимо проверить полученное значение на соответствие условию:

$$P_{доп} > Q_{max}.$$

5.4. Расчет карданной передачи с шарнирами равных угловых скоростей

Карданные шарниры равных угловых скоростей (синхронные) устанавливаются в приводе ведущих управляемых колес.

Расчетная схема синхронного карданного шарнира приведена на рис. 5.3.

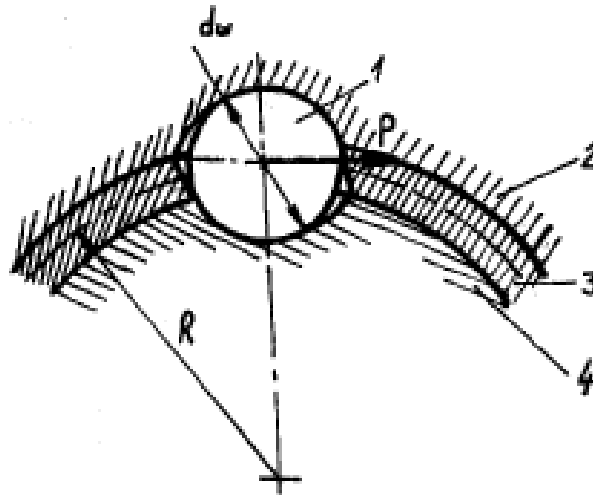


Рис. 5.3. Расчетная схема синхронного карданного шарнира: 1 – шарик; 2 – наружная обойма; 3 – сепаратор; 4 – внутренняя обойма

Максимальный момент по сцеплению, передаваемый шарниром, определяют по формуле

$$M_{\varphi} = G_{\text{к}} r_{\text{к}} \varphi, \quad (5.21)$$

где M_{φ} – максимальный момент по сцеплению, передаваемый шарниром, Н·м; $G_{\text{к}}$ – вес, приходящийся на колесо, Н; $r_{\text{к}}$ – радиус качения колеса, м; φ – максимальный коэффициент сцепления.

Максимальный коэффициент сцепления при расчете синхронных карданных шарниров принимается – $\varphi = 1,0$ [3].

По рассчитанному крутящему моменту из табл. 5.4 [5] выбирают диаметр шарика шарнира равных угловых скоростей, а также наружный диаметр вала.

Таблица 5.4

Параметры синхронных карданных шарниров

| Параметр | Значение | | | |
|-------------------------------------------|---------------|-------|------|-------|
| Расчетный крутящий момент, кН·м | 1,37 | 2,20 | 4,50 | 7,75 |
| Диаметр шарика, мм | 25,32 (25,50) | 29,50 | 40,0 | 42,86 |
| Максимальный диаметр вращения шарнира, мм | 98 | 109 | 142 | 156 |
| Расстояние между наружными торцами, мм | 96 | 109 | 134 | 144 |
| Наружный диаметр вала, мм | 32,0 | 35,0 | 44,5 | 50,0 |
| Нагрузка на передний мост не более, кН | 10,0 | 15,0 | 27,5 | 30,0 |

При расчете шариковых карданных шарниров с делительным механизмом число шариков должно быть четным.

Для обеспечения необходимой плавности работы и равномерного распределения нагрузок устанавливают шесть шариков, равномерно распределенных по окружности.

Допустимое окружное усилие рассчитывают по формуле

$$[\sigma_{и}] = 5100 \sqrt[3]{\frac{P}{d_{ш}^2}}, \quad (5.22)$$

где $[\sigma_{и}]$ – допустимое окружное усилие, Па; P – окружная сила, действующая на шарик, Н.

Окружную силу, действующую на шарик, определяют по формуле

$$P = \frac{M_e \max i_1}{6 R \cos \gamma}, \quad (5.23)$$

где R – радиус расположения шариков, м.

Размеры внутренней обоймы должны обеспечить надежную связь с ведущим валом, и это предопределяет радиус расположения шариков.

Соотношение между радиусом расположения шариков и их диаметрами, для обеспечения заданного срока службы рекомендуют определять по эмпирической зависимости [3]:

$$\frac{R}{d} = 1,71.$$

Угол наклона осей валов карданной передачи – $\gamma = 35\text{--}40^\circ$.

Карданный вал в приводе передних колес – цельнолитой. Поэтому рассчитывают его только по углу закручивания по формуле (2.6), при этом полярный момент инерции для сплошного сечения определяют по формуле

$$J_{кр} = \frac{\pi D^4}{32}. \quad (5.24)$$

Длину карданного вала можно принять равной половине колеи передних колес.

6. РАСЧЕТ ГЛАВНЫХ ПЕРЕДАЧ

Главная передача – механизм трансмиссии автомобиля, преобразующий крутящий момент и расположенный перед ведущими колесами автомобиля.

Классификация и требования к главным передачам подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

Расчетным моментом для АТС общего назначения для главной передачи служит передаваемый максимальный крутящий момент на первой ступени. Для полноприводных АТС за расчетный момент принимается момент по сцеплению, причем считается, что он распределен по мостам пропорционально весу.

6.1. Расчет цилиндрической главной передачи

Цилиндрическая главная передача применяется при поперечном расположении двигателя в переднеприводных автомобилях.

Для обеспечения плавности зацепления число зубьев ведущей шестерни цилиндрической главной передачи не должно быть менее десяти, то есть:

$$Z_1^{ГП} \geq 10.$$

По передаточному числу главной передачи определяют число зубьев ведомого колеса, а затем передаточное число главной передачи уточняют по числу зубьев.

После проведения данных расчетов проводят оценку межосевого расстояния цилиндрической главной передачи.

Расчет зубчатых колес главной передачи на прочность и долговечность производят по формулам для зубчатых колес коробки передач. При этом [4]:

допустимые напряжения изгиба – $[\sigma_{и}] = 500\text{--}700$ МПа;

допустимые контактные напряжения – $[\sigma_{к}] = 1000\text{--}1200$ МПа.

6.2. Расчет гипоидной главной передачи

Гипоидная главная передача (рис 6.1) применяется как на легковых, так и на грузовых автомобилях при передаточном числе главной передачи менее шести.

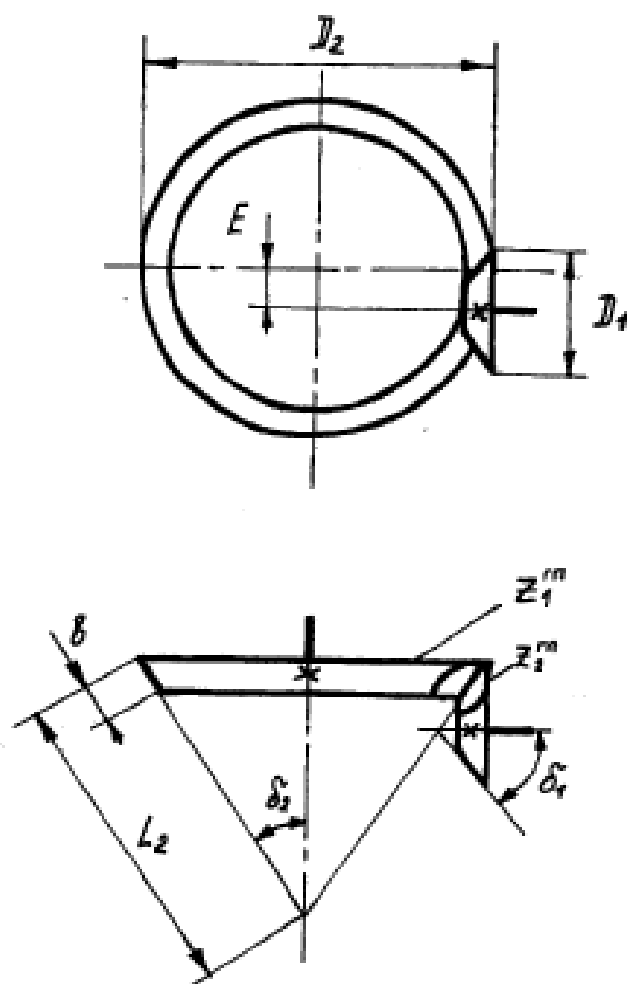


Рис. 6.1. Расчетная схема гипоидной главной передачи

Число зубьев шестерни гипоидной главной передачи выбирают в зависимости от передаточного числа главной передачи (табл. 6.1) [2].

Таблица 6.1

| Число зубьев шестерни гипоидной главной передачи | | | | | |
|--------------------------------------------------|-----|----|---|---|---|
| i_0 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Z_1 | 15 | 12 | 9 | 7 | 6 |

Минимальное число зубьев шестерни [2]:

- для легковых автомобилей – $Z_{1\min} = 8-12$;
- для грузовых автомобилей – $Z_{1\min} = 5-11$.

При определении числа зубьев колеса и проверке передаточного числа гипоидной передачи по числу зубьев необходимо помнить, что для улучшения приработки зубьев число зубьев колеса и шестерни не кратно, поэтому передаточное число гипоидной главной передачи – не целое число.

Напряжения изгиба определяют по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{P}{y b t_{\text{н ср}}} = \frac{M_p}{r_{\text{ср}} y b t_{\text{н ср}}}, \quad (6.1)$$

где P – окружное усилие, Н; y – коэффициент формы зуба; b – длина зуба по образующей конуса, м; $t_{\text{н ср}}$ – нормальный шаг в среднем сечении конуса, м; M_p – расчетный момент, Н·м; $r_{\text{ср}}$ – средний радиус начального конуса зубчатого колеса, м.

Окружное усилие рассчитывают по формуле

$$P = \frac{M_p}{r_{\text{ср}}}. \quad (6.2)$$

Коэффициент формы зуба определяют исходя из эквивалентного приведенного числа зубьев

$$Z_{\text{эkv}} = \frac{Z}{\cos^3 \beta \cos \delta}, \quad (6.3)$$

где δ – половина угла при вершине начального конуса зубчатых колес главной передачи, град.

Угол наклона спирали зубьев для ведущей шестерни и ведомого колеса, соответственно – $\beta_1 = 45-50^\circ$, $\beta_2 = 20-30^\circ$ [4]. При

этом отношении $\frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} = 1,2-1,5$ (для главных передач грузовых автомобилей – большие значения). Следует учитывать, что увеличение угла спирали приводит к повышению осевых нагрузок.

Половину угла при вершине начального конуса определяют из выражения:

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = i_0. \quad (6.4)$$

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2. \quad (6.5)$$

Однако для гипоидных передач должно выполняться условие:

$$\delta_1 + \delta_2 < 90^\circ.$$

Длину зуба по образующей конуса можно приближенно определить по формуле

$$b = 0,3 L_2, \quad (6.6)$$

где L_2 – длина образующей конуса колеса, м.

Длину образующей конуса колеса рассчитывают по формуле

$$L_2 = A \sqrt[3]{M_{e \max} i_0}, \quad (6.7)$$

где L_2 – длина образующей конуса колеса, мм; A – коэффициент; $M_{e \max}$ – максимальный крутящий момент двигателя, кг·м.

Коэффициент для гипоидных передач – $A = 25$ [2].

Исходя из определенной по формуле (1.7) величины длины образующей конуса, можно оценить величину гипоидного смещения

$$E = (0,2 - 0,4) L_2, \quad (6.8)$$

где E – гипоидное смещение, м.

Нормальный шаг в среднем сечении конуса определяют по формуле

$$t_{н ср} = m_{н ср} \pi = t_s \left(1 - \frac{b}{2 r_{ср 2}} \sin \delta_2\right) \cos \beta_2, \quad (6.9)$$

где t_s – торцовый шаг по основанию начального конуса, м; $r_{ср 2}$ – средний радиус начального конуса ведомого зубчатого колеса, м.

Торцовый шаг по основанию начального конуса определяют по формуле

$$t_s = m_s \pi, \quad (6.10)$$

где m_s – торцовый модуль, м.

Торцовый модуль рассчитывают по формуле

$$m_s = \frac{L_2}{0,5 \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}}. \quad (6.11)$$

Средний радиус начального конуса ведущей шестерни определяют по формуле

$$r_{cp1} = \frac{D_1 - b \sin \delta_1}{2}, \quad (7.12)$$

где D_1 – диаметр ведущей шестерни по образующей начального конуса, м.

Средний радиус начального конуса ведомого колеса определяют по формуле

$$r_{cp2} = \frac{D_2 - b \sin \delta_2}{2}, \quad (6.13)$$

где D_2 – диаметр ведомого колеса по образующей начального конуса, м.

Диаметр ведущей шестерни по образующей начального конуса рассчитывают по формуле

$$D_1 = m_s Z_1. \quad (6.14)$$

Диаметр ведомого колеса по образующей начального конуса определяют по формуле

$$D_2 = m_s Z_2. \quad (6.15)$$

Расчетный момент для ведущей шестерни рассчитывают по формуле

$$M_{p1} = M_{e \max} i_1. \quad (6.16)$$

Расчетный момент для ведомого колеса определяют по формуле

$$M_2 = M_{e \max} i_1 i_0. \quad (6.17)$$

Допустимые напряжения изгиба – $[\sigma_n] = 500\text{--}700$ МПа [4].

Контактные напряжения определяют по формуле

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{P E}{b \cos \alpha \sin \alpha} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)}, \quad (6.18)$$

где ρ_1, ρ_2 – радиус кривизны по поверхности зубьев ведущей шестерни и ведомого колеса, соответственно, м; E – модуль упругости первого рода, Па.

Радиус кривизны по поверхности зубьев ведущей шестерни определяют по формуле

$$\rho_1 = \frac{r_{cp1}}{\cos^2 \beta_1 \cos \delta_1}, \quad (6.19)$$

Радиус кривизны по поверхности зубьев ведомого колеса рассчитывают по формуле

$$\rho_2 = \frac{r_{cp2}}{\cos^2 \beta_2 \cos \delta_2}, \quad (6.20)$$

Модуль упругости 1-го рода – $E = 2 \cdot 10^5$ МПа [4].

Угол зацепления шестерен [2]:

- для легковых автомобилей – $\alpha = 16^\circ$;
- для грузовых автомобилей – $\alpha = 20^\circ$.

Допустимые контактные напряжения – $[\sigma_k] = 1000$ – 1200 МПа [4].

6.3. Расчет двойной главной передачи

На грузовых автомобилях и автобусах, когда необходимо обеспечить передачу большого крутящего момента при соответственно большом передаточном числе, используют двойную главную передачу (рис. 6.2).

Коническая шестерня установлена консольно, что требует применения особо жестких подшипников. Коническое колесо смонтировано на одном валу с косозубой цилиндрической шестерней. Угол наклона зубьев, направление наклона выбираются так, чтобы уравновесить осевую силу в коническом колесе.

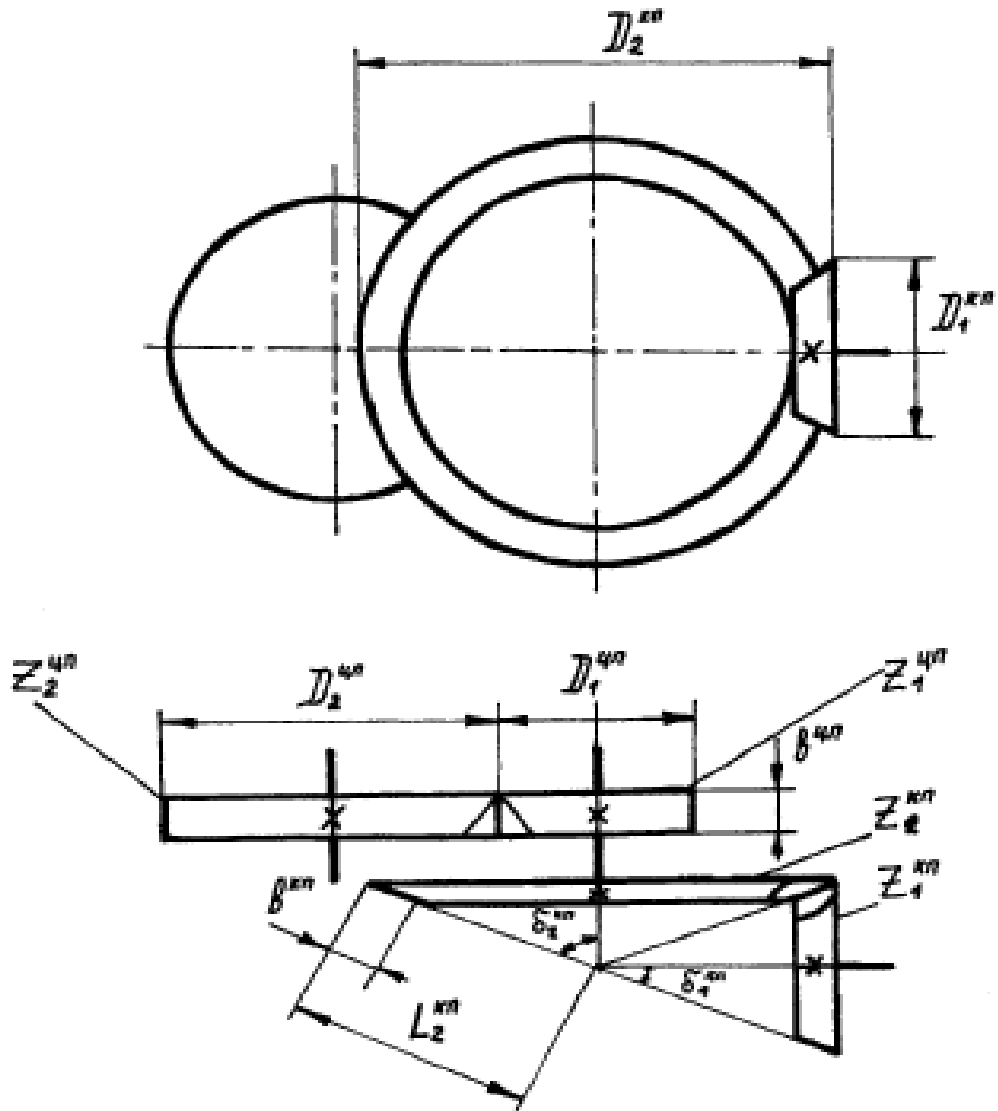


Рис. 6.2. Расчетная схема двойной главной передачи

При разделении общего передаточного числа главной передачи между зубчатыми парами большее число имеет цилиндрическая пара, что дает возможность увеличить размеры конической шестерни, уменьшить осевую силу в зацеплении и повысить надежность конической пары.

Передаточное число конической пары принимают – $i_{к.п.} = 1,7-2,7$ [3].

Шестерни конических главных передач имеют углы – $\beta_1 = \beta_2 = 30 - 45^\circ$; $\alpha = 16 - 18^\circ$ [2]. Число зубьев колеса и шестерни конической пары не кратно, поэтому передаточное число главной передачи – не целое.

В зависимости от числа зубьев ведущей шестерни рекомендуется принимать следующие значения углов наклона спирали зубьев (табл. 6.2) [2].

Таблица 6.2

Углы наклона спирали зубьев

| Z_1 | 5 | 6 | 7 и более |
|---------|----------|----------|-----------|
| β | 42 – 45° | 40 – 42° | 35 – 40° |

Половина угла при вершине начального конуса зубчатых колес конической главной передачи определяется по формулам для гипоидных передач, однако для конической передачи должно выполняться условие:

$$\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ.$$

При расчете длины образующей конуса колеса вместо передаточного числа главной передачи в формулу (6.9) необходимо подставлять передаточное число конической пары, а коэффициент, необходимый для расчета, для конических передач – $A=30$ [2].

Ширина ведомой шестерни цилиндрической пары выбирают в зависимости от отношения окружного усилия к ее ширине, кН/м (табл. 6.3) [2].

Таблица 6.3

Ширина ведомой шестерни цилиндрической пары двойной главной передачи

| Ступень | Тип транспортного средства | | |
|---------|----------------------------|---------------------|----------|
| | Легковой автомобиль | Грузовой автомобиль | Автобус |
| Первая | 800–900 | 1400–1500 | 900–1000 |
| Прямая | 300–500 | 250–300 | 200–250 |

Расчет зубчатых колес конической пары двойной главной передачи на прочность и долговечность производится по формулам для гипоидной главной передачи, с учетом отличий конической передачи от гипоидной.

Расчет цилиндрической пары двойной главной передачи производится по формулам для цилиндрических главных передач.

7. РАСЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛА

Дифференциал – механизм трансмиссии автомобиля, распределяющий подводимый к нему крутящий момент между выходными валами и обеспечивающий их вращение с неодинаковыми угловыми скоростями.

Классификация и требования к дифференциалам подробно рассмотрены в [3, 4, 5].

На современных автомобилях наибольшее распространение получили симметричные конические дифференциалы (рис. 7.1). Такие дифференциалы, называемые часто простыми, применяются как на легковых, так и на грузовых автомобилях, причем как в качестве межколесных, так и в качестве межосевых.

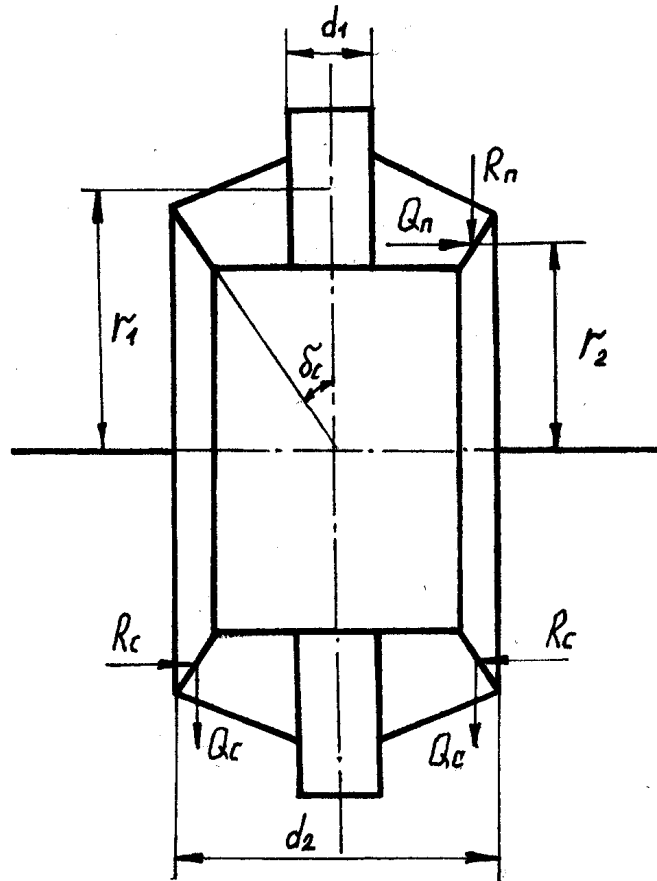


Рис. 7.1. Расчетная схема симметричного конического дифференциала

При выборе основных параметров зубчатых колес конических дифференциалов могут быть использованы данные табл. 7.1 [5].

Таблица 7.1

Геометрические параметры конических дифференциалов

| Авто- мобиль | Число зубьев | | Внешний окруж- ной мо- дуль, мм | Конусное расстоя- ние, мм | Угол профи- ля | Ширина венца, мм | Число сателли- тов |
|-----------------|-----------------|---------------|------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|
| | сател- литов | шесте- рен | | | | | |
| ЗАЗ-968 | 10 | 20 | 3,50 | 39,13 | 20°30' | 11,0 | 2 |
| М-2140 | 10 | 14 | 4,13 | 35,53 | 22°30' | 12,6 | 2 |
| ВАЗ-2101 | 10 | 16 | 4,0 | 37,77 | 22°30' | 12,0 | 2 |
| ГАЗ-24 | 10 | 16 | 5,0 | 47,20 | 23°30' | — | 2 |
| УАЗ-469 | 10 | 16 | 4,75 | 44,90 | 22°30' | 35,0 | 4 |
| ГАЗ-53А | 11 | 22 | 5,75 | 62,62 | 22°30' | 21,0 | 4 |
| ЗИЛ-130 | 11 | 22 | 6,35 | 78,09 | 22°30' | 27,0 | 4 |
| Урал-375 Н | 11 | 22 | 6,35 | 78,09 | 20° | 27,0 | 4 |
| КамАЗ-5320 | 11 | 22 | 6,35 | 78,09 | 22°30' | 27,0 | 4 |
| МАЗ-5335 | 11 | 20 | 5,50 | 62,77 | 20° | 22,5 | 4 |
| КрАЗ-257 Б1 | 11 | 22 | 8,0 | 98,39 | 20° | 30,2 | 4 |
| БелАЗ-540А | 11 | 22 | 8,0 | 98,39 | 20° | 30,2 | 4 |
| БелАЗ-548А | 11 | 22 | 9,0 | 110,68 | 20° | 37,0 | 4 |

Сателлиты и полуосевые шестерни выполняются прямозубыми ($\beta = 0$). Число зубьев сателлитов и шестерен может быть как четным, так и нечетным, но по условиям сборки должно подчиняться условию:

$$\frac{2 Z_{\text{ш}}}{n_c} = K, \quad (7.1)$$

где $Z_{\text{ш}}$ – число зубьев полуосевой шестерни; n_c – число сателлитов; K – целое число.

Шип крестовины под сателлитом испытывает напряжения смятия и среза.

Напряжения смятия рассчитывают по формуле

$$\sigma = \frac{M_d}{r_1 d_1 l n_c}, \quad (7.2)$$

где σ – напряжения смятия шипа сателлита, Па; M_d – момент на корпусе дифференциала, Н·м; r_1 – радиус приложения осевой силы, действующей на ось сателлита, м; d_1 – диаметр оси сателлита

(диаметр шипа крестовины), м; l – длина оси, на которой вращается сателлит, м.

Момент на корпусе дифференциала определяют по формуле

$$M_{\text{д}} = M_{\text{е}} \max i_1 i_0. \quad (7.3)$$

Радиус приложения осевой силы, действующий на ось сателлита, определяют по формуле

$$r_1 = 0,5 m_s Z_{\text{ш}}, \quad (7.4)$$

где m_s – внешний окружной модуль, м.

Диаметр шипа крестовины рассчитывают по формуле

$$d_1 = \sqrt{\frac{M_{\text{д}}}{n_c r_1 P_{\text{доп.с.}}}}, \quad (7.5)$$

где $P_{\text{доп.с.}}$ – допустимое давление между шипами и сателлитами, Па.

Допустимое давление между шипами и сателлитами [5]:

- для легковых автомобилей – $P_{\text{доп.с.}} = 80$ МПа;
- для грузовых автомобилей – $P_{\text{доп.с.}} = 100$ МПа.

Длина оси, на которой вращается сателлит, может быть приближенно определена по формуле

$$l = 1,5 b \cos \delta_c, \quad (7.6)$$

где b – ширина зубчатого венца сателлита, м; δ_c – половина угла начального конуса сателлита, град.

Половина угла начального конуса сателлита рассчитывают по формуле

$$\delta_c = \arctg \frac{Z_c}{Z_{\text{ш}}}, \quad (7.7)$$

где Z_c – число зубьев сателлита.

Допустимые напряжения смятия – $[\sigma] = 50-60$ МПа [4].

Напряжение среза оси сателлита определяют по формуле

$$\tau = \frac{4 M_{\text{д}}}{\pi r_1 d_1^2 n_c}, \quad (7.8)$$

где τ – напряжение среза оси сателлита, Па.

Допустимые напряжения среза – $[\tau] = 100-120$ МПа [4].

Радиальные силы в симметричном дифференциале уравновешиваются, осевые воспринимаются корпусом дифференциала.

Торцы сателлитов рассчитывают на смятие под действием осевой силы. Осевую силу определяют по формуле

$$Q_c = \frac{M_D}{2 r_2 n_c} \operatorname{tg} \alpha \sin \delta_c, \quad (7.9)$$

где Q_c – осевая сила, действующая на торец сателлита, Н; r_2 – радиус приложения окружной силы в зацеплении, м.

Угол зацепления – $\alpha = 20^\circ$ [5].

Радиус приложения окружной силы в зацеплении при расчетах можно принять равным радиусу приложения осевой силы, действующей на ось сателлита.

Напряжение смятия торца сателлита рассчитывают по формуле

$$\sigma_c = \frac{8 Q_c}{\pi (d_2^2 - d_1^2)}, \quad (7.10)$$

где σ_c – напряжение смятия торца сателлита, Па; d_2 – диаметр торцевой поверхности сателлита, воспринимающей осевую нагрузку, м.

Диаметр торцевой поверхности сателлита, воспринимающей осевую нагрузку, определяют по формуле

$$d_2 = m_s Z_c. \quad (7.11)$$

Допустимые напряжения смятия – $[\sigma_c] = 10\text{--}20$ МПа [4].

Торцы полуосевых шестерен рассчитывают на смятие под действием осевой силы, действующей на полуосевую шестерню.

Осевую силу, действующую на полуосевую шестерню, определяют по формуле

$$Q_{II} = \frac{M_D}{2 r_2 n_c} \operatorname{tg} \alpha \cos \delta_c, \quad (7.12)$$

где Q_{II} – осевая сила, действующая на полуосевую шестерню, Н.

Напряжение смятия торца полуосевой шестерни рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi} n_c}{\pi (r_3^2 - r_4^2)}, \quad (7.13)$$

где σ_{Π} – напряжение смятия торца полуосевой шестерни, Па;
 r_3, r_4 – наименьший и наибольший радиусы торцевой поверхности шестерни, воспринимающей осевую нагрузку, соответственно, м.

Наибольший радиус торцевой поверхности шестерни может быть принят равным радиусу приложения осевой силы, действующий на ось сателлита.

Наименьший радиус торцевой поверхности шестерни приближенно может быть определен по формуле

$$r_4 = 1,5 r_{\Pi/O}, \quad (7.14)$$

где $r_{\Pi/O}$ – радиус полуоси, м.

Минимальные диаметры полуосей приведены в табл. 7.2 [5].

Таблица 7.2

Минимальные диаметры полуосей

| | | | | | |
|-----------------|-------------|-----------|------------|--------------|------------|
| Автомобиль | ВАЗ – 2101 | М – 2140 | ГАЗ – 24 | ГАЗ – 53А | МАЗ – 500А |
| d_{\min} , мм | 21,6 | 24,0 | 27,5 | 42,0 | 42,0 |
| Автомобиль | Урал – 375Н | ЗИЛ – 130 | КрАЗ – 257 | БелАЗ – 540А | |
| d_{\min} , мм | 48,0 | 48,0 | 58,0 | 58,0 | |

Допустимые напряжения смятия – $[\sigma_{\Pi}] = 40\text{--}70$ МПа [4].

При повороте число оборотов сателлита на оси не превышает $n_{об} = 20\text{--}30$ об/мин. Поэтому расчет на износ не обязателен. Число оборотов резко возрастает при буксовании, однако этот случай не характерен для нормальных условий эксплуатации.

Нагрузку на зубья сателлитов и полуосевых шестерен определяют из условия, что окружная сила распределена поровну между всеми сателлитами и каждый сателлит передает усилие двумя зубьями.

Расчетный момент на сателлите и на полуосевой шестерне, рассчитывают по формуле

$$M_p = M_c = M_{ш} = \frac{M_d}{2 n_c}. \quad (7.15)$$

Расчет зубьев сателлитов по напряжениям изгиба производят по формулам для конических главных передач. При этом допустимые напряжения изгиба $[\sigma_{и}] = 500\text{--}800$ МПа [4].

8. РАСЧЕТ ПОЛУОСЕЙ

Передача крутящего момента от межколесного дифференциала к ведущим колесам в зависимости от конструкции подвески, а также от того, управляемые колеса или нет, осуществляется с помощью цельных валов – полуосей или карданных передач с синхронными шарнирами. Полуоси применяются в приводе ведущих неуправляемых колес при зависимой подвеске.

Классификация и требования к полуосям рассмотрены в [3, 4, 5].

При расчетах полуосей используются следующие нагрузочные режимы:

- 1) передача максимальной силы тяги;
- 2) экстренное торможение;
- 3) занос;
- 4) проезд через неровности с учетом динамических нагрузок.

На режиме передачи максимальной силы тяги учитываются следующие нагрузки.

Меньший из максимальных крутящих моментов (по двигателю или по сцеплению). Максимальный крутящий момент по двигателю определяют по формуле

$$M_d = M_e \max i_1 i_0 i_{дн} \eta_{тр} \frac{(1 + K_{б1})(1 + K_{б2}) \dots}{2^\alpha}, \quad (8.1)$$

где M_d – максимальный крутящий момент по двигателю, Н·м; $i_{дн}$ – передаточное число дополнительной коробки на низшей ступени (учитывается в том случае, если в трансмиссии установлена дополнительная коробка); $K_{б}$ – коэффициент блокировки дифференциала; α – число симметричных дифференциалов в трансмиссии.

Коэффициент блокировки [5]:

- для дифференциалов легковых автомобилей – $K_6 = 0,05-0,1$;
- для дифференциалов грузовых автомобилей – $K_6 = 0,1-0,15$.

Максимальный крутящий момент по сцеплению определяют по формуле

$$M_{\varphi} = \frac{M_i g \varphi_{\max} r_d m_{\text{вед}}}{2}, \quad (8.2)$$

где M_{φ} – максимальный крутящий момент по сцеплению, Н·м; M_i – сцепная масса (масса, приходящаяся на ведущий мост), кг; $m_{\text{вед}}$ – коэффициент динамического изменения нормальных реакций на ведущих колесах.

Нормальную реакцию рассчитывают по формуле

$$R_{zi} = \frac{M_i g m_{\text{вед}}}{2}, \quad (8.3)$$

где R_{zi} – нормальная реакция, Н.

Продольную реакцию определяют по формуле

$$R_{xi} = \frac{M_d}{r_d}, \quad (8.4)$$

где R_{xi} – продольная реакция, Н.

$$R_{xi} = R_{zi} \varphi_{\max}. \quad (8.5)$$

Из двух определенных нормальных реакций для дальнейших расчетов принимается меньшая.

На режиме экстренного торможения учитывается нормальная и продольная реакции.

Нормальную реакцию рассчитывают по формуле

$$R_{zi\tau} = \frac{M_i g m_{\text{вед}\tau}}{2}, \quad (8.6)$$

где индекс "τ" означает, что данный параметр используется при экстренном торможении.

Продольные реакции определяют по формуле

$$R_{xi\tau} = R_{zi\tau} \varphi_{\max}. \quad (8.7)$$

Нормальная реакция на режиме заноса определяется по формуле

$$R_{zi} = \frac{M_i g}{2} \left(1 \pm \frac{2 h_d \varphi_{y \max}}{B} \right), \quad (8.8)$$

где h_d – высота центра масс, м; $\varphi_{y \max}$ – коэффициент сцепления в поперечном направлении; B – колея ведущих колес, м; "+" – внутренняя полуось (в сторону заноса); "-" – внешняя полуось.

Коэффициент сцепления в поперечном направлении – $\varphi_{y \max} = 0,9-1,0$ [6].

Боковую реакцию определяют по формуле

$$R_{yi} = R_{zi} \varphi_{y \max}, \quad (8.9)$$

где R_{yi} – боковая реакция, Н.

На режиме переезда через неровности с учетом динамических нагрузок, динамическую реакцию рассчитывают по формуле

$$R_{zид} = \frac{M_i g}{2} K_d, \quad (8.10)$$

где $R_{zид}$ – динамическая реакция, Н; K_d – коэффициент динамичности.

Коэффициент динамичности [5]:

- для легковых автомобилей – $K_d = 1,5-1,75$;
- для грузовых автомобилей – $K_d = 1,8-2,0$;
- для АТС повышенной проходимости – $K_d = 2,0-2,5$.

8.2. Расчет полуразгруженных полуосей

Полуразгруженные полуоси (рис. 8.1) воспринимают в вертикальной плоскости нормальную и боковую реакции опорной поверхности и изгибающие моменты от этих реакций; в горизонтальной плоскости – продольную реакцию и изгибающий момент от этой реакции. Полуось разгружена от осевой нагрузки и тормозного момента при торможении рабочим тормозом. Такая полуось имеет наиболее простую конструкцию ступицы и применяется на легковых автомобилях.

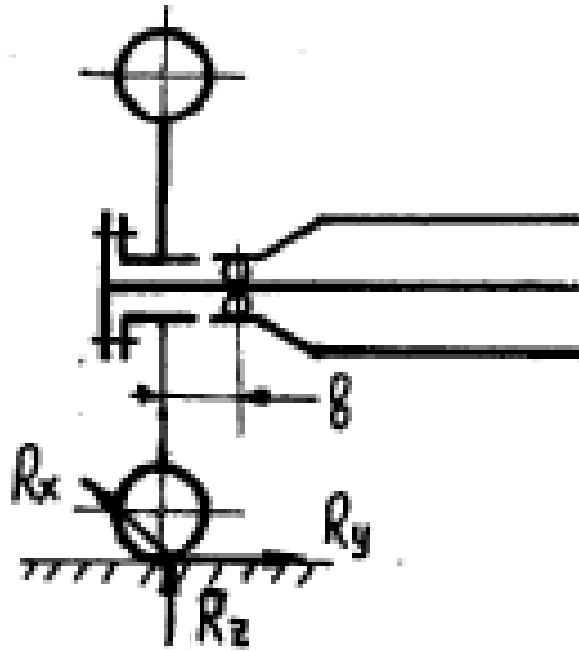


Рис. 8.1. Схема полуразгруженной полуоси

Опасное сечение – место установки подшипника.

На режиме передачи максимальной силы тяги, приведенные напряжения изгиба и кручения определяют по формуле

$$\sigma_{и} = \sqrt{\frac{R_{z_i}^2 b^2 + R_{x_i}^2 b^2 + M_{расч}^2}{0,1 d_{п/о}^3}}, \quad (8.11)$$

где $\sigma_{и}$ – приведенные напряжения изгиба и кручения, Па; b – плечо изгиба, м; $d_{п/о}$ – диаметр полуоси, м.

Плечо изгиба определяется как расстояние между плоскостями, проходящими через центр опорной площадки колеса и через центр опорного подшипника. Плечо изгиба можно принять – $b = 42$ мм.

На режиме торможения приведенные напряжения изгиба и кручения рассчитывают по формуле

$$\sigma_{и} = \frac{b \sqrt{R_{z_{i\tau}}^2 + R_{x_{i\tau}}^2}}{0,1 d_{п/о}^3} = \frac{R_{z_{i\tau}} b \sqrt{1 + \varphi_{max}^2}}{0,1 d_{п/о}^3}. \quad (8.12)$$

На режиме заноса приведенные напряжения изгиба и кручения рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_i g b}{0,2 d_{\text{п/о}}^3} \left(1 \pm \frac{2 h_{\text{д}} \varphi_{\text{у max}}}{B} \right). \quad (8.13)$$

Высота центра масс для легковых автомобилей принимается равной статическому радиусу колеса.

На режиме динамических нагрузок приведенные напряжения изгиба и кручения определяют по формуле

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{R_{\text{зд}} b}{0,1 d_{\text{п/о}}^3}. \quad (8.14)$$

Допустимые приведенные напряжения – $[\sigma_{\text{и}}]=600\text{--}800$ МПа [4].

Расчет по углу закручивания полуразгруженных полуосей ведется аналогично расчету валов карданных передач с синхронными шарнирами. При этом расчетным моментом служит меньший из моментов (по двигателю или по сцеплению).

Длина полуоси определяется аналогично длине карданного вала в карданной передаче с синхронными шарнирами.

Допустимые значения угла закручивания – $[\Theta]=9\text{--}15^\circ$ на метр длины полуоси [4].

Меньшее значение угла закручивания характеризует повышенную жесткость, большее значение – склонность к колебаниям и резонансным явлениям.

8.2. Расчет полностью разгруженных полуосей

Полностью разгруженная полуось (рис. 3.2) нагружается только крутящим моментом, передаваемым от дифференциала на ведущие колеса или тормозным моментом при торможении трансмиссионным тормозом. Такой тип полуосей применяется на грузовых автомобилях.

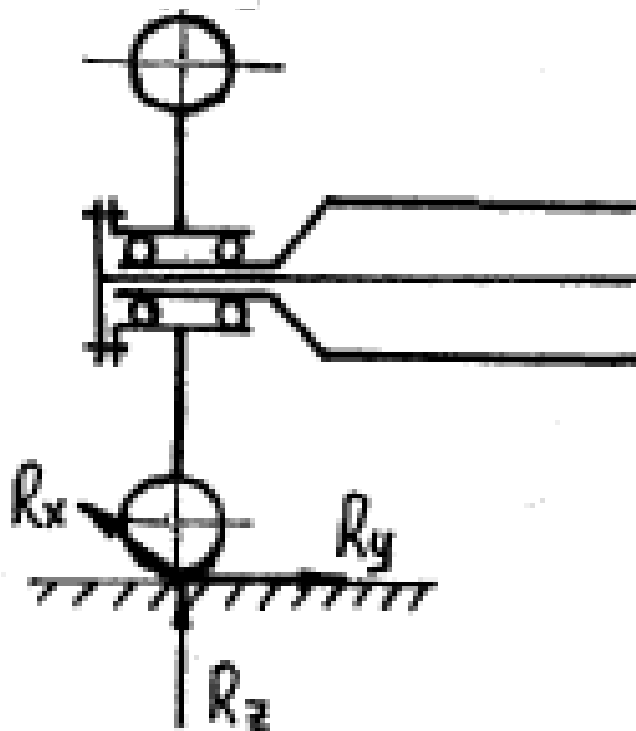


Рис. 8.2. Схема полностью разгруженной полуоси

Расчет полностью разгруженных полуосей ведется только на кручение, при этом расчетным моментом является максимальный момент по двигателю

$$\tau = \frac{M_{\text{д}}}{0,2 d_{\text{п/о}}^3}, \quad (8.15)$$

где τ – напряжения кручения, Па.

Допустимые напряжения кручения – $[\tau] = 500\text{--}600$ МПа [4].

Расчет по углу закручивания полностью разгруженной полуоси ведется аналогично.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные транспортные средства / под ред. Д. П. Великанова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 326 с.
2. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Илларионов. – Москва : Транспорт, 1983. – 276 с.
3. Бухарин, И. А. Автомобили / И. А. Бухарин, В. С. Прозоров, М. М. Щукин. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 504 с.
4. Высоцкий, М. С. Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький. – Москва : Машиностроение, 1979. – 384 с.
5. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / под ред. И. Ф. Бочарова, И. С. Цитовича. – Москва : Машиностроение, 1983. – 299 с.
6. Краткий автомобильный справочник. – Москва : Транспорт, 1995. – 464 с.
7. Лукин, П. П. Конструирование и расчет автомобиля / П. П. Лукин, П. П. Гаспарянц, В. Ф. Родионов. – Москва : Машиностроение, 1984. – 376 с.
8. Осепчугов, В. В. Автобусы / В. В. Осепчугов – Москва : Машиностроение, 1971. – 312 с.
9. Иларионов, В. А. Теория и конструкция автомобиля / В. А. Иларионов, М. М. Морин. – Москва : Машиностроение, 1985. – 358 с.
10. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг. – Москва : Машиностроение, 1982. – 284 с.
13. Литвинов, А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А. С. Литвинов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 264 с.
14. Нарбут, А. Н. Автомобили: Рабочие процессы и расчёт механизмов и систем. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 253 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЦИКЛА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Составители Е. Ю. Темникова
А. Р. Богомолов
С. А. Шевырев

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры
Протокол № 5 от 09.12.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 13.03.01
Протокол № 5 от 09.12.2015
Электронная копия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение и анализ процессов холодильных машин, в которых за счет затраты работы рабочим телом осуществляется перенос теплоты с низкого температурного уровня на более высокий. В ходе выполнения работы студенты знакомятся с основными элементами холодильной парокомпрессионной установки, производят измерение и расчет различных величин: расходов, количества подведенной и отведенной теплоты, совершенной работы, холодопроизводительности установки.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Холодильными машинами называют устройства, предназначенные для охлаждения тел ниже температуры окружающей среды. Такие машины работают по обратному термодинамическому циклу (рис. 1), в котором подвод теплоты к термодинамической системе происходит при более низкой температуре, чем отвод тепла. В соответствии со вторым началом термодинамики такой цикл возможен лишь за счет затраты дополнительной энергии. В цикле холодильной парокомпрессионной установки дополнительная энергия подводится к хладагенту в виде работы сжатия рабочего тела в компрессоре. В результате более нагретое тело получит от термодинамической системы теплоты больше, чем отдает менее нагретое тело, на величину работы цикла:

$$Q_1 = Q_2 + L,$$

где Q_1 – теплота, отданная горячему источнику, кДж; Q_2 – теплота, полученная от холодного источника, кДж; L – работа сжатия рабочего тела в цикле, кДж.

Схема цикла парокомпрессионной холодильной установки, применяемая в бытовых и промышленных холодильниках, в химических технологиях и биотехнологиях для обеспечения холодом процессов сушки, кристаллизации, абсорбции, адсорбции, экзотермических реакций, кондиционирования воздуха, **представлена на рис. 1**. В качестве рабочего тела – хладагента может использоваться фреоны (хладоны), аммиак NH_3 . На рис. 2 изображен цикл холодильной установки в T – s -диаграмме.

Работает установка следующим образом. Хладагент по паропроводу ПП поступает с параметрами состояния точки I (в виде сухого насыщенного пара) на вход компрессора КМ. Где

сжимается до давления p_2 по линии $1-2$ (адиабате или изоэнтропе) в идеальном процессе или по линии $1-2\delta$ в реальном процессе (рис. 2). Из компрессора КМ перегретый пар хладагента (точка 2 или 2δ) поступает в конденсатор К, где отдает тепло q_1 охлаждающей воде ОВ. Перегретый пар, в конденсаторе К, охлаждается по изобаре $2\delta-2-3$ до состояния сухого насыщенного пара (точка 3), а затем конденсируется по изобаре-изотерме $3-4$ до состояния насыщенной жидкости (точка 4). Из конденсатора К жидкость подается в дроссель ДР, в котором происходит адиабатное дросселирование $4-5$ с понижением температуры и давления хлада-

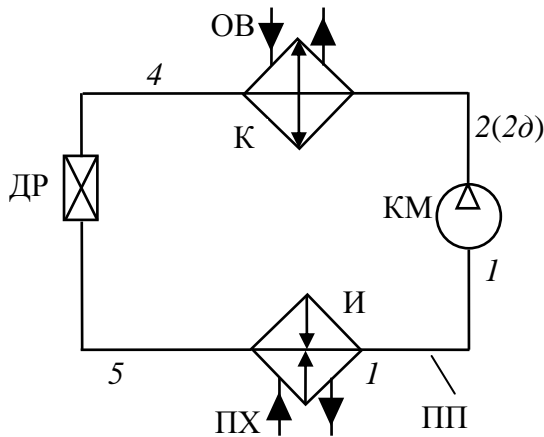


Рис. 1. Схема цикла парокомпрессионной холодильной установки:
 ПП – паропровод; КМ – компрессор;
 К – конденсатор; ОВ – охлаждающая вода;
 ДР – дроссель; И – испаритель;
 ПХ – потребитель холода

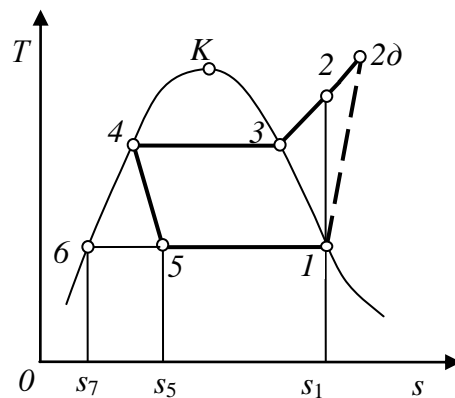


Рис. 2. Теоретический и действительный цикл паровой компрессионной холодильной машины

гента. С параметрами состояния точки 5 влажный насыщенный пар из дросселя ДР поступает в испаритель И, в котором происходит изобарно-изотермический процесс парообразования $5-1$ с отводом теплоты q_2 от рассола (в бытовых холодильниках от продуктов охлаждения). Рассол направляется потребителю холода ПХ. Затем хладагент из испарителя И вновь по паропроводу ПП направляется в компрессор КМ.

Термодинамический цикл этого холодильного двигателя производится между двумя изобарами – изобарой отвода тепла в конденсаторе ($2\delta-2-3-4$) и изобарой подвода тепла в испарителе ($5-1$) как показано на рис. 2.

По обратному термодинамическому циклу работают также тепловые насосы, с помощью которых теплота низкого потенциа-

ла, забираемая, как правило, из окружающей среды, отдается внешнему потребителю при более высокой температуре за счет затраченной работы. Характеристикой совершенства работы теплового насоса является отопительный коэффициент или коэффициент преобразования теплового насоса, равный отношению теплоты, отданной внешнему потребителю, к затраченной работе.

В парокомпрессионных холодильных установках применяют рабочее тело для осуществления холодильного цикла – холодильный агент (хладагент – ХА).

Ранее в холодильных установках широко применяли хладагент – аммиак NH_3 . В чем заключаются его преимущества. При температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ давление насыщенных паров аммиака составляет 857 кПа , тогда как атмосферному давлению (98 кПа) соответствует температура насыщения, равная $-34\text{ }^\circ\text{C}$. Следовательно, создание аммиачной парокомпрессионной холодильной установки на температуры $T_2 \geq -34\text{ }^\circ\text{C}$ не требует применения вакуума, что, естественно, значительно упрощает конструкцию установки. Следует отметить также, что аммиак имеет значительно большую теплоту парообразования и, следовательно, обеспечивает большую холодопроизводительность на 1 кг хладагента. Недостатками аммиака являются его токсичность, пожаро- и взрывоопасность и коррозионная активность по отношению к цветным металлам, вследствие чего в бытовых холодильных установках аммиак не применяется.

Большое распространение в качестве хладагентов получили так называемые фреоны – фторхлорпроизводные простейших предельных углеводородов (в основном метана). Отличительными качествами фреонов являются их химическая стойкость, нетоксичность, отсутствие взаимодействия с конструкционными материалами (при $T < 200\text{ }^\circ\text{C}$). Температура кипения при атмосферном давлении для фреонов различных типов изменяется в широком интервале температур. Так, фреон-14 (CF_4) при атмосферном давлении кипит при $T = -128\text{ }^\circ\text{C}$; фреон-13 (CClF_3) – при $T = -82\text{ }^\circ\text{C}$; фреон-22 (CHClF_2) – при $T = -40,8\text{ }^\circ\text{C}$; фреон-12 (CCl_2F_2) – при $T = -29,8\text{ }^\circ\text{C}$.

Наиболее распространенным из фреонов являлся фреон-12, используемый, в частности, во многих бытовых холодильниках. По своим термодинамическим свойствам фреон-12 сходен с ам-

миаком, однако имеет меньшую, чем аммиак, теплоту парообразования. Фреон-12 считается озоноразрушающим веществом, поэтому его сняли с производства.

В последнее время стали использоваться азеотропные смеси двух компонентов (фреонов), так как температура кипения смеси ниже температуры кипения отдельных компонентов. Примером может служить фреон R-406a (азеотропная смесь R22, R142b и R600a).

Интересно отметить, что появление хладагентов этого нового типа было вызвано именно потребностями промышленности, производившей холодильные установки – эти новые вещества были впервые синтезированы в 1928 г. американским химиком Т. Мидглеем, работавшим в одной из холодильных лабораторий. Они выгодно отличались от ряда прежних хладагентов тем, что не имели запаха, были нетоксичны и негорючи.

Впервые парокомпрессионная холодильная установка, работающая на парах эфира, была создана еще в 1834 г. Затем в качестве хладагентов в установках этого типа были использованы метиловый эфир и сернистый ангидрид. В 1874 г. немецкий инженер К. Линде создал аммиачную, а в 1881 г. – с диоксидом углерода парокомпрессионные установки. В 30-х годах прошлого столетия в холодильной технике в качестве хладагентов парокомпрессионных установок были впервые использованы синтезированные в этот период фреоны.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Методика эксперимента

Опытная холодильная установка (холодильник) практически всегда работает, поэтому не требует включения и выключения для снятия показаний приборов.

Схема действующей установки приведена на рис. 1. Схематичное изображение цикла холодильной установки в p - i -диаграмме приведено на рис. 3. Цикл осуществляется аналогично рис. 2 и проходит через точки $1-2\delta-3-4-5-1$ (действительный цикл). В момент работы компрессора снимаются показания контрольно-измерительных приборов: напряжения U , силы тока I , по

манометрам давления на всасе p_1 и нагнетании $p_{2\partial}$ компрессора, температуры до испарителя t_5 , после испарителя t_1 , на нагнетании компрессора (до конденсатора) $t_{2\partial}$ и после конденсатора t_4 . Все данные заносятся в табл. А1.

4.2. Методика обработки экспериментальных данных

По известным значениям температур и абсолютных давлений ($p_{абс} = p_{атм} + p_{изб}$; $p_{атм} = 1$ бар) нужно изобразить цикл в диаграмме $i-p$ в масштабе (см. пример по рис. 3). Для этого из приложения Б (рис. А1) берут диаграмму и наносят на нее точки цикла.

Затем по диаграмме определяют параметры в точках цикла и заносят их в табл. А2.

Рассчитывают следующие величины.

1. Мощность, затрачиваемая на холодильную установку в действительном цикле, Вт

$$N_d = UI.$$

2. Удельная холодопроизводительность действительного цикла (удельное количество теплоты, воспринятое рабочим телом от холодного источника – охлаждаемого объекта), кДж/кг

$$q_2 = i_1 - i_5.$$

3. Удельная теплота, отводимая от хладагента в действительном цикле, кДж/кг

$$q_1 = i_{2\partial} - i_4.$$

4. Удельная работа действительного процесса в результате необратимости процесса сжатия (затраченная на привод компрессора от внешнего поставщика электроэнергии для сжатия ХА в результате электромеханических потерь в компрессоре и электродвигателе), кДж/кг

$$l_d = l_{д} = i_{2\partial} - i_1.$$

5. Расход ХА в действительном цикле, кг/с

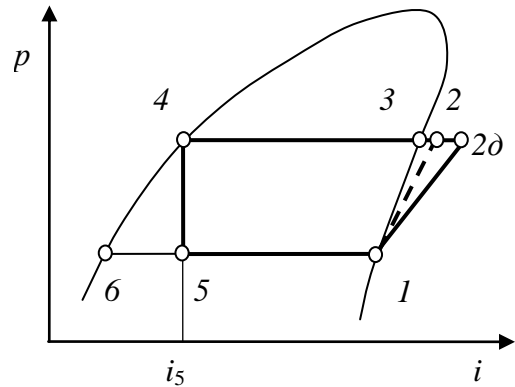


Рис. 3. Теоретический и действительный цикл паровой компрессионной холодильной машины

$$G_{\text{ха}} = \frac{N_{\text{д}}}{l_{\text{д}}}.$$

6. Удельная работа обратимого (теоретического) процесса сжатия в компрессоре компрессора теоретического цикла, кДж/кг

$$l_{\text{т}} = i_2 - i_1.$$

7. Увеличение затрат работы в результате необратимости процесса сжатия в компрессоре рассчитаем по зависимости:

$$\Delta l^{\text{км}} = l_{\text{д}} - l_{\text{теор}} = (i_{2\text{д}} - i_1) - (i_2 - i_1) = i_{2\text{д}} - i_2.$$

8. *Холодопроизводительностью холодильной установки* называется количество теплоты Q_2 , отводимое в холодильной установке от охлаждаемого тела в единицу времени, Вт, и определяется по зависимости:

$$Q_2 = q_2 G_{\text{ха}}.$$

9. Холодильный коэффициент действительного цикла

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l_{\text{д}}}.$$

10. Холодильный коэффициент теоретического цикла

$$\varepsilon_{\text{т}} = \frac{q_2}{l_{\text{т}}}.$$

Результаты расчетов сводятся в табл. А2.

По полученным данным проводится анализ работы холодильной установки и формулируются выводы по лабораторной работе.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещается:

1. Производить исправления в электросхеме, находящейся под напряжением.

2. Работать с незаземленным оборудованием.

3. Касаться проводников, металлических клемм и других деталей, находящихся под электрическим напряжением.

4. Если возникло возгорание, следует немедленно обесточить лабораторную установку, вызвать пожарную команду и тушить огонь только углекислотным огнетушителем.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 с рамками и штампами и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) кратко изложенные теоретические положения;
- 3) принципиальную схему лабораторного стенда с основными техническими параметрами;
- 4) таблицы измеренных и расчетных величин;
- 5) обработку результатов опыта;
- 6) графические зависимости;
- 7) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицу следует оформлять в соответствии с действующими стандартами и ГОСТами.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое обратный термодинамический цикл?
2. Расскажите про холодильный коэффициент.
3. Что такое хладагент, какие хладагенты существуют?
4. Изобразите цикл теплового насоса, отопительный коэффициент.
5. Комбинированная машина по совместной выработке тепла и холода, коэффициент трансформации тепла.
6. На чем основан принцип действия следующих видов холодильных установок: воздушная, пароэжекторная, абсорбционная, парокомпрессионная.
7. Как влияют основные параметры цикла на эффективность работы.
8. Среднеинтегральная температура.
9. Что такое холодопроизводительность?

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. – 4-е изд., стер. – М., 2009. – 469 с.
2. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2008. – 496 с.
3. Мазур, Л. С. Техническая термодинамика и теплотехника: учебник. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2003. – 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1

Таблица исходных данных и результатов опыта

| Величины | Обозначения и значения | Единицы измерения |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| Напряжение | $U =$ | В |
| Сила тока | $I =$ | А |
| Давление на всасе компрессора | $p_{1изб} =$ $p_{1абс} =$ | бар |
| Давление на нагнетании компрессора | $p_{2\partial изб} =$ $p_{2\partial абс} =$ | бар |
| Температура до испарителя | $t_5 =$ | °С |
| Температура после испарителя | $t_1 =$ | °С |
| Температура на нагнетании компрессора (до конденсатора) | $t_{2\partial} =$ | °С |
| Температура после конденсатора | $t_4 =$ | °С |

Таблица А2

Таблица результатов расчета параметров в точках цикла

| № точки | Параметры состояния | | | | | |
|--------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----|
| | $t, ^\circ\text{C}$ | $p, \text{бар}$ | $\nu, \text{м}^3/\text{кг}$ | $i, \text{кДж/кг}$ | $s, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | x |
| 1 | | | | | | |
| 2 ∂ | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |

Таблица результатов расчета цикла

| Наименование параметров | Обозначение и значение | Размерность |
|------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
| Мощность действительного цикла | $N_d =$ | Вт |
| Удельная холодопроизводительность действительного цикла | $q_2 =$ | кДж/кг |
| Удельная теплота, отводимая от хладагента в действительном цикле | $q_1 =$ | кДж/кг |
| Удельная работа компрессора действительного цикла | $l_d =$ | кДж/кг |
| Расход хладагента в действительном цикле | $G_{ха} =$ | кг/с |
| Удельная работа компрессора теоретического цикла | $l_t =$ | кДж/кг |
| Холодопроизводительность действительного цикла | $Q_2 =$ | кВт |
| Холодильный коэффициент действительного цикла | $\varepsilon =$ | - |
| Холодильный коэффициент теоретического цикла | $\varepsilon_t =$ | - |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

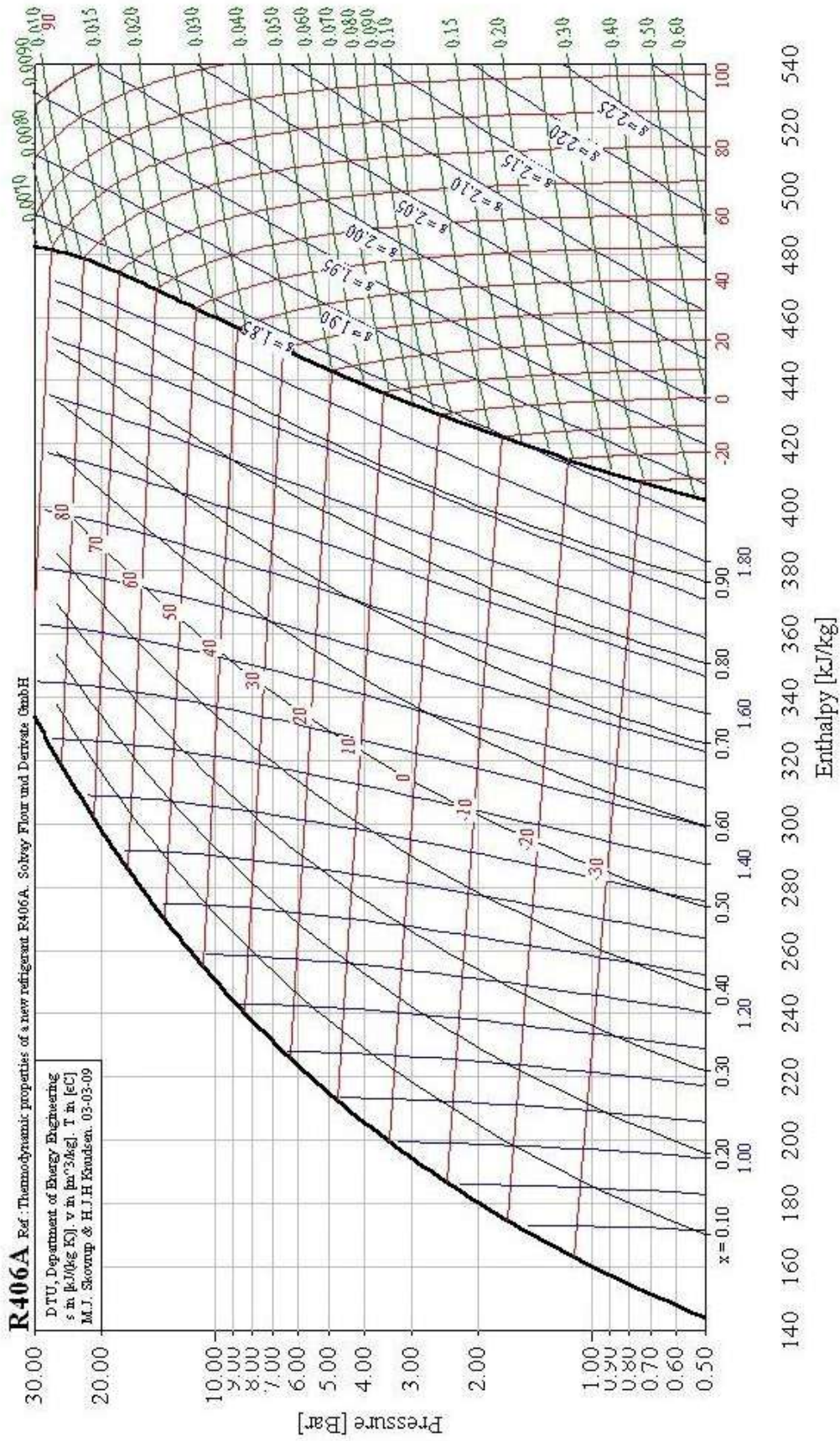


Рис. А1. p-i диаграмма фреона R-406a

Составители
Елена Юрьевна Темникова
Александр Романович Богомолов
Сергей Александрович Шевырев

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЦИКЛА ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 0,5.

Тираж 20 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Составители
А. С. Березин
А. Г. Кульпин
Е. Е. Кульпина

СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ

**Методические указания к курсовому проекту
для бакалавров всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией
направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Цыганков Д. В. – кандидат химических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобилей

Подгорный А. И. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Березин Александр Сергеевич

Кульпин Александр Геннадьевич

Кульпина Евдокия Евгеньевна

Силовые агрегаты [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому проекту для бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения / сост. : А. С. Березин, А. Г. Кульпин, Е. Е. Кульпина. – Электрон. дан. – Кемерово : КузГТУ, 2016. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 256 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены варианты для курсовой работы, методика расчета и примерные оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации.

© КузГТУ, 2016

© Березин А. С., Кульпин А. Г.,
Кульпина Е. Е., составление, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | 7 |
| 1. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СИЛОВОГО АГРЕГАТА | 8 |
| 1.1. Расчет параметров рабочего тела..... | 8 |
| 1.1.1. Средний элементарный состав топлива..... | 8 |
| 1.1.2. Низшая теплота сгорания топлива | 8 |
| 1.1.3. Коэффициент избытка воздуха | 8 |
| 1.1.4. Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива..... | 9 |
| 1.1.5. Количество горючей смеси | 9 |
| 1.1.6. Состав продуктов сгорания | 9 |
| 1.1.7. Общее количество продуктов сгорания..... | 10 |
| 1.2. Расчет процесса наполнения..... | 10 |
| 1.2.1. Температура подогрева свежего заряда..... | 10 |
| 1.2.2. Плотность заряда на впуске | 10 |
| 1.2.3. Потери давления на впуске | 11 |
| 1.2.4. Давление в конце впуска | 11 |
| 1.2.5. Коэффициент остаточных газов | 11 |
| 1.2.6. Температура в конце впуска..... | 12 |
| 1.2.7. Коэффициент наполнения | 13 |
| 1.3. Расчет процесса сжатия..... | 13 |
| 1.3.1. Давление в конце сжатия..... | 13 |
| 1.3.2. Температура в конце впуска..... | 13 |
| 1.3.3. Средняя мольная теплоемкость свежей смеси..... | 14 |
| 1.3.4. Средняя мольная теплоемкость остаточных газов | 14 |
| 1.3.5. Средняя мольная теплоемкость рабочей смеси | 14 |
| 1.4. Расчет процесса сгорания | 14 |
| 1.4.1. Коэффициент молекулярного изменения горючей смеси | 14 |
| 1.4.2. Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси | 15 |
| 1.4.3. Количество тепла ΔH_U , потерянного вследствие неполноты сгорания топлива | 15 |
| 1.4.4. Теплота сгорания рабочей смеси..... | 15 |
| 1.4.5. Средняя мольная теплоемкость продуктов сгорания..... | 15 |
| 1.4.6. Коэффициент использования тепла | 16 |
| 1.4.7. Уравнение сгорания | 16 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.8. Максимальное давление сгорания..... | 17 |
| 1.4.9. Степень повышения давления (для бензиновых двигателей) | 17 |
| 1.5. Расчет процесса расширения | 17 |
| 1.5.1. Степень предварительного расширения (для дизелей) | 17 |
| 1.5.2. Степень последующего расширения (для дизелей)..... | 17 |
| 1.5.3. Давление в конце расширения | 18 |
| 1.5.4. Температура в конце расширения | 18 |
| 1.5.5. Проверка корректности принятых величин | 18 |
| 1.6. Индикаторные показатели рабочего цикла..... | 19 |
| 1.6.1. Теоретическое среднее индикаторное давление..... | 19 |
| 1.6.2. Среднее индикаторное давление | 19 |
| 1.6.3. Индикаторный КПД | 19 |
| 1.6.4. Индикаторный удельный расход топлива | 20 |
| 1.7. Эффективные показатели рабочего цикла | 20 |
| 1.7.1. Среднее давление механических потерь..... | 20 |
| 1.7.2. Среднее эффективное давление | 21 |
| 1.7.3. Механический КПД..... | 21 |
| 1.7.4. Эффективный КПД | 21 |
| 1.7.5. Эффективный удельный расход топлива..... | 21 |
| 1.7.6. Часовой расход топлива | 21 |
| 1.8. Основные параметры цилиндра и двигателя | 21 |
| 1.8.1. Рабочий объем двигателя | 21 |
| 1.8.2. Рабочий объем цилиндра..... | 21 |
| 1.8.3. Диаметр поршня | 21 |
| 1.8.4. Ход поршня | 22 |
| 1.8.5. Действительные параметры двигателя | 22 |
| 1.9. Построение индикаторной диаграммы..... | 22 |
| 1.9.1. Индикаторная диаграмма карбюраторного двигателя | 23 |
| 1.9.2. Индикаторная диаграмма дизеля..... | 24 |
| 1.9.3. Коррекция теоретической индикаторной диаграммы | 25 |
| 1.10. Тепловой баланс..... | 28 |
| 1.10.1. Общее количество теплоты, введенной в двигатель за 1 с | 28 |
| 1.10.2. Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с | 28 |
| 1.10.3. Теплота, передаваемая охлаждающей среде за 1 с..... | 28 |
| 1.10.4. Теплота, унесенная с отработавшими газами за 1 с | 28 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.10.5. Теплота, потерянная вследствие химической неполноты сгорания топлива за 1 с | 28 |
| 1.10.6. Неучтенные потери тепла..... | 29 |
| 2. КИНЕМАТИКА..... | 29 |
| 2.1. Перемещение поршня..... | 31 |
| 2.2. Скорость поршня | 33 |
| 2.3. Ускорение поршня | 34 |
| 3. ДИНАМИКА..... | 36 |
| 3.1. Динамический расчет КШМ..... | 36 |
| 3.1.1. Построение диаграммы силы давления газов P_r в координатах $P - \varphi$ (давление – угол поворота коленчатого вала) | 36 |
| 3.2. Определение сил, действующих в КШМ | 37 |
| 3.2.1. Сила давления газов | 37 |
| 3.2.2. Удельная сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс | 38 |
| 3.2.3. Центробежные силы..... | 40 |
| 3.2.4. Суммарные силы | 42 |
| 3.2.5. Крутящие моменты цилиндра и двигателя..... | 46 |
| 3.2.6. Результирующая сила, действующая на шатунную шейку коленчатого вала от одного шатуна | 50 |
| 3.3. Построение диаграмм износа шатунной шейки коленчатого вала ... | 51 |
| 4. РАСЧЕТ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ | 52 |
| 4.1. Расчет поршня | 52 |
| 4.2. Расчет поршневого кольца. Среднее давление кольца на стенку цилиндра..... | 58 |
| 4.3. Расчет поршневого пальца..... | 59 |
| 5. РАСЧЕТ ШАТУННОЙ ГРУППЫ | 61 |
| 5.1. Расчет поршневой головки шатуна..... | 61 |
| 5.2. Расчет кривошипной головки шатуна | 67 |
| 5.3. Расчет стержня шатуна..... | 68 |
| 5.4. Расчет шатунных болтов | 70 |
| 6. РАСЧЕТ КОРПУСА ДВИГАТЕЛЯ..... | 71 |
| 6.1. Гильза цилиндра | 71 |
| 6.1.1. Расчетная толщина стенки гильзы цилиндра | 71 |
| 6.2. Шпильки головки блока..... | 73 |
| 7. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ | 74 |
| 7.1. Поршень..... | 74 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2. Поршневые кольца..... | 75 |
| 7.3. Поршневой палец..... | 77 |
| 7.4. Температурный режим элементов поршневой группы | 77 |
| 7.4.1. Температура головки поршня двигателя | 77 |
| 7.4.2. Температура юбки поршня двигателя..... | 77 |
| 7.4.3. Температура внешнего компрессионного кольца $t_k, ^\circ\text{C}$ | 77 |
| 7.5. Конструктивные массы | 78 |
| 7.5.1. Конструктивная масса поршневой группы $m_p, \text{кг/м}^2$ | 78 |
| 8. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ШАТУННОЙ ГРУППЫ | 78 |
| 8.1. Поршневая головка шатуна | 78 |
| 8.2. Кривошипная головка шатуна..... | 79 |
| 8.3. Стержень шатуна | 80 |
| 8.4. Шатунные болты..... | 81 |
| 8.5. Конструктивная масса шатуна $m_{ш}, \text{кг/м}^2$ | 82 |
| 8.6. Температурный режим деталей шатунной группы..... | 82 |
| 9. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ КОРПУСА ДВИГАТЕЛЯ..... | 82 |
| 9.1. Блок картер | 82 |
| 9.2. Головка блока цилиндров | 83 |
| 9.3. Шпильки головки блока..... | 84 |
| 9.4. Гильза цилиндра | 85 |
| 9.5. Элементы водяного уплотнения гильзы..... | 85 |
| 9.6. Элементы воздушного охлаждения двигателя | 86 |
| 9.7. Температурный режим элементов корпуса двигателя..... | 87 |
| 9.7.1. Температура стенок цилиндра $t_{ц}, ^\circ\text{C}$ | 87 |
| 9.7.2. Перепад температур между внутренней и наружной поверхностями | 88 |
| 9.7.3. Предельная температура цилиндра $T_{\text{max}}^ц, ^\circ\text{C}$ | 88 |
| 9.7.4. Предельная температура головки цилиндра $T_{\text{max}}^{гц}, ^\circ\text{C}$ | 88 |
| СПИСОК РЕОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... | 88 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 | 89 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2 | 92 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 3 | 95 |

ВВЕДЕНИЕ

Курсовой проект по курсу «Силовые агрегаты» состоит из четырех частей. В первой части приводится методика выполнения теплового расчета двигателя и расчета теплового баланса. В этой части определяются основные параметры процессов двигателя. Для контроля правильности вычисления параметров в конце каждого пункта расчета приведены ориентировочные значения пределов изменения данного параметра. Вычисленные по формулам значения должны укладываться в рекомендуемые пределы для данного типа двигателя.

Во второй части приводится методика выполнения кинематического расчета. Здесь определяются текущие значения перемещения поршня, скорости поршня и ускорения поршня в диапазоне углов от 0 до 360 градусов угла поворота коленчатого вала. По результатам расчетов должны быть построены графики.

В третьей части проекта определяются силы и моменты, действующие на кривошипно-шатунный механизм двигателя. По результатам динамического расчета на листе графической части формата А1 приводятся графики полных и удельных сил, а также график суммарного крутящего момента двигателя, полярная диаграмма и диаграмма износа шатунной шейки.

В четвертой части проекта выполняется расчет на прочность деталей двигателя и производится расчет систем. К деталям двигателя для которых производится расчет относятся такие детали как: поршень, поршневые кольца, поршневой палец, шатун, шатунные болты, корпус двигателя, гильза цилиндра и шпилька головки блока цилиндров.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
по курсу «Силовые агрегаты»

Фамилия И.О. _____ группа _____

Таблица 1

| Наименование параметра | Обозначение | Единицы измерения | Численные значения |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| 1. Тип двигателя | – | – | |
| 2. Назначение | – | – | |
| 3. Тип камеры сгорания | – | – | |
| 4. Способ смесеобразования | – | – | |
| 5. Тип системы охлаждения | – | – | |
| 6. Тип газораспределительного механизма | – | – | |
| 7. Эффективная мощность | N_e | кВт | |
| 8. Номинальная частота вращения коленчатого вала | n_N | мин ⁻¹ | |
| 9. Степень сжатия | ε | – | |
| 10. Число и расположение цилиндров | i | – | |
| 11. Отношение хода поршня к диаметру цилиндра | S/D | – | |
| 12. Коэффициент избытка воздуха | α | – | |
| 13. Степень повышения давления | $\lambda = P_Z / P_C$ | – | |
| 14. Молекулярная масса топлива | m_T | кг/кмоль | |
| 15. Давление наддува | P_k | МПа | |
| 16. Температура подогрева свежего заряда | ΔT | К (°C) | |

Для контроля правильности вычислений параметров в каждом из пунктов приведены ориентировочные значения пределов изменения данного параметра. Вычисленные по формулам значения должны укладываться в рекомендуемые пределы для данного типа двигателя.

1. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ СИЛОВОГО АГРЕГАТА

В тепловом расчете определяются параметры характерных точек индикаторной диаграммы для режима максимальной мощности.

Следует иметь в виду, что ошибка, допущенная в вычислении одного из параметров любой точки, приводит к неправильному определению параметров последующих точек рабочего цикла. Поэтому при расчете необходимо не только обеспечить достаточную точность вычислений, но и оценивать, насколько вычисляемые параметры соответствуют параметрам реальных двигателей аналогичного назначения и типа.

1.1. Расчет параметров рабочего тела

1.1.1. Средний элементарный состав топлива

Состав топлива задается массовыми долями углерода, водорода, кислорода. Примерное содержание названных компонентов для бензина и дизельного топлива приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1

| Топливо | Массовые доли | | |
|-------------------|---------------|-------|----------------|
| | С | Н | O _T |
| Бензин | 0,855 | 0,145 | 0 |
| Дизельное топливо | 0,870 | 0,126 | 0,004 |

1.1.2. Низшая теплота сгорания топлива

Низшая теплота сгорания вычисляется по формуле Менделеева:

$$H_U = 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O_T - S) - 2,51 \cdot (9 \cdot H + W), \text{ МДж/кг}, \quad (1.1)$$

где S и W – массовые доли серы и водяных паров в продуктах сгорания, принимаются равными нулю.

1.1.3. Коэффициент избытка воздуха

Численное значение коэффициента избытка воздуха приведено в задании. Если это значение не задано, то для режима максимальной мощности принимаются следующие значения коэффициента избытка воздуха:

- бензиновые двигатели $\alpha = 0,80 \dots 0,96$;
- дизели с неразделенными камерами сгорания $\alpha = 1,5 \dots 1,7$;
- вихрекамерные дизели $\alpha = 1,30 \dots 1,50$;
- предкамерные дизели $\alpha = 1,40 \dots 1,50$.

1.1.4. Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \cdot \left[\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_T}{32} \right], \text{ кмоль}; \quad (1.2)$$

$$l_0 = L_0 \cdot \mu_B, \text{ кг}, \quad (1.3)$$

где $\mu_B = 28,97$ кг/кмоль – молекулярная масса воздуха.

1.1.5. Количество горючей смеси

Для бензиновых двигателей:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T}, \text{ кмоль}, \quad (1.4)$$

где m_T – молекулярная масса топлива, кг/кмоль; $m_T = 110 \dots 120$ кг/кмоль.

Для дизелей:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0, \text{ кмоль}. \quad (1.5)$$

1.1.6. Состав продуктов сгорания

Состав продуктов сгорания во многом зависит от состава горючей смеси. При сгорании богатых смесей ($\alpha < 1$) продукты сгорания включают в себя CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂.

$$M_{CO} = 0,42 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot L_0, \text{ кмоль}, \quad (1.6)$$

где $K = M_{H_2} / M_{CO}$ принимается равным 0,45...0,50.

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - M_{CO}, \text{ кмоль}; \quad (1.7)$$

$$M_{H_2} = K \cdot M_{CO}, \text{ кмоль}; \quad (1.8)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - M_{H_2}, \text{ кмоль}; \quad (1.9)$$

$$M_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0, \text{ кмоль}. \quad (1.10)$$

При сгорании бедных или стехиометрических смесей ($\alpha \geq 1$) продукты сгорания включают в себя CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 .

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12}, \text{ кмоль}; \quad (1.11)$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2}, \text{ кмоль}; \quad (1.12)$$

$$M_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0, \text{ кмоль}; \quad (1.13)$$

$$M_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot L_0, \text{ кмоль}. \quad (1.14)$$

1.1.7. Общее количество продуктов сгорания

$$M_2 = \sum_{i=1}^{i=n} M_i, \text{ кмоль}. \quad (1.15)$$

При $\alpha < 1$ $M_2 = M_{\text{CO}} + M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{N}_2}$.

При $\alpha \geq 1$ $M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}$.

1.2. Расчет процесса наполнения

1.2.1. Температура подогрева свежего заряда

Величина температуры подогрева свежего заряда ΔT зависит от конструкции впускного трубопровода, типа системы охлаждения, скорости вращения коленчатого вала двигателя и может быть принята:

- для бензиновых двигателей $\Delta T = 0 \dots 20^\circ$;
- для дизелей без наддува $\Delta T = 10 \dots 40^\circ$;
- для дизелей с наддувом $\Delta T = (-5) \dots (+10^\circ)$.

1.2.2. Плотность заряда на впуске

$$\rho_{\text{возд}} = \frac{P_0 \cdot 10^6}{B \cdot T_0}, \text{ кг/м}^3, \quad (1.16)$$

где $P_0 = 0,1$ МПа – атмосферное давление; $T_0 = 293$ К – температура окружающего воздуха; $B = 287$ Дж/кг·град – удельная газовая постоянная

воздуха. Принимается одинаковой для воздушного заряда (дизель) и для топливно-воздушной смеси (карбюраторный двигатель).

При расчете двигателя с наддувом в дальнейшем следует принять $P_0 = P_k$ и $T_0 = T_k$, где T_k – температура компрессора, К.

$$T_k = T_0 \cdot \left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{(n_k-1)}{n_k}}, \text{ К}, \quad (1.17)$$

где n_k – показатель компрессора ($n_k = 1,4 \dots 2,0$ для центробежных нагнетателей).

1.2.3. Потери давления на впуске

С достаточной точностью потери давления на впуске могут быть определены из уравнения:

$$\Delta P_a = (\beta^2 + \xi_{\text{ВП}}) \cdot \frac{\omega_{\text{ВП}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot 10^{-6}, \text{ МПа}, \quad (1.18)$$

где β – коэффициент затухания скорости движения заряда; $\xi_{\text{ВП}}$ – коэффициент сопротивления впускной системы; $\omega_{\text{ВП}}$ – средняя скорость движения заряда в наиболее узком сечении впускной системы, м/с.

Сумма $(\beta^2 + \xi_{\text{ВП}})$ характеризует сопротивление впускной системы и принимается из диапазона $2,5 \dots 4,0$. Скорость движения воздушного заряда в основном определяется скоростью вращения коленчатого вала, рабочим объемом двигателя и площадью наиболее узкого сечения впускной системы $\omega_{\text{ВП}} = 50 \dots 130$ м/с.

Полученное значение ΔP_a должно укладываться в допустимые пределы:

- для бензиновых двигателей $\Delta P_a = (0,06 \dots 0,2) \cdot P_0$;
- для дизелей $\Delta P_a = (0,04 \dots 0,18) \cdot P_0$.

1.2.4. Давление в конце впуска

$$P_a = P_0 - \Delta P_a, \text{ МПа}. \quad (1.19)$$

1.2.5. Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{P_r}{\varepsilon \cdot P_a - P_r}, \quad (1.20)$$

где T_r – температура остаточных газов, К; P_r – давление остаточных газов, МПа; ε – степень сжатия.

Величина степени сжатия в основном определяется свойствами применяемого топлива. Численное значение степени сжатия приведено в задании. Если это значение не задано, то величина степени сжатия для режима максимальной мощности принимаются из таблицы 1.2.

Для бензиновых двигателей степень сжатия определяется октановым числом используемого бензина. Ориентировочно можно принять следующую взаимосвязь допустимой степени сжатия и октанового числа бензина.

Таблица 1.2

| | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Степень сжатия | 6,6-7,0 | 7,1-7,5 | 7,6-8,5 | 8,6-9,5 | до 12,5 |
| Октановое число | 73-76 | 77-80 | 81-90 | 91-100 | > 100 |

При установлении величины T_r необходимо иметь в виду, что при увеличении степени сжатия и обогащения рабочей смеси температура остаточных газов снижается, а при увеличении скорости вращения коленчатого вала – возрастает. Температура остаточных газов устанавливается в следующих пределах:

- для бензиновых двигателей $T_r = 900 \dots 1100$ К;
- для дизелей $T_r = 600 \dots 900$ К.

Величина P_r устанавливается в зависимости от числа и расположения выпускных клапанов, сопротивление выпускной системы, фаз газораспределения, скорости вращения коленчатого вала из следующего выражения:

$$P_r = (1,05 \dots 1,25) \cdot P, \text{ МПа.}$$

Величина коэффициента остаточных газов по результатам расчетов должна составлять:

- для бензиновых двигателей $\gamma_r = 0,05 \dots 0,10$;
- для дизелей $\gamma_r = 0,02 \dots 0,06$.

1.2.6. Температура в конце впуска

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}, \text{ К.} \quad (1.21)$$

Величина T_a изменяется в пределах:

- для бензиновых двигателей $T_a = 320 \dots 360$ К;
- для дизелей $T_a = 310 \dots 350$ К.

1.2.7. Коэффициент наполнения

$$\eta_V = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{P_0} \cdot (\varepsilon \cdot P_a - P_r). \quad (1.22)$$

Величина η_V изменяется в пределах:

- для бензиновых двигателей $\eta_V = 0,70 \dots 0,85$;
- для дизелей $\eta_V = 0,80 \dots 0,90$.

1.3. Расчет процесса сжатия

1.3.1. Давление в конце сжатия

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}, \text{ МПа}, \quad (1.23)$$

где n_1 – средний показатель политропы сжатия.

Величина n_1 зависит от скорости вращения коленчатого вала, рабочего объема цилиндра, степени сжатия. Влияние названных факторов на величину n_1 определяется интенсивностью тепловыделения по мере сгорания рабочей смеси и теплообмена между рабочим телом и стенками цилиндра, поршня и камеры сгорания. Если суммарное влияние указанных факторов способствует подводу тепла к рабочему телу или сокращению отвода тепла, то это приводит к увеличению среднего показателя политропы сжатия, и наоборот. Значение показателя политропы сжатия n_1 следует определять по среднему показателю адиабаты k_1 . Для этого по номограмме, изображенной на рисунке 1 приложения 1, для соответствующих значений ε и T_a определяется величина k_1 . Значения показателя политропы сжатия устанавливаются в следующих пределах:

- для бензиновых двигателей $n_1 = (k_1 - 0,00) \dots (k_1 - 0,04)$;
- для дизелей $n_1 = (k_1 + 0,02) \dots (k_1 - 0,02)$.

Величина n_1 изменяется в следующих пределах:

- для бензиновых двигателей $n_1 = 1,30 \dots 1,37$;
- для дизелей $n_1 = 1,32 \dots 1,40$.

1.3.2. Температура в конце впуска

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}, \text{ К}. \quad (1.24)$$

1.3.3. Средняя молярная теплоемкость свежей смеси

$$(mc_V)_{to}^{tc} = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot t_c, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}, \quad (1.25)$$

где $t_c = T_c - 273$ – температура конца сжатия, °С.

1.3.4. Средняя молярная теплоемкость остаточных газов

$$(mc_V)_{to}^{tc} = \frac{1}{M_2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} M_i \cdot (mc_V)_{to}^{tc} i \right], \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}, \quad (1.26)$$

где M_i – количество i -го компонента остаточных газов (см. п. 1.1.6);
 $(mc_V)_{to}^{tc} i$ – средняя молярная теплоемкость i -го компонента остаточных газов:

$$(mc_V)_{to}^{tc} CO = 20,597 + 2,67 \cdot 10^{-3} \cdot t_c, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.27)$$

$$(mc_V)_{to}^{tc} CO_2 = 27,941 + 19 \cdot 10^{-3} \cdot t_c - 54,87 \cdot 10^{-7} \cdot t_c^2, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.28)$$

$$(mc_V)_{to}^{tc} H_2 = 20,684 + 0,206 \cdot 10^{-3} \cdot t_c + 5,88 \cdot 10^{-7} \cdot t_c^2, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.29)$$

$$(mc_V)_{to}^{tc} H_2O = 24,953 + 5,359 \cdot 10^{-3} \cdot t_c, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.30)$$

$$(mc_V)_{to}^{tc} O_2 = 20,93 + 4,641 \cdot 10^{-3} \cdot t_c - 8,4 \cdot 10^{-7} \cdot t_c^2, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.31)$$

$$(mc_V)_{to}^{tc} N_2 = 20,398 + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_c, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}. \quad (1.32)$$

1.3.5. Средняя молярная теплоемкость рабочей смеси

$$(mc_V)_{to}^{tc} = \frac{1}{1 + \gamma_r} \left[(mc_V)_{to}^{tc} + \gamma_r \cdot (mc_V)_{to}^{tc} \right], \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}. \quad (1.33)$$

1.4. Расчет процесса сгорания

1.4.1. Коэффициент молекулярного изменения горючей смеси

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}. \quad (1.34)$$

1.4.2. Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}. \quad (1.35)$$

1.4.3. Количество тепла ΔH_U , потерянного вследствие неполноты сгорания топлива

При $\alpha \geq 1$ $\Delta H_U = 0$.

При $\alpha < 1$:

$$\Delta H_U = 120 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0, \text{ МДж/кг}. \quad (1.36)$$

1.4.4. Теплота сгорания рабочей смеси

$$H_{P.C.} = \frac{H_U - \Delta H_U}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} \cdot 10^3, \text{ кДж/кмоль}. \quad (1.37)$$

1.4.5. Средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z = \frac{1}{M_2} \left[\sum_{i=1}^{i=n} M_i \cdot \left(mc_V'' \right)_{to}^z i \right], \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}, \quad (1.38)$$

где M_i – количество i -го компонента продуктов сгорания (см. п. 1.1.6);

$\left(mc_V'' \right)_{to}^z i$ – средняя молярная теплоемкость i -го компонента продуктов сгорания:

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z CO = 22,49 + 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.39)$$

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z CO_2 = 39,123 + 3,349 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.40)$$

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z H_2 = 19,768 + 1,758 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.41)$$

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z H_2O = 26,67 + 4,438 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.42)$$

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z O_2 = 23,723 + 1,55 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}; \quad (1.43)$$

$$\left(mc_V'' \right)_{to}^z N_2 = 21,951 + 1,457 \cdot 10^{-3} \cdot t_z, \text{ кДж/кмоль} \cdot \text{град}. \quad (1.44)$$

Средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания, рассчитанная по формуле (1.37), должна быть определена в виде

$$(mc_V'')_{to}^{tz} = X + Y \cdot t_z. \quad (1.45)$$

1.4.6. Коэффициент использования тепла

Коэффициент использования тепла ξ_z выражает долю H_u , использованную на повышение внутренней энергии рабочего тела и принимаются:

- для бензиновых двигателей $\xi_z = 0,75 \dots 0,85$;
- для дизелей $\xi_z = 0,70 \dots 0,80$.

Большие значения относятся к двигателям с совершенным смесеобразованием и минимальными потерями тепла рабочего тела из-за передачи его к стенкам цилиндра.

1.4.7. Уравнение сгорания

Для бензиновых двигателей уравнение сгорания имеет вид:

$$\xi_z \cdot H_{P.C.} + (mc_V')_{to}^{tc} \cdot t_c = \mu \cdot (mc_V'')_{to}^{tz} \cdot t_z, \quad (1.46)$$

где μ – коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси.

Для дизельных двигателей уравнение сгорания имеет вид:

$$\xi_z \cdot H_{P.C.} + \left[(mc_V')_{to}^{tc} + 8,315 \cdot \lambda \right] \cdot t_c + 2270 \cdot (\lambda - \mu) = \mu \cdot (mc_p'')_{to}^{tz} \cdot t_z, \quad (1.47)$$

где $(mc_p'')_{to}^{tz} = (mc_V'')_{to}^{tz} + 8,315$, кДж/кмоль·град – средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания при постоянном давлении; λ – степень повышения давления:

- для дизелей с неразделенными камерами сгорания $\lambda = 1,6 \dots 2,5$;
- для дизелей с разделенными камерами сгорания $\lambda = 1,2 \dots 1,8$.

Для решения уравнения необходимо величину $(mc_V'')_{to}^{tz}$ или $(mc_p'')_{to}^{tz}$ (в зависимости от типа двигателя) в нем заменить выражением (1.45). Затем уравнение упростить и привести к виду:

$$a \cdot t_z^2 + b \cdot t_z + c = 0, \quad (1.48)$$

где t_z – температура конца сгорания, °С; a, b, c – константы.

Решение уравнения (1.48) имеет вид:

$$t_z = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \text{ °С}; \quad (1.49)$$

$$T_z = t_z + 273, \text{ К}. \quad (1.50)$$

Температура конца сгорания изменяется в пределах:

– для бензиновых двигателей $T_z = 2400 \dots 2900 \text{ К}$;

– для дизелей $T_z = 1800 \dots 2300 \text{ К}$.

1.4.8. Максимальное давление сгорания

Для бензиновых двигателей

$$P_z = P_c \cdot \mu \cdot \frac{T_z}{T_c}, \text{ МПа}. \quad (1.51)$$

Для дизелей

$$P_z = \lambda \cdot P_c, \text{ МПа}. \quad (1.52)$$

1.4.9. Степень повышения давления (для бензиновых двигателей)

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c}. \quad (1.53)$$

1.5. Расчет процесса расширения

1.5.1. Степень предварительного расширения (для дизелей)

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}. \quad (1.54)$$

1.5.2. Степень последующего расширения (для дизелей)

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}. \quad (1.55)$$

1.5.3. Давление в конце расширения

Для бензиновых двигателей

$$P_B = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}, \text{ МПа.} \quad (1.56)$$

Для дизелей

$$P_B = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \text{ МПа,} \quad (1.57)$$

где n_2 – средний показатель политропы расширения.

Величина n_2 зависит от интенсивности теплообменом между рабочим телом и стенками цилиндра, камеры сгорания и днища поршня. Подвод тепла к рабочему телу или сокращение отвода тепла на линии расширения приводит к уменьшению среднего показателя политропы расширения. Величину n_2 можно оценить по величине адиабаты расширения k_2 для соответствующих значений ε , α и T_z по номограммам (рисунок 2, 3 приложения 1). По опытными данным показатель n_2 незначительно отличается от показателя k_2 и, как правило, в меньшую сторону.

1.5.4. Температура в конце расширения

Для бензиновых двигателей

$$T_B = T_z / \varepsilon^{n_2-1}. \quad (1.58)$$

Для дизелей

$$T_B = T_z / \delta^{n_2-1}. \quad (1.59)$$

1.5.5. Проверка корректности принятых величин

В начале расчета процесса впуска (п. 1.2.5) априорно была принята величина T_r . Точность выбора этой величины проверяется по формуле

$$T_r = \frac{T_B}{\sqrt[3]{P_B/P_r}}. \quad (1.60)$$

При расхождении между принятой в п. 1.2.5. температурой остаточных газов и расчетной величиной более 5 % величины T_r и P_r необходимо изменить принятые величины и повторить тепловой расчет.

1.6. Индикаторные показатели рабочего цикла

1.6.1. Теоретическое среднее индикаторное давление

Для бензиновых двигателей

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \text{ МПа.} \quad (1.61)$$

Для дизелей

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_1 - 1}} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right], \text{ МПа.} \quad (1.62)$$

1.6.2. Среднее индикаторное давление

$$P_i = \varphi_n \cdot P_i', \text{ МПа,} \quad (1.63)$$

где φ_n – коэффициент полноты индикаторной диаграммы.

Коэффициент φ_n учитывает уменьшение площади индикаторной диаграммы, связанное с опережением открытия и запаздыванием закрытия клапанов:

- для бензиновых двигателей $\varphi_n = 0,94 \dots 0,97$;
- для дизелей $\varphi_n = 0,92 \dots 0,95$.

1.6.3. Индикаторный КПД

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot l_0 \cdot \alpha}{H_U \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot \eta_V}, \quad (1.64)$$

где P_i – среднее индикаторное давление, МПа; l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива; H_U – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность заряда, кг/м³; η_V – коэффициент наполнения.

1.6.4. Индикаторный удельный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{H_U \cdot \eta_i}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч.} \quad (1.65)$$

1.7. Эффективные показатели рабочего цикла

1.7.1. Среднее давление механических потерь

Для бензиновых двигателей с числом цилиндров до шести и отношением $S/D > 1$:

$$P_M = 0,049 + 0,0152 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа.} \quad (1.66)$$

Для бензиновых восьмицилиндровых двигателей:

$$P_M = 0,039 + 0,0132 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа.} \quad (1.67)$$

Для бензиновых двигателей с числом цилиндров до шести и отношением $S/D \leq 1$:

$$P_M = 0,034 + 0,0113 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа.} \quad (1.68)$$

Для дизелей с неразделенными камерами:

$$P_M = 0,089 + 0,0118 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа.} \quad (1.69)$$

Для предкамерных дизелей:

$$P_M = 0,103 + 0,0153 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа.} \quad (1.70)$$

Для вихрекамерных дизелей:

$$P_M = 0,089 + 0,0135 \cdot V_{\text{П.СР.}}, \text{ МПа,} \quad (1.71)$$

где $V_{\text{П.СР.}}$ – средняя скорость поршня.

Величина $V_{\text{П.СР.}}$ зависит от размеров деталей кривошипно-шатунного механизма и скорости вращения коленвала:

- для бензиновых двигателей легковых автомобилей $V_{\text{П.СР.}} = 12 \dots 15$ м/с;
- для бензиновых двигателей грузовых автомобилей $V_{\text{П.СР.}} = 9 \dots 12$ м/с;
- для дизельных двигателей $V_{\text{П.СР.}} = 6,5 \dots 12$ м/с.

1.7.2. Среднее эффективное давление

$$P_e = P_i - P_M, \text{ МПа.} \quad (1.72)$$

1.7.3. Механический КПД

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i}. \quad (1.73)$$

1.7.4. Эффективный КПД

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M. \quad (1.74)$$

1.7.5. Эффективный удельный расход топлива

$$g_e = \frac{3600}{H_U \cdot \eta_e}, \text{ г/кВт·ч.} \quad (1.75)$$

1.7.6. Часовой расход топлива

$$G_T = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3}, \text{ кг/ч.} \quad (1.76)$$

1.8. Основные параметры цилиндра и двигателя**1.8.1. Рабочий объем двигателя**

$$V_{Л} = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{P_e \cdot n}, \text{ л.} \quad (1.77)$$

1.8.2. Рабочий объем цилиндра

$$V_h = \frac{V_{Л}}{i}, \text{ л.} \quad (1.78)$$

1.8.3. Диаметр поршня

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot S/D}}, \text{ мм.} \quad (1.79)$$

1.8.4. Ход поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D}, \text{ мм.} \quad (1.80)$$

Величины S и D следует округлить до четных чисел.

1.8.5. Действительные параметры двигателя

$$V_{\text{Л}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S \cdot i}{4 \cdot 10^6}, \text{ л;} \quad (1.81)$$

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{\text{Л}} \cdot n}{30 \cdot \tau}, \text{ кВт;} \quad (1.82)$$

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n}, \text{ Н·м;} \quad (1.83)$$

$$G_T = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3}, \text{ кг/ч;} \quad (1.84)$$

$$V_{\text{П.СР}} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4}, \text{ м/с.} \quad (1.85)$$

Полученное расчетное значение эффективной мощности необходимо сравнить с ее заданной величиной. Разница между ними должна быть не более 5 %. В противном случае тепловой расчет необходимо повторить, введя необходимые изменения значений P_e , D .

Аналогично полученное значение средней скорости поршня может отличаться от принятого не более чем на 5 %. В противном случае величину $V_{\text{П.СР}}$ нужно изменить и повторить расчет от п. 1.7.

1.9. Построение индикаторной диаграммы

Индикаторная диаграмма строится на миллиметровой бумаге форматом 210×297 мм и помещается в пояснительной записке. Масштаб давления и объема выбирается с таким расчетом, чтобы высота индикаторной диаграммы была больше ширины в 1,2...1,7 раз.

Индикаторные диаграммы карбюраторного двигателя и дизеля имеют известные различия, поэтому их построение рассматривается отдельно.

1.9.1. Индикаторная диаграмма карбюраторного двигателя

На оси абсцисс индикаторной диаграммы (рисунок 1) от ее начала откладывается отрезок OA , соответствующий объему камеры сгорания:

$$OA = \frac{AB}{\varepsilon - 1}, \text{ мм.} \quad (1.86)$$

где AB – отрезок, соответствующий рабочему объему цилиндра в выбранном масштабе, мм.

От точки A откладывается отрезок AB , соответствующий рабочему объему цилиндра.

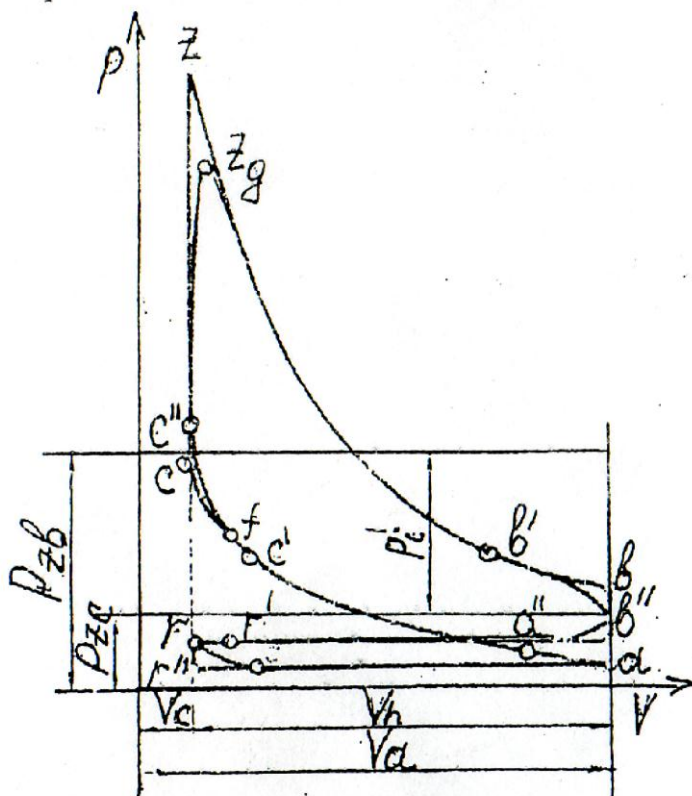


Рисунок 1 – Индикаторная диаграмма карбюраторного двигателя

По данным теплового расчета на диаграмму наносят характерные точки r , a , c , z , b . Построение политроп сжатия и расширения осуществляют следующим образом. На отрезке AB намечают несколько равномерно распределенных точек (не менее 6).

Давления для этих точек определяется из уравнений:

– для политропы сжатия:

$$\frac{P_x}{M_p} = \frac{P_a}{M_p} \cdot \left(\frac{OB}{OX} \right)^{n_1}, \text{ мм}; \quad (1.87)$$

– для политропы расширения:

$$\frac{P_x}{M_p} = \frac{P_B}{M_p} \cdot \left(\frac{OB}{OX} \right)^{n_2}, \text{ мм}. \quad (1.88)$$

где P_x и V_x – давление и объем в точке X ; M_p – масштаб давления, МПа/мм.

Данные для построения политроп сжатия и расширения целесообразно свести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

| № точки | OX, мм | OB/OX | (OB/OX) ⁿ¹ | P _x /M _p , мм | P _x , МПа | (OB/OX) ⁿ² | P _x /M _p , мм | P _x , МПа |
|---------|--------|-------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | |

Вычисленные значения P_x и V_x наносят в масштабе на диаграмму. Полученные точки соединяют тонкой линией.

По индикаторной диаграмме определяют теоретическое среднее индикаторное давление:

$$P_1' = \frac{F}{AB} \cdot M_p, \text{ МПа}, \quad (1.89)$$

где F – площадь индикаторной диаграммы, мм²; M_p – масштаб давления, МПа/мм.

Значение P_1' , найденное от площади индикаторной диаграммы, не должно отличаться от расчетного значения более чем на 5 %.

1.9.2. Индикаторная диаграмма дизеля

Индикаторная диаграмма дизеля (рисунок 2) строится аналогично индикаторной диаграмме карбюраторного двигателя, за исключением того,

что политропу расширения необходимо строить не от точки Z' , а от точки Z . Отрезок ZZ' определяющий положение точки Z , находится из равенства:

$$ZZ' = OA \cdot (\rho - 1), \text{ мм}, \quad (1.90)$$

где ρ – степень предварительного расширения.

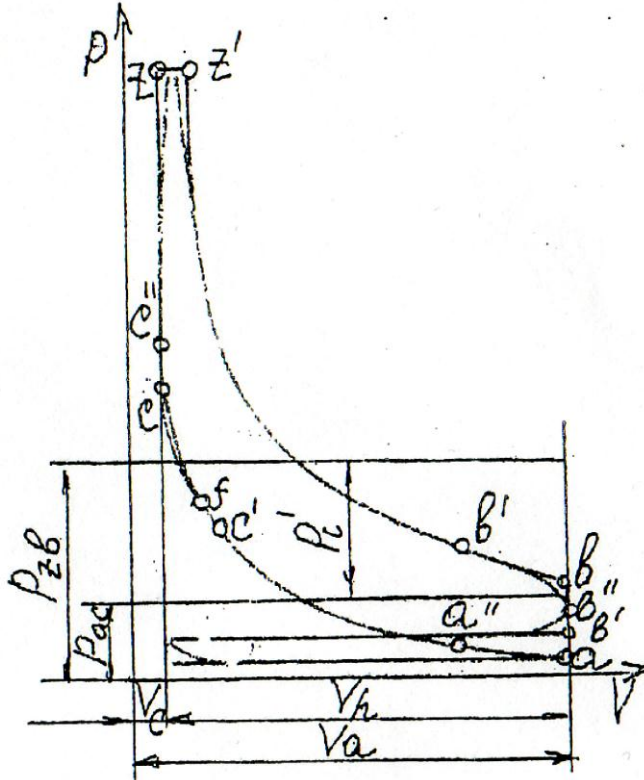


Рисунок 2 – Индикаторная диаграмма дизеля

1.9.3. Коррекция теоретической индикаторной диаграммы

Действительная индикаторная диаграмма отличается от теоретической тем, что процесс сгорания в действительности протекает не мгновенно, а в течение определенного промежутка времени. Кроме того, выпуск отработанных газов и впуск свежего заряда начинаются не в мертвых точках, а с некоторым опережением и заканчиваются с запаздыванием.

В связи с этим необходимо принять фазы газораспределения, принимая во внимание быстротходность двигателя, конструкцию и характеристики впускного и выпускного трактов, рабочий объем двигателя, а также опираясь на прототип. Кроме того, необходимо задаться углом опережения (впрыска топлива) и периодом задержки воспламенения. Ниже приведены диапазоны изменения названных величин:

- 1) угол опережения открытия:
 - впускного клапана $10...30^\circ$;

- выпускного клапана $40 \dots 80^\circ$;
- 2) угол запаздывания закрытия:
 - впускного клапана $40 \dots 80^\circ$;
 - выпускного клапана $15 \dots 60^\circ$;
- 3) для режима максимальной мощности:
 - угол опережения зажигания $30 \dots 40^\circ$;
 - угол опережения впрыска $15 \dots 25^\circ$;
- 4) период задержки воспламенения:
 - для бензина $15 \dots 18^\circ$;
 - для дизельного топлива $8 \dots 12^\circ$.

В связи с тем, что рабочая смесь воспламеняется в цилиндре до прихода поршня в верхнюю мертвую точку, действительное давление конца сжатия (точка С) отличается от расчетного:

$$P_c'' = (1,15 \dots 1,25) \cdot P_c, \text{ МПа.} \quad (1.91)$$

Максимальное давление сгорания в карбюраторном двигателе не достигает расчетного:

$$P_{z\partial} = 0,85 \cdot P_z, \text{ МПа.} \quad (1.92)$$

В дизельном двигателе максимальное давление сгорания достигает расчетного:

$$P_{z\partial} = P_z. \quad (1.93)$$

Положение точки Z_∂ по горизонтали определяется допустимой скоростью нарастания давления:

$$V_p = \frac{P_{z\partial} - P_c''}{\Delta\varphi_2}, \text{ МПа/град,} \quad (1.94)$$

где V_p – скорость нарастания давления; $P_{z\partial}$ – действительное максимальное давление сгорания, МПа; P_c'' – действительное давление конца сжатия, МПа; $\Delta\varphi_2$ – угол поворота коленчатого вала, соответствующий движению поршня от верхней мертвой точки до точки Z_∂ , град п.к.в.

Точка Z_∂ должна быть расположена так, чтобы скорость нарастания давления не превышала:

- для бензиновых двигателей $0,1 \dots 0,4$ МПа/град;
- для дизелей с разделенными камерами сгорания $0,2 \dots 0,5$ МПа/град;
- для дизелей с неразделенными камерами сгорания не более $1,2$ МПа/град.

После определения фаз газораспределения, угла опережения зажигания (впрыска топлива), периода задержки воспламенения, угла $\Delta\varphi_2$ определяют положение поршня, соответствующее названным углам. Для этого используют выражение:

$$AX = \frac{AB}{2} \cdot \left[(1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda'}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right], \text{ мм}, \quad (1.95)$$

где AX – отрезок, определяющий положение искомой точки на индикаторной диаграмме; AB – отрезок, соответствующий рабочему объему цилиндра на индикаторной диаграмме, мм; φ – угол поворота коленчатого вала от верхней мертвой точки, град п.к.в.; λ' – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Величина λ' оказывает некоторое влияние на динамику и габариты двигателя. С уменьшением λ' происходит снижение сил инерции и нормальных сил, но при этом увеличивается высота двигателя и его масса. Значения для некоторых автомобильных двигателей приведены в таблице 2.1.

Результаты вычислений заносятся в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

| Обозначение точки | Положение точки | φ | $\left[(1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda'}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right]$ | AX , мм |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| r' | | | | |
| a'' | | | | |
| b' | | | | |
| a' | | | | |
| c' | | | | |
| f | | | | |
| Z_0 | | | | |

После этого названные точки наносят на индикаторную диаграмму и соединяют линией $ra'a''c'fc''Z_0b'b''r'r$, являющейся рабочим циклом проектируемого двигателя.

Принятые фазы газораспределения выносят на лист 1 графической части.

1.10. Тепловой баланс

1.10.1. Общее количество теплоты, введенной в двигатель за 1 с

$$Q_0 = \frac{H_U \cdot G_T}{3,6}, \text{ Дж/с}, \quad (1.96)$$

где H_U – низшая теплота сгорания, кДж/кг; G_T – часовой расход топлива, кг/ч. Необходимо принять общее количество теплоты Q_0 за 100 %.

1.10.2. Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с

$$Q_e = 1000 \cdot N_e, \text{ Дж/с}. \quad (1.97)$$

1.10.3. Теплота, передаваемая охлаждающей среде за 1 с

$$Q_B = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m \cdot [(H_U - \Delta H_U) / (\alpha \cdot H_U)], \text{ Дж/с}. \quad (1.98)$$

где $c = 0,45 \dots 0,53$ – коэффициент пропорциональности; $m = 0,6 \dots 0,7$ – показатель степени; i – число цилиндров; D – диаметр цилиндра, мм; n – скорость вращения коленчатого вала, мин^{-1} .

1.10.4. Теплота, унесенная с отработавшими газами за 1 с

$$Q_{\Gamma} = \frac{G_T}{3,6} \cdot \left[M_2 \cdot (mc_p)''_0 \cdot t_r - M_1 \cdot (mc_p)'_0 \cdot t_0 \right], \text{ Дж/с}, \quad (1.99)$$

где M_1 и M_2 – количество продуктов сгорания и свежей смеси соответственно (см. п. 1.1.5 и 1.1.7); $(mc_p)''_0 = (mc_v)''_0 + 8,315$, кДж/кг·град – средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания при постоянном давлении (таблица 2, 3 приложения 2); $(mc_p)'_0 = (mc_v)'_0 + 8,315$, кДж/кг·град – средняя молярная теплоемкость свежей смеси при постоянном давлении (таблица 1 приложения 2).

1.10.5. Теплота, потерянная вследствие химической неполноты сгорания топлива за 1 с

$$Q_{\text{н.с.}} = \frac{\Delta H_U \cdot G_T}{3,6}, \text{ Дж/с}, \quad (1.100)$$

где ΔH_U – количество потерянного тепла, кДж/кг (см. п. 1.4.3).

Величины $Q_e, Q_B, Q_\Gamma, Q_{H.C.}$ необходимо выразить в процентах от значения Q_0 .

1.10.6. Неучтенные потери тепла

$$Q_{\text{ост}} = Q_0 - (Q_e + Q_B + Q_\Gamma + Q_{H.C.}), \text{ Дж/с (\%)}. \quad (1.101)$$

Величина неучтенных потерь тепла не должна превышать 5 % от общего количества тепла Q_0 . В противном случае тепловой баланс необходимо пересчитать, изменив значения коэффициентов c и m , принятых в пункте 1.10.3.

2. КИНЕМАТИКА

Кинематические исследования кривошипно-шатунного механизма необходимы для дальнейшего выяснения сил, действующих на детали и элементы деталей двигателя, основные параметры которых можно определить расчетом. Детальные исследования кинематики кривошипно-шатунного механизма двигателя из-за переменного режима работы двигателя очень сложны. При определении нагрузок на детали двигателя пользуются упрощенными формулами, полученными для условия равномерного вращения кривошипа, которые дают при расчете достаточную точность и существенно облегчают расчет.

Принципиальные схемы кривошипно-шатунного механизма двигателей автотракторного типа показаны: на рисунке 3, а – центральный кривошипно-шатунный механизм, у которого ось цилиндра пересекает ось коленчатого вала (кривошипа); на рисунке 3, б – дезаксиальный, у которого ось цилиндра не пересекает ось коленчатого вала.

Ось цилиндра смещена относительно оси коленчатого вала на величину α . Такое смещение одной из осей относительно другой позволяет несколько изменить давление на стенку цилиндра и уменьшить скорость поршня у в.м.т. (верхней мертвой точки), что благоприятно сказывается на процессе сгорания и уменьшает износ деталей, а также снижает шум при переносе нагрузки от одной стенки цилиндра на другую при изменении направления движения поршня.

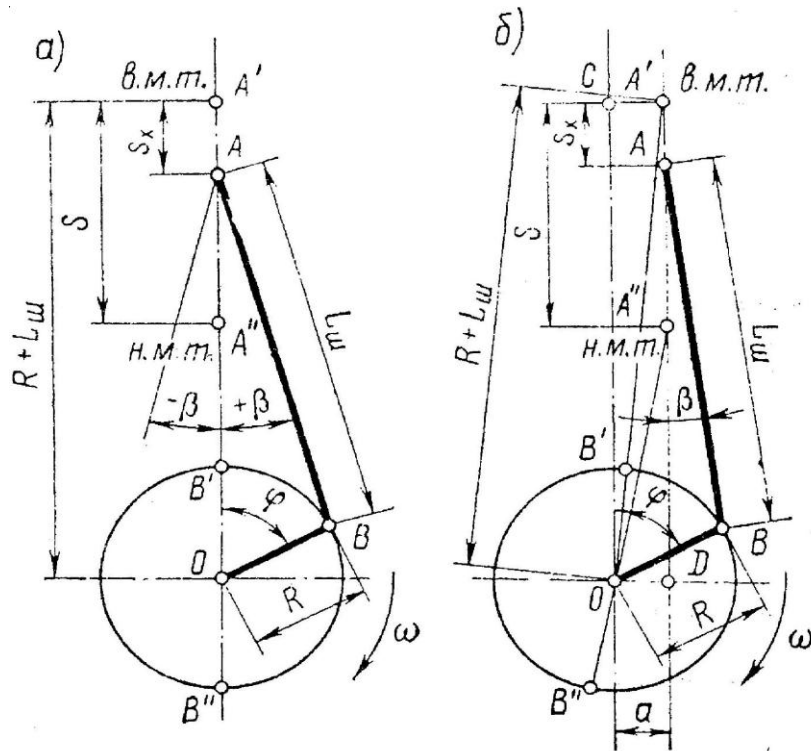


Рисунок 3 – Схемы кривошипно-шатунных механизмов:
а – центрального; б – смещенного (дезаксиального)

На рисунке 3 приведены основные обозначения механизмов:

S_x – текущее перемещение поршня (точка А – ось поршневого пальца);

φ – угол поворота кривошипа OB , отсчитываемой от оси цилиндра ($A'O$) в направлении вращения коленчатого вала по часовой стрелке (точка O обозначает ось коленчатого вала; точка B – ось шатунной шейки; точка A' – в.м.т.);

β – угол отклонения шатуна (AB) от оси цилиндра;

ω – угловая скорость вращения коленчатого вала;

$R = OB$ – радиус кривошипа;

$S = 2R = A'A''$ – ход поршня (точка A'' обозначает н.м.т. (нижнюю мертвую точку));

$L_{ш} = AB$ – длина шатуна;

$\lambda' = R/L_{ш}$ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;

$R + L_{ш} = A'O$ – расстояние от оси коленчатого вала до в.м.т.

В смещенном кривошипно-шатунном механизме (см. рисунок 3, б) в отличие от принятых обозначений для центрального механизма угол φ поворота кривошипа отсчитывается от прямой CO , параллельной оси $A'D$ и проходящей через ось коленчатого вала, а $S = A'A'' \neq 2R$.

Дезаксиальный механизм характеризуется величиной относительно-го смещения $k = a/R = 0,05...0,15$, где $a = OD$ – величина смещения оси цилиндра относительно оси коленчатого вала.

Величины инерционных усилий, действующих в двигателе, зависят от указанных выше размеров и их соотношений.

Установлено, что с уменьшением $\lambda' = R/L_{ш}$ (за счет увеличения $L_{ш}$) происходит снижение инерционных и нормальных сил, но при этом увеличивается высота и масса двигателя. В связи с этим в автомобильных и тракторных двигателях принимают $\lambda' = 0,23...0,30$. Конкретные значения λ' для некоторых ранее выпускаемых автомобильных и тракторных двигателей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

| Марка двигателя | λ' | Марка двигателя | λ' |
|-----------------|------------|-----------------|------------|
| МеМЗ-968 | 0,28 | ЗМЗ-13 | 0,262 |
| ВАЗ-2101 | 0,242 | ЗМЗ-53 | 0,257 |
| ВАЗ-2103 | 0,278 | ЗИЛ-4331 | 0,257 |
| ВАЗ-2106 | 0,295 | КамАЗ-740 | 0,263 |
| АЗЛК-412 | 0,261 | ЯМЗ-236 | 0,264 |
| ЗМЗ-24 | 0,287 | А-01м | 0,264 |

Расчет кинематики кривошипно-шатунного механизма сводится к определению пути, скорости и ускорения поршня. При этом принимается, что коленчатый вал вращается с постоянной угловой скоростью ω (если частота вращения коленчатого вала n , об/мин, то $\omega = \pi \cdot n / 30$, 1/с). Это допущение позволяет рассматривать все кинематические величины в виде функциональной зависимости от угла поворота коленчатого вала φ , который при $\omega = const$ пропорционален времени.

2.1. Перемещение поршня

Перемещение поршня в зависимости от угла поворота кривошипа для двигателя с центральным кривошипно-шатунным механизмом:

$$S = R \cdot \left[(1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda'}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right], \text{ м.} \quad (2.1)$$

2.2. Скорость поршня

При перемещении поршня скорость его движения является величиной переменной и при постоянной частоте вращения коленчатого вала зависит только от изменения угла поворота кривошипа и отношения $\lambda' = R/L_{ш}$:

$$V_n = dS/dt = \left(\frac{d\varphi}{dt}\right) \cdot \left(\frac{dS}{d\varphi}\right) = \omega \cdot R \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda'}{2} \cdot \sin 2\varphi\right), \text{ м/с.} \quad (2.3)$$

Значения множителя в уравнении (2.3), заключенного в скобки, в зависимости от λ' и φ приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

| φ° | знак | Значения $\left(\sin\varphi + \frac{\lambda'}{2} \cdot \sin 2\varphi\right)$ при λ' | | | | | | | | знак | φ° |
|-----------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,31 | | |
| 0 | + | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | – | 360 |
| 30 | + | 0,604 | 0,608 | 0,613 | 0,617 | 0,621 | 0,626 | 0,630 | 0,634 | – | 330 |
| 60 | + | 0,970 | 0,974 | 0,979 | 0,983 | 0,987 | 0,992 | 0,996 | 1,000 | – | 300 |
| 90 | + | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | – | 270 |
| 120 | + | 0,762 | 0,758 | 0,753 | 0,749 | 0,745 | 0,740 | 0,736 | 0,732 | – | 240 |
| 150 | + | 0,396 | 0,392 | 0,387 | 0,383 | 0,379 | 0,374 | 0,370 | 0,366 | – | 210 |
| 180 | + | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | – | 180 |

Из уравнения (2.3) следует, что скорость поршня в мертвых точках ($\varphi = 0$ и 180) равна нулю.

При $\varphi = 90^\circ$ $V_n = R \cdot \omega$, а при $\varphi = 270^\circ$ $V_n = -R \cdot \omega$, т.е. в этих точках абсолютные значения скорости поршня равны окружной скорости оси шатунной шейки коленчатого вала.

Максимальная скорость поршня зависит (при прочих равных условиях) от величины λ' , учитывающей конечную длину шатуна, и достигается при $\varphi < 90^\circ (-V_n)$ и $\varphi > 270^\circ (-V_n)$.

С увеличением λ' максимальные значения скорости поршня растут и сдвигаются в сторону мертвых точек:

$$V_{n,\max} \approx \omega \cdot R \sqrt{1 + \lambda'^2}, \text{ м/с.} \quad (2.4)$$

На рисунке 5 представлена кривая изменения скорости поршня в зависимости от φ , рассчитанная аналитическим методом по формуле (2.3).

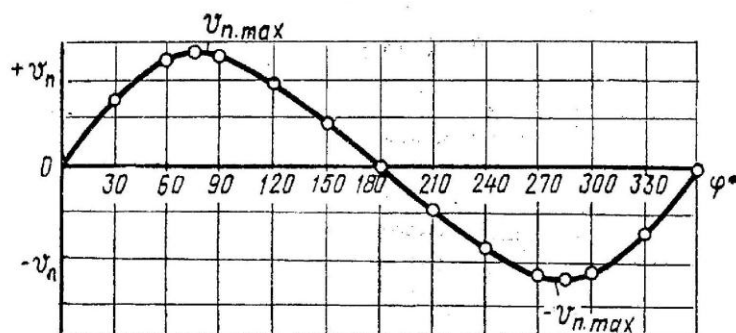


Рисунок 5 – Построение кривых скорости поршня аналитическим методом

Для сравнения быстроходности двигателей в расчетах часто используют среднюю скорость поршня:

$$V_{нсп} = S \cdot n / 30 = 2 \cdot \varphi \cdot R / \pi, \text{ м/с}, \quad (2.5)$$

где S и R выражены в м, n – в об/мин и ω – в рад/с.

Скорость поршня в смещенном кривошипно-шатунном механизме

$$V_n = \omega \cdot R \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda'}{2} \cdot \sin 2\varphi - k \cdot \lambda' \cdot \cos\varphi \right), \text{ м/с}. \quad (2.6)$$

2.3. Ускорение поршня

Ускорение поршня

$$j = \frac{dV_n}{dt} = \left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \cdot \left(\frac{dV_n}{d\varphi} \right) = \omega^2 \cdot R \cdot (\cos\varphi + \lambda' \cdot \cos 2\varphi), \text{ м/с}^2. \quad (2.7)$$

Значение множителя в формуле (2.7), заключенного в скобки, в зависимости от λ' и φ приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

| φ° | | Значение $(\cos\varphi + \lambda' \cdot \cos 2\varphi)$ при λ' | | | | | | | | | φ° |
|-----------------|---|------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-----------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,31 | | |
| 0 | + | 1,240 | 1,250 | 1,260 | 1,270 | 1,280 | 1,290 | 1,300 | 1,310 | + | 360 |
| 30 | + | 0,986 | 0,991 | 0,996 | 1,001 | 1,006 | 1,011 | 1,016 | 1,021 | + | 330 |
| 60 | + | 0,380 | 0,375 | 0,370 | 0,365 | 0,360 | 0,355 | 0,350 | 0,345 | + | 300 |
| 90 | – | 0,240 | 0,250 | 0,260 | 0,270 | 0,280 | 0,290 | 0,300 | 0,310 | – | 270 |
| 120 | – | 0,620 | 0,625 | 0,630 | 0,635 | 0,640 | 0,645 | 0,650 | 0,655 | – | 240 |
| 150 | – | 0,746 | 0,741 | 0,736 | 0,731 | 0,726 | 0,721 | 0,716 | 0,711 | – | 210 |
| 180 | – | 0,760 | 0,750 | 0,740 | 0,730 | 0,720 | 0,710 | 0,700 | 0,690 | – | 180 |

Максимальное значение ускорения поршня при $\varphi = 0^\circ$:

$$j_{\max} = \omega^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda'), \text{ м/с}^2. \quad (2.8)$$

Минимальное значение ускорения поршня (м/с^2) при: $a/\lambda' < 0,25$
в точке $\varphi = 180^\circ$:

$$j_{\min} = -\omega^2 \cdot R \cdot (1 - \lambda'). \quad (2.9)$$

При $b/\lambda' > 0,25$ в точке $\varphi = \arccos(-1/\lambda')$:

$$j_{\min} = \omega^2 \cdot [\lambda' + 1/8 \cdot \lambda']. \quad (2.9)'$$

Пользуясь уравнением (2.7) и данными таблицы 2.4, аналитическим путем определяем значения ускорения поршня для ряда значений угла в интервале $\varphi = 0 - 360^\circ$ и строят кривую $j = f(\varphi)$ (рисунок 6).

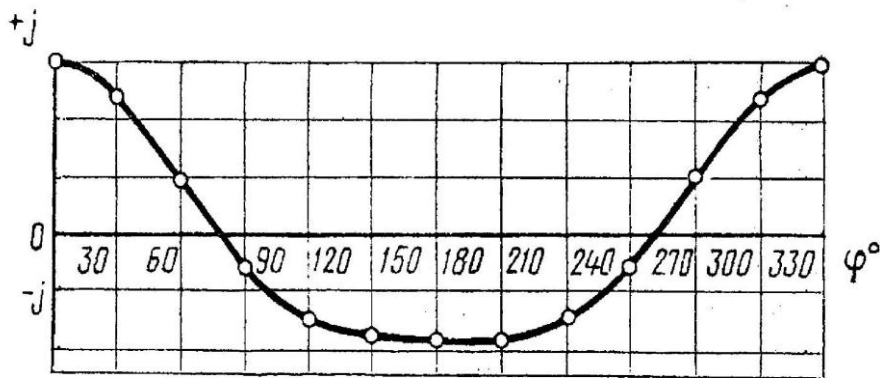


Рисунок 6 – Построение кривых ускорения поршня аналитическим методом

Значения S_x , V_n и j в зависимости от φ , полученные на основании построения графиков, заносят в итоговую таблицу.

Ускорение поршня в смещенном кривошипно-шатунном механизме:

$$j = \omega^2 \cdot R \cdot (\cos \varphi + \lambda' \cdot \cos 2\varphi + k \cdot \lambda' \cdot \sin \varphi), \text{ м/с}^2. \quad (2.10)$$

3. ДИНАМИКА

Целью динамического расчета является определение сил, действующих на кривошипно-шатунный механизм (КШМ) для дальнейшего расчета на прочность деталей двигателя. Результаты расчета выносятся на лист графической части, который должен содержать:

- 1) Индикаторную диаграмму в координатах $P - V$;
- 2) Развернутую диаграмму по углу поворота коленчатого вала в координатах $P - \varphi$;
- 3) Диаграммы: силы инерции P_j , суммарной силы P , силы K , силы, действующей вдоль оси шатуна S , тангенциальной силы T , нормальной силы N ;
- 4) Полярную диаграмму сил, действующих на шатунную шейку $R_{шш}$;
- 5) Диаграмму суммарного крутящего момента $M_{КРΣ}$;
- 6) Диаграмму износа шатунной шейки;
- 7) Диаграмму фаз газораспределения.

3.1. Динамический расчет КШМ

3.1.1. Построение диаграммы силы давления газов P_r в координатах $P - \varphi$ (давление – угол поворота коленчатого вала)

Диаграмма силы давления газов строится на основе индикаторной диаграммы (см. раздел 1 теплового расчета двигателя) и представляет собой график силы давления газов на поршень для различных положений коленчатого вала двигателя. Диаграмму получают путем перестроения индикаторной диаграммы из координат $P - V$ «давление – объем» в координаты «давление – угол поворота коленчатого вала» $P - \varphi$.

Для этого необходимо:

- 1) Построить под индикаторной диаграммой окружность радиусом $R = \frac{S}{2 \cdot m_x}$, мм с центром в точке 0, где m_x – масштаб перемещения поршня, $\frac{\text{мм.хода.поршня}}{\text{мм}}$.

- 2) Отложить от точки 0 в сторону нижней мертвой точки отрезок $00' = \frac{R \cdot \lambda}{2 \cdot m_s}$ – поправку Брикаса.

3) Из полученного центра 0' разбить полуокружность лучами через каждые 30° (рисунок 7).

4) Из точек, полученных на полуокружности провести вертикальные линии до пересечения с индикаторной диаграммой: перенести ординаты

соответствующих точек на координатную сетку $P-\varphi$ для углов $\varphi = 0...720^\circ$ п.к.в. и соединить их плавной кривой.

5) Определить максимальное значение силы P_r , находящиеся в диапазоне углов $\varphi = 360...390^\circ$ п.к.в.

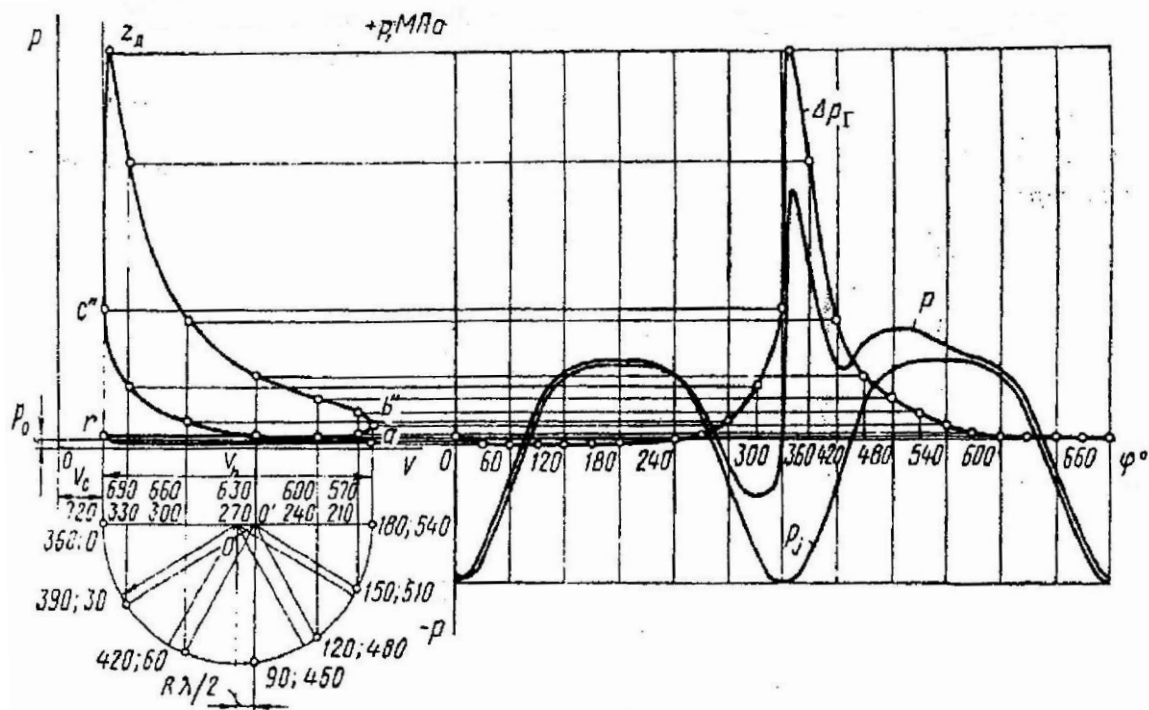


Рисунок 7 – Перестроение (развертка) индикаторной диаграммы в координатах $P-\varphi$

3.2. Определение сил, действующих в КШМ

3.2.1. Сила давления газов

Сила давления газов представляет собой избыточное давление газов на поршень (рисунок 8).

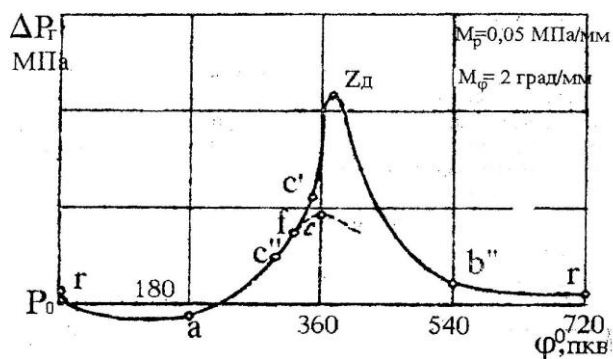


Рисунок 8 – Диаграмма удельных сил давления газов карбюраторного двигателя

$$\Delta P_{\Gamma} = (P_{\Gamma} - P_0), \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

где P_{Γ}, P_0 – соответственно давление газов в рассматриваемой точке индикаторной диаграммы и атмосферное давления, МПа (см. п. 1.9 теплового расчета двигателя).

3.2.2. Удельная сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс

Сила инерции возвратно-поступательно движущихся масс

$$P_j = -m_j \cdot j = -m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi), \text{ кН}, \quad (3.2)$$

где m_j – масса возвратно-поступательно движущихся деталей КШМ, кг.

Удельная сила инерции

$$P_j = \frac{P_j}{F_{\Pi}}, \text{ МПа}, \quad (3.3)$$

где F_{Π} – площадь поршня, м^2 ; j – ускорение поршня, м/с^2 ; R – радиус кривошипа, м ; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с .

При выполнении расчетов условно считают, что массу шатуна $m_{\text{ш}}$, совершающего сложное движение, можно заменить условными массами $m_{\text{ш.п.}}$ и $m_{\text{ш.к.}}$. Причем масса $m_{\text{ш.п.}}$ сосредоточена на оси поршневого пальца и совершает возвратно-поступательное движение (рисунок 9).

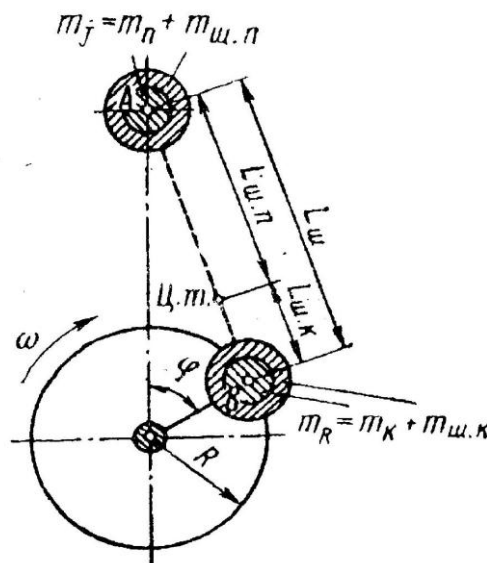


Рисунок 9 – Приведение масс деталей КШМ

Масса же $m_{ш.к.}$ сосредоточена на оси кривошипа в точке В и совершает совместно с массой кривошипа m_k вращательное движение. Массу, сосредоточенную на оси поршневого пальца, тогда можно представить в виде суммы масс:

$$m_j = m_{п.} + m_{ш.п.}, \text{ кг}, \quad (3.4)$$

где $m_{п.}$ – масса поршневой группы, кг.

Масса, сосредоточенная на оси кривошипа для рядных двигателей:

$$m_R = m_k + m_{ш.к.}, \text{ кг}. \quad (3.5)$$

Для V-образных двигателей формула (3.5) будет иметь вид:

$$m_R = m_k + 2m_{ш.к.}, \text{ кг}. \quad (3.6)$$

Рекомендуется принять значения $m_{ш.п.}$ и $m_{ш.к.}$ следующим образом:

$$m_{ш.п.} = 0,275 \cdot m_{ш.}, \quad (3.7)$$

$$m_{ш.к.} = 0,725 \cdot m_{ш.}, \quad (3.8)$$

где $m_{ш.}$ – масса шатуна, кг.

Численные значения масс $m_{п.}$, m_k и $m_{ш.}$ можно определить, зная конструктивную удельную массу (таблица 3.1) и диаметр поршня, D.

Таблица 3.1

| Элементы КШМ | | Конструктивные массы, кг/м ² | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| | | Бензиновые ДВС | | Дизели | |
| | | D = 60-80 мм | D = 80-100 мм | D = 80-100 мм | D = 100-120 мм |
| Поршневая группа, $m_{п.}$ | Алюминиевый сплав | 80-120 | 100-150 | 150-200 | 200-300 |
| | Чугун | 150-200 | 180-250 | 250-320 | 300-400 |
| Шатун, $m_{ш.}$ | | 100-150 | 130-200 | 250-320 | 300-400 |
| Колено вала без противовесов, m_k | Стальной кованый вал со стальными шейками | 150-180 | 170-200 | 200-320 | 300-400 |
| | Чугунный полый вал с полыми шейками | 100-160 | 150-200 | 150-320 | 220-300 |

$$m'_\Pi = m_\Pi / F_\Pi, \text{ кг/м}^2; \quad (3.9)$$

$$m'_\text{Ш} = m_\text{Ш} / F_\Pi, \text{ кг/м}^2; \quad (3.10)$$

$$m'_\text{к} = m_\text{к} / F_\Pi, \text{ кг/м}^2.$$

Следует помнить, что меньшие значения удельных масс относятся к двигателям, имеющим малые значения $P_{z.\text{max}}$. При $S/D < 1$ конструктивные массы принимают также близкими к нижнему пределу.

Для значений диаметров, не указанных в таблице, можно предложить следующие ориентировочные статистические значения удельных масс (кг/м^2) приведенные в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1

| Элементы КШМ | Поршневая группа | Шатун |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Бензиновые двигатели с частотой вращения коленчатого вала $n < 4500$ об/мин | $m_\Pi = (1,2 \dots 1,3)D$ | $m_\text{Ш} = (1,5 \dots 1,6)D$ |
| Бензиновые двигатели, имеющие $n > 4500$ об/мин | $m_\Pi = (1,3 \dots 1,4)D$ | $m_\text{Ш} = (1,9 \dots 2,2)D$ |
| Дизели, имеющие $n < 3000$ об/мин | $m_\Pi = (2,0 \dots 2,2)D$ | $m_\text{Ш} = (2,3 \dots 2,5)D$ |
| Дизели, имеющие $n > 3000$ об/мин | $m_\Pi = (1,7 \dots 1,9)D$ | $m_\text{Ш} = (1,8 \dots 2,1)D$ |
| Тракторные дизели | $m_\Pi = (2,2 \dots 2,4)D$ | $m_\text{Ш} = (2,5 \dots 2,8)D$ |

Полученные значения удельной силы инерции P_d для углов φ от 0° до 720° с шагом $\Delta\varphi = 30^\circ$ необходимо нанести на развернутую диаграмму сил давления газов.

3.2.3. Центробежные силы

Центробежная сила вращающихся масс КШМ K_R является результатом двух сил K_{RK} и $K_{RШ}$ и направлена по кривошипу (рисунок 10, 11).

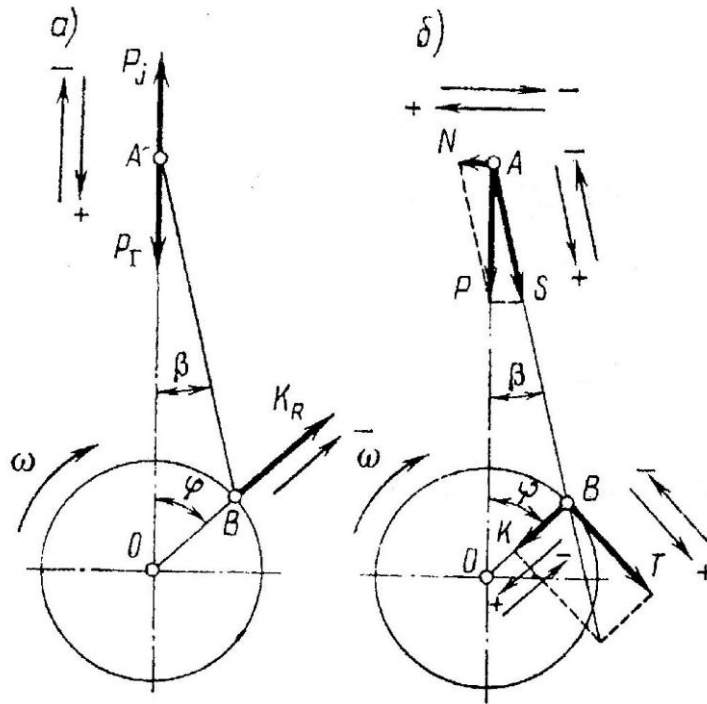


Рисунок 10 – Схема действия сил в КШМ:
а – инерционных и газовых; б – суммарных

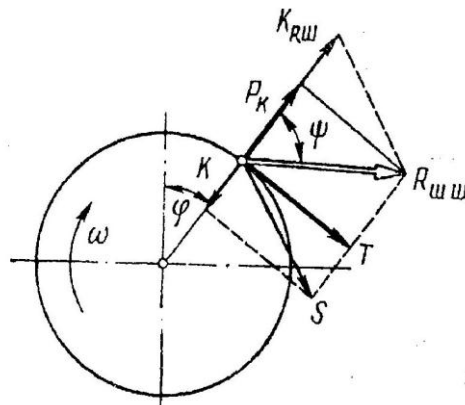


Рисунок 11 – Силы, действующие на шатунную шейку

Для рядных двигателей:

$$K_R = K_{RK} + K_{RШ},$$

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2, \text{ кН.} \quad (3.11)$$

Для V-образных двигателей, имеющих два шатуна на одной шатунной шейке:

$$K_{R\Sigma} = K_{RK} + 2K_{RШ}, \text{ кН.} \quad (3.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна:

$$K_{RШ} = -m_{шк} \cdot R \cdot \omega^2 = -0,725 \cdot m_{ш} \cdot R \cdot \omega^2, \text{ кН.} \quad (3.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_{RK} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2, \text{ кН.} \quad (3.14)$$

3.2.4. Суммарные силы

Значения суммарных сил необходимо определить для различных положений КШМ в диапазоне углов от 0 до 720° п.к.в. с шагом $\Delta\varphi = 30^\circ$ п.к.в. Результаты расчетов, выполненных в п. 3.2.4. и 3.2.5., оформляют в виде таблицы (таблица 3.2 для рядных двигателей, 3.2.1 – для V-образных).

Удельная суммарная сила, действующая на поршень:

$$P = \Delta P_\Gamma + P_j, \text{ МПа.} \quad (3.15)$$

Удельная нормальная сила, действующая перпендикулярно оси цилиндра:

$$P_N = P \cdot \operatorname{tg}\beta, \text{ МПа.} \quad (3.16)$$

Значения $\operatorname{tg}\beta$ для заданного значения $\lambda' = R/L_{ш}$ приведены в таблице 3.3, 3.4, 3.5, 3.6.

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$P_S = P \cdot \frac{1}{\cos\beta}, \text{ МПа.} \quad (3.17)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа:

$$P_K = P \cdot \left(\frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos\beta} \right), \text{ МПа.} \quad (3.18)$$

Удельная тангенциальная сила:

$$P_T = P \cdot \left(\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos\beta} \right), \text{ МПа.} \quad (3.19)$$

Полная тангенциальная сила:

$$T = P_T \cdot F_{\text{п}}, \text{ кН}, \quad (3.20)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поршня, м^2 .

Таблица 3.2

| φ° , п.к.в. | J , $\text{м}^2/\text{с}^2$ | Удельные силы | | | | | | Полные силы | | | | $M_{\text{кр.ц.}}$, Н·м | |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|----------|----------|------------|--------------------------|------------------------|
| | | ΔP_{Γ} , МПа | P_{I_1} , МПа | P , МПа | P_{N_5} , МПа | P_{S_5} , МПа | P_k , МПа | P_T , МПа | T , кН | K , кН | $P'k$, кН | | $R_{\text{ш.ш.}}$, кН |
| | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 3.2.1

| φ° , п.к.в. | J , $\text{м}^2/\text{с}^2$ | Удельные силы | | | | | | | Полные силы | | | | | | | $M_{\text{кр.ц.}}$, Н·м | |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|----------|------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | ΔP_{Γ} , МПа | P_{I_1} , МПа | P , МПа | P_{N_5} , МПа | P_{S_5} , МПа | P_k , МПа | P_T , МПа | $T_{\text{л}}$, кН | $T_{\text{п}}$, кН | T , кН | $K_{\text{л}}$, кН | $K_{\text{п}}$, кН | K , кН | $P'k$, кН | | $\Sigma R_{\text{ш.ш.}}$, кН |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Значение $\text{tg}\beta$ для заданного значения $\lambda' = R/L_{\text{ш}}$.

Таблица 3.3

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{\text{ш}}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 0 360 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 360 720 |
| 10 370 | + | 0,042 | 0,043 | 0,045 | 0,047 | 0,049 | 0,050 | 0,052 | – | 350 710 |
| 20 380 | + | 0,082 | 0,086 | 0,089 | 0,093 | 0,096 | 0,100 | 0,103 | – | 340 700 |
| 30 390 | + | 0,121 | 0,126 | 0,131 | 0,136 | 0,141 | 0,146 | 0,151 | – | 330 690 |
| ... | | | | | | | | | | |
| 60 420 | + | 0,211 | 0,220 | 0,230 | 0,239 | 0,248 | 0,257 | 0,267 | – | 300 660 |
| 90 450 | + | 0,245 | 0,256 | 0,267 | 0,278 | 0,289 | 0,300 | 0,311 | – | 270 630 |

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{III}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 120 480 | + | 0,211 | 0,220 | 0,230 | 0,239 | 0,248 | 0,257 | 0,267 | - | 240 600 |
| 150 510 | + | 0,121 | 0,126 | 0,131 | 0,136 | 0,141 | 0,146 | 0,151 | - | 210 570 |
| 180 540 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 180 540 |

Значение $\frac{1}{\cos\beta}$ для заданного значения $\lambda' = R/L_{III}$.

Таблица 3.4

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{III}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 0 360 | + | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | + | 360 720 |
| 10 370 | + | 1,001 | 1,001 | 1,001 | 1,001 | 1,001 | 1,001 | 1,001 | + | 350 710 |
| 20 380 | + | 1,003 | 1,004 | 1,004 | 1,004 | 1,005 | 1,005 | 1,005 | + | 340 700 |
| 30 390 | + | 1,007 | 1,008 | 1,009 | 1,009 | 1,010 | 1,011 | 1,011 | + | 330 690 |
| ... | | | | | | | | | | |
| 60 420 | + | 1,022 | 1,024 | 1,026 | 1,028 | 1,030 | 1,032 | 1,035 | + | 300 660 |
| 90 450 | + | 1,030 | 1,032 | 1,035 | 1,038 | 1,041 | 1,044 | 1,047 | + | 270 630 |
| 120 480 | + | 1,022 | 1,024 | 1,026 | 1,028 | 1,030 | 1,032 | 1,035 | + | 240 600 |
| 150 510 | + | 1,007 | 1,008 | 1,009 | 1,009 | 1,010 | 1,011 | 1,011 | + | 210 570 |
| 180 540 | + | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | + | 180 540 |

Значение $\frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos\beta}$ для заданного значения $\lambda' = R/L_{III}$.

Таблица 3.5

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{III}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 0 360 | + | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | + | 360 720 |

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{III}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 10 370 | + | 0,978 | 0,977 | 0,977 | 0,977 | 0,976 | 0,976 | 0,975 | + | 350 710 |
| 20 380 | + | 0,912 | 0,910 | 0,909 | 0,908 | 0,907 | 0,906 | 0,905 | + | 340 700 |
| 30 390 | + | 0,806 | 0,803 | 0,801 | 0,798 | 0,795 | 0,793 | 0,790 | + | 330 690 |
| ... | | | | | | | | | | |
| 60 420 | + | 0,317 | 0,309 | 0,301 | 0,293 | 0,285 | 0,277 | 0,269 | + | 300 660 |
| 90 450 | - | 0,245 | 0,256 | 0,267 | 0,278 | 0,289 | 0,300 | 0,311 | - | 270 630 |
| 120 480 | - | 0,683 | 0,621 | 0,699 | 0,707 | 0,715 | 0,723 | 0,731 | - | 240 600 |
| 150 510 | - | 0,926 | 0,929 | 0,931 | 0,934 | 0,937 | 0,939 | 0,942 | - | 210 570 |
| 180 540 | - | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | - | 180 540 |

Значение $\sin(\varphi + \beta) / \cos \beta$ для заданного значения $\lambda' = R/L_{III}$.

Таблица 3.6

| φ° , п.к.в. | знак | $\lambda' = R/L_{III}$ | | | | | | | знак | φ° , п.к.в. |
|--------------------------|------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| | | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | | |
| 0 360 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 360 720 |
| 10 370 | + | 0,215 | 0,216 | 0,218 | 0,220 | 0,221 | 0,223 | 0,225 | - | 350 710 |
| 20 380 | + | 0,419 | 0,423 | 0,426 | 0,429 | 0,432 | 0,436 | 0,439 | - | 340 700 |
| 30 390 | + | 0,605 | 0,609 | 0,613 | 0,618 | 0,622 | 0,627 | 0,631 | - | 330 690 |
| ... | | | | | | | | | | |
| 60 420 | + | 0,872 | 0,976 | 0,981 | 0,985 | 0,990 | 0,995 | 0,991 | - | 300 660 |
| 90 450 | + | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | - | 270 630 |
| 120 480 | + | 0,760 | 0,756 | 0,751 | 0,747 | 0,742 | 0,737 | 0,733 | - | 240 600 |
| 150 510 | + | 0,395 | 0,391 | 0,387 | 0,382 | 0,378 | 0,373 | 0,369 | - | 210 570 |
| 180 540 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 180 540 |

Построив графики удельных сил, необходимо произвести проверку правильности выполнения расчетов. Для этого следует графическим способом определить среднее значение тангенциальной силы за цикл.

$$P_{\text{Тср}} = \frac{M_p}{l_T} \cdot (\sum F_1 - \sum F_2), \text{ МПа}; \quad (3.21)$$

$$T_{\text{ср}} = P_{\text{Тср}} \cdot F_{\text{п}} \cdot 10^6, \text{ Н}, \quad (3.22)$$

где M_p – масштаб удельных сил, МПа/мм; l_T – длина диаграммы P_T , мм; $\sum F_1$ – положительная площадь, заключенная между кривой и осью абсцисс на графике сил, мм²; $\sum F_2$ – отрицательная площадь, заключенная между кривой и осью абсцисс на графике сил, мм².

Среднее значение тангенциальной силы $T_{\text{ср}}$ полученное графическим способом, необходимо сравнить со средним значением этой силы по данным теплового расчета.

$$T'_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot P_i \cdot F_{\text{п}} \cdot 10^6}{\pi \cdot \tau}, \text{ Н}, \quad (3.23)$$

где P_i – среднее индикаторное давление, МПа.

Ошибка, допущенная при выполнении расчетов, не должны превышать 5 %.

3.2.5. Крутящие моменты цилиндра и двигателя

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{\text{кр}} = T \cdot R, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.24)$$

Для определения среднего значения крутящего момента двигателя необходимо построить график суммарного крутящего момента двигателя. С этой целью необходимо произвести суммирование крутящих моментов отдельных цилиндров, для чего на график изменения крутящего момента $M_{\text{крц}}$ одного цилиндра накладывают аналогичные графики для других цилиндров с учетом сдвига по фазе рабочих процессов (для двигателей с равномерным чередованием процессов).

Период изменения крутящего момента определяется из выражения

$$\theta = 720/i, \text{ град}, \quad (3.25)$$

где i – число цилиндров.

В общем случае построение графика сводится к разбиению графика крутящего момента для одного цилиндра на столько равных по длине, сколько цилиндров в двигателе с последующим перенесением полученных частей графика на координатную сетку длиной θ . Ординаты полученных графиков суммируются и найденные значения суммарного крутящего момента для различных углов поворота коленчатого вала наносятся на координатную сетку в масштабе M_M (рисунок 12).

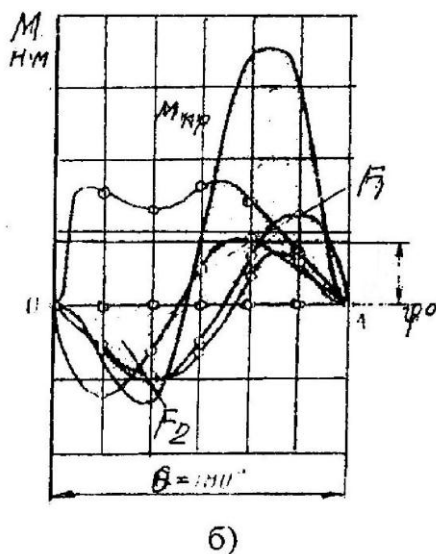
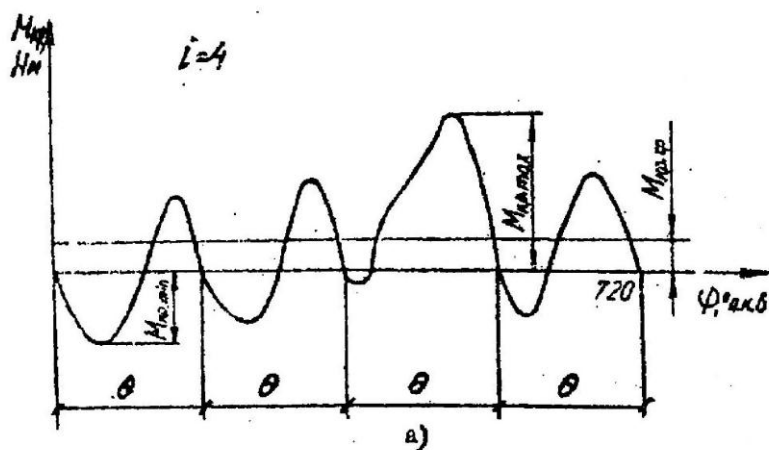


Рисунок 12 – График суммарного момента 4 – цилиндрового двигателя при равномерном чередовании рабочих процессов: а – график момента одного цилиндра; б – построение графика $M_{кр,сум}$

Суммирование значений $M_{\text{кр}}$ следует проводить через каждые 10° угла поворота коленчатого вала. Далее, по графику определяют значение суммарного крутящего момента $M_{\text{крср}}$.

$$M_{\text{крср}} = \frac{F_1 - F_2}{l_M} \cdot M_M, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.26)$$

где F_1, F_2 – площади, ограниченные графиком суммарного крутящего момента, мм^2 ; l_M – длина графика суммарного крутящего момента, мм .

Следует заметить, что некоторые двигатели характеризуются неравномерным чередованием процессов. Так, например, в двигателе ЯМЗ-236 одновременные процессы в цилиндрах происходят через разные интервалы: $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 150^\circ$. Поэтому, для такого двигателя период изменения крутящего момента увеличивается вдвое и составляет

$$\theta_{\text{нпр}} = \theta' + \theta'';$$

$$\theta_{\text{нпр}} = \frac{360 \cdot \tau}{i}, \text{ град.} \quad (3.27)$$

В общем случае последовательность построения графика $M_{\text{крсум}}$ будет следующая (рисунок 13):

1. График $M_{\text{крц}}$ поделить по длине на $\frac{i}{2}$ равных частей;
2. Нанести на новую координатную сетку каждую из полученных частей графика $M_{\text{крц}}$;
3. Преобразовать график $M_{\text{крц}}$, для чего сместить ось ординат вправо на угол θ' . Перенести отсеченную новой осью ординат начальную часть графика в конец исходного графика;
4. Преобразовать график $M_{\text{крц}}'$ вновь поделить на $\frac{i}{2}$ – равных частей и перенести на ту же новую координатную сетку (пункт 2) в дополнение к трем ранее перенесенным частям исходного графика;
5. Просуммировать все i – части исходного и преобразованного графика на новой координатной сетке через каждые 10° . Построить график $M_{\text{крсум(нпр)}}$;
6. Графоаналитическим способом определить среднее значение суммарного крутящего момента двигателя с неравномерным чередованием вспышек $M_{\text{крсум(нпр)}}$.

Для проверки правильности построения графика необходимо полученное значение $M_{\text{КРср}}$ сравнить со значением среднего крутящего момента по данным теплового расчета.

$$M'_{\text{КРср}} = \frac{M_e}{\eta_M}, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.28)$$

Ошибка, допущенная при выполнении расчетов, не должна превышать 5 %.

$$\Delta = \frac{(M'_{\text{КРср}} - M_{\text{КРср}})}{M'_{\text{КРср}}}, \%. \quad (3.29)$$

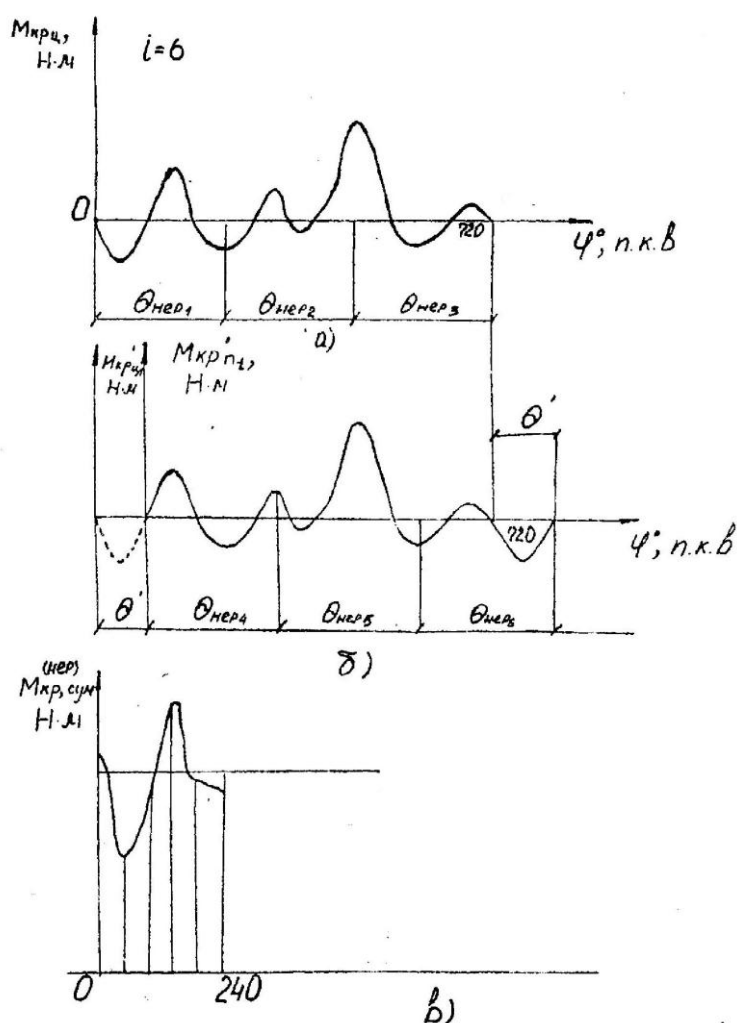


Рисунок 13 – Построение графика $M_{\text{КРсум}}$ при неравномерном чередовании рабочих процессов: а – исходный график $M_{\text{КРц}}$; б – преобразованный график $M_{\text{КРц}}$; в – график суммарного момента $M_{\text{КРсум(нер)}}$

3.2.6. Результирующая сила, действующая на шатунную шейку коленчатого вала от одного шатуна

Результирующая сил R_{III} , действующая на шатунную шейку, определяется как графическим сложением сил, так и аналитически.

$$R_{III} = \sqrt{T^2 + P_K'^2}, \text{ кН}; \quad (3.30)$$

$$P_K' = K + K_{R_{III}}, \text{ кН}, \quad (3.31)$$

где P_K' – суммарная сила, действующая на шатунную шейку по оси кривошипа, кН (см. рисунок 11).

Значение силы R_{III} , вычисленные для различных положений КШМ, необходимо свести в таблицу (таблица 3.2) и построить по ним диаграмму результирующей силы в координатах $R_{III} - \varphi$ (в прямоугольных координатах). По развернутой диаграмме R_{III} необходимо определить $R_{III_{max}}$, $R_{III_{min}}$ и $R_{III_{cp}}$ (рисунок 14).

При выполнении дальнейших расчетов необходимо также построить график R_{III} и в полярных координатах. В этом случае результирующая сила будет определяться графическим сложением сил T и P_K' . Оба графика необходимо выполнить в одном масштабе.

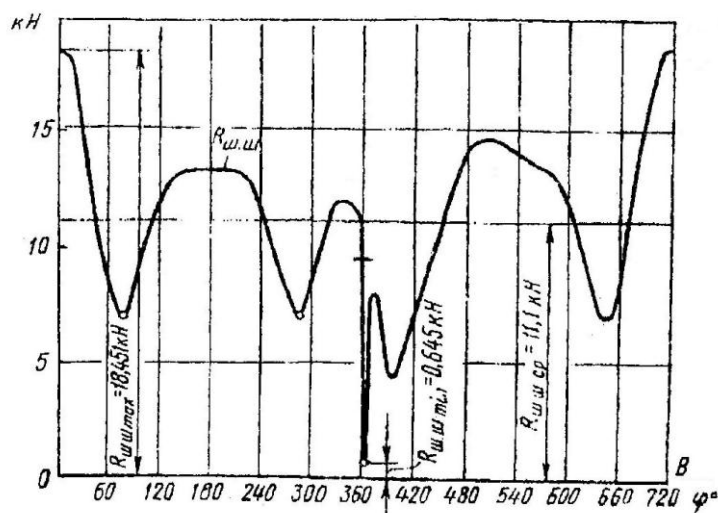


Рисунок 14 – Диаграмма результирующей силы R_{III} в прямоугольных координатах

3.3. Построение диаграмм износа шатунной шейки коленчатого вала

Диаграмма износа шатунной шейки позволяет определить положение наименее нагруженного участка шейки вала, в котором необходимо расположить канал подвода масла к шатунному подшипнику. Предполагается, что износ шейки пропорционален действующей силе и распространяется равномерно на дуге 60° по окружности шейки в обе стороны от точки приложения этой силы.

Для построения диаграммы провести окружность произвольного радиуса, разбить эту окружность на 12 частей (рисунок 15). Отложить в масштабе значение силы $R_{\text{шшш}}$ (таблица 3.7) для данного луча от окружности к центру, и для каждого из лучей $O_{\text{ш}1}, \dots, O_{\text{ш}12}$ определить сумму всех результирующих сил $R_{\text{шшш}\Sigma j}$, попадающих в сектор, равный 120° . Указанную сумму сил определяют следующим образом:

- переносят лучи с диаграммы износа на полярную диаграмму в центр $O_{\text{ш}}$;
- в обе стороны от луча отложить по 60° и в полученном секторе определить, какие точки полярной диаграммы попали в данный сектор;
- просуммировать все результирующие силы для отмеченных точек, получив $R_{\text{шшш}\Sigma}$ для данного j – луча;
- отложить в выбранном масштабе $M_{R_{\text{шшш}}}$ найденное значение $R_{\text{шшш}\Sigma j}$ на соответствующем луче от окружности к центру;
- произвести аналогичные построения для других лучей и соединить концы полученных отрезков плавной кривой;
- определить по полученной диаграмме ненагруженный участок, воспользовавшись методом касательных.

По этому методу проводят касательные соответственно к нагрузке в левой части графика ($O_{\text{ш}} - I$) и в правой части графика ($O_{\text{ш}} - II$). Под углом 60° от лучей $O_{\text{ш}} - I$ и $O_{\text{ш}} - II$ проводят новые лучи $O_{\text{ш}} - I'$ и $O_{\text{ш}} - II'$, которые определяют ненагруженный участок шатунной шейки.

Ось масляного отверстия следует проводить через середину ненагруженного участка. Выполнив необходимые построения, нужно определить численное значение угла Φ_M , под которым проходит ось масляного отверстия.

При невозможности провести касательную в правой части графика, ненагруженный участок определяют по минимальным значениям $R_{\text{шшш}\Sigma j}$.

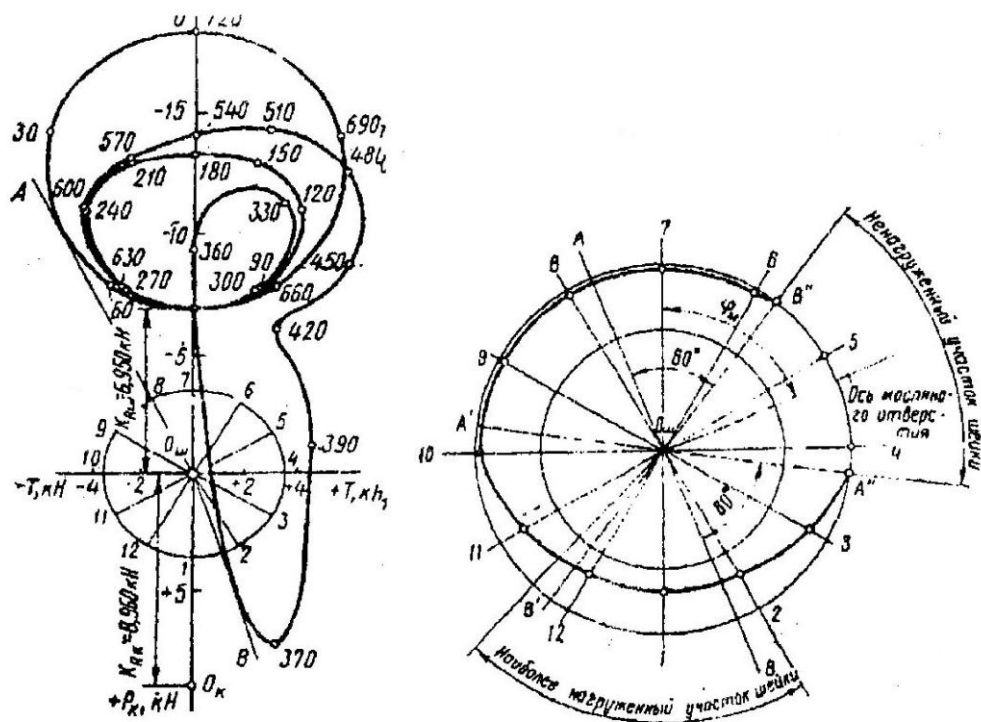


Рисунок 15 – Полярная диаграмма и диаграмма износа шатунной шейки

Таблица 3.7

| φ° , п.к.в. | $R_{\text{шш}\Sigma j}$, кН | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | |
| 690 | | | | | | | | | | | | |
| 720 | | | | | | | | | | | | |
| $R_{\text{шш}\Sigma j}$ | | | | | | | | | | | | |

4. РАСЧЕТ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ

В данном разделе производится расчет следующих деталей двигателя: расчет поршня, поршневых колец, поршневого пальца.

4.1. Расчет поршня

Перед выполнением расчета, необходимо принять основные размеры поршня (рисунок 16) проектируемого двигателя из таблицы 4.1.

Таблица 4.1.

Ориентировочные размеры поршневой группы

| Параметр | Бензиновые двигатели | Дизели |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|
| Толщина днища поршня, δ , мм | $(0,05...0,10) \cdot D$ | $(0,12...0,20) \cdot D$ |
| Высота поршня, H , мм | $(0,8...1,3) \cdot D$ | $(1,0...1,7) \cdot D$ |
| Высота верхней части поршня, h_1 , мм | $(0,45...0,75) \cdot D$ | $(0,6...1,0) \cdot D$ |
| Высота юбки поршня, $h_{ю}$, мм | $(0,6...0,8) \cdot D$ | $(0,6...1,1) \cdot D$ |
| Диаметр бобышки, $d_б$, мм | $(0,3...0,5) \cdot D$ | |
| Расстояние между торцами бобышек, b , мм | $(0,3...0,5) \cdot D$ | |
| Толщина стенки юбки поршня, $\delta_{ю}$, мм | 1,5...4,5 | 2,0...5,0 |
| Толщина стенки головки поршня, s , мм | $(0,05...0,10) \cdot D$ | |
| Расстояние до первой поршневой канавки, e , мм | $(0,06...0,12) \cdot D$ | $(0,11...0,20) \cdot D$ |
| Толщина первой кольцевой перемычки $h_{п}$, мм | $(0,03...0,05) \cdot D$ | $(0,04...0,07) \cdot D$ |
| Радиальная толщина кольца, t , мм: – компрессионного – маслоъемного | $(0,040...0,045) \cdot D$ $(0,038...0,043) \cdot D$ | |
| Высота кольца, a , мм | 2...4 | 3...5 |
| Разность между величинами зазоров замка кольца в свободном и рабочем состоянии, A_0 , мм | $(2,5...4,0) \cdot t$ | $(3,2...4,0) \cdot t$ |
| Радиальный зазор кольца в канавке поршня, Δt , мм: – компрессионного – маслоъемного | 0,70...0,95 0,9...1,1 | |
| Внутренний диаметр поршня, d_i , мм | $D - 2 \cdot (s + t + \Delta t)$ | |
| Число масляных отверстий в поршне, n_M | 6...12 | |
| Диаметр масляного канала, d_M , мм | $(0,3...0,5) \cdot a$ | |
| Наружный диаметр пальца, $d_{п}$, мм | $(0,22...0,28) \cdot D$ | $(0,30...0,38) \cdot D$ |
| Внутренний диаметр поршня, d_B , мм | $(0,65...0,75) \cdot d_n$ | $(0,50...0,70) \cdot d_n$ |
| Длина пальца, $l_{п}$, мм: – закрепленного – плавающего | $(0,88...0,93) \cdot D$ $(0,78...0,88) \cdot D$ | |
| Длина втулки шатуна, $l_{ш}$, мм: – с закрепленным пальцем – с плавающим пальцем | $(0,28...0,32) \cdot D$ $(0,33...0,45) \cdot D$ | |

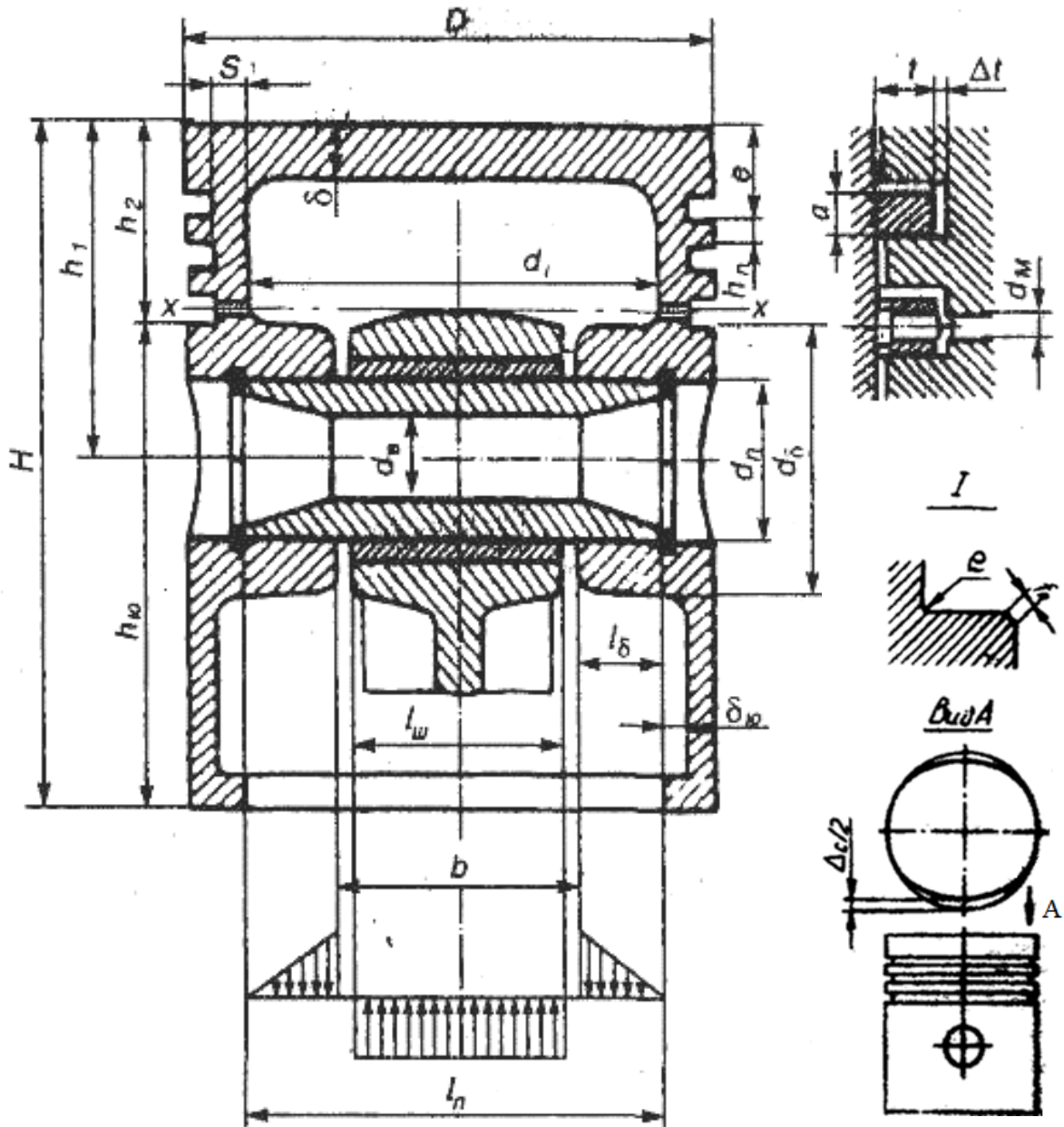


Рисунок 16 – Схема поршня

Напряжение изгиба в днище поршня

$$\sigma_{\text{из}} = p_{Z \max} \cdot \left(\frac{r_i}{\delta} \right)^2, \text{ МПа}, \quad (4.1)$$

где $p_{Z \max}$ – максимальное давление сгорания, МПа; $r_i = \frac{D}{2} - (s + t + \Delta t)$ – внутренний радиус днища поршня, мм; δ – толщина днища поршня, мм.

Допустимые значения напряжений $[\sigma_{из}]$ лежат в пределах:

- 1) при отсутствии у днища поршня ребер жесткости
 - для поршней из алюминиевых сплавов $[\sigma_{из}] = 20 \dots 25$ МПа;
 - для чугунных поршней $[\sigma_{из}] = 40 \dots 50$ МПа;
- 2) при наличии у поршня ребер жесткости:
 - для алюминиевых поршней $[\sigma_{из}] = 50 \dots 150$ МПа;
 - для чугунных поршней $[\sigma_{из}] = 80 \dots 200$ МПа.

Тепловые напряжения поршней

Тепловые напряжения возникают из-за разности температур внутренней и наружной поверхности поршня.

Тепловые напряжения охлаждаемых чугунных поршней дизелей

$$\sigma_{теп} = \frac{\alpha \cdot E \cdot q \cdot \delta}{200 \cdot \lambda_{теп}}, \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала, 1/град (см. прил. 1); E – модуль упругости материала, МПа; q – удельная тепловая нагрузка, Вт/м²; $\lambda_{мен}$ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

Данные для расчета выбирают из приложения 3.

Для четырехтактных дизелей принимается приблизительно

$$q = 11,63 \cdot (6000 + 26n) \cdot P_i, \quad (4.3)$$

где n – частота вращения коленчатого вала, об/мин (для дизелей максимальное давление газов достигается при работе – на режиме максимальной мощности при $n = n_N$); P_i – среднее индикаторное давление, МПа.

Тепловые напряжения алюминиевых поршней бензиновых двигателей определяются только при измерении, расчет их не производят.

Суммарное напряжение в охлаждаемом чугунном днище поршня дизеля

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{из} + \sigma_{теп}, \text{ МПа}. \quad (4.4)$$

Допустимые суммарные напряжения в чугунных днищах автомобильных двигателей находятся в пределах $[\sigma_{\Sigma}] = 150 \dots 250$ МПа.

Напряжение сжатия в сечении $x-x$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{Z \max}}{F_{x-x}}, \text{ МПа}, \quad (4.5)$$

где $P_{Z \max} = p_z \cdot F_{\Pi}$ – максимальная сила давления газов на днище поршня, МН; F_{x-x} – площадь сечения $x-x$, м²:

$$F_{x-x} = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot (d_k^2 - d_i^2) - n'_m \cdot F', \text{ м}^2,$$

где $d_k = D - 2 \cdot (t + \Delta t)$ – диаметр поршня по дну канавок, мм;
 $F' = \left[\frac{(d_k - d_i)}{2} \right] \cdot d_m$ – площадь продольного диаметрального сечения масляного канала, м².

Допустимые напряжения на сжатие для алюминиевых поршней составляют: $[\sigma_{\text{сж}}] = 30 \dots 40$ МПа, для чугунных поршней $[\sigma_{\text{сж}}] = 60 \dots 80$ МПа.

Напряжение разрыва в сечении $x-x$

$$\sigma_p = \frac{P_j}{F_{x-x}}, \text{ МПа}, \quad (4.6)$$

где P_l – максимальная разрывающая сила, МН; F_{x-x} – площадь сечения $x-x$, м². $P_j = m_{x-x} \cdot R \cdot \omega_{x-x, \max}^2 \cdot (1 + \lambda)$, МН; m_{x-x} – масса головки поршня с кольцами, расположенными выше сечения $x-x$ и составляет значение $m_{x-x} = (0,4 \dots 0,6) \cdot m_{\Pi}$, кг; $\omega_{x-x, \max}$ – максимальная угловая скорость холостого хода и она составляет значение $\omega_{x-x, \max} = (1,05 \dots 1,20) n_N$.

Допустимые напряжения на разрыв составляют для алюминиевых поршней $[\sigma_p] = 4 \dots 10$ МПа, а для чугунных $[\sigma_p] = 8 \dots 20$ МПа.

Напряжения в верхней кольцевой перемычке

Напряжение среза

$$\tau = 0,0314 \cdot p_{z \max} \cdot \frac{D}{h_{\Pi}}, \text{ МПа}. \quad (4.7)$$

Напряжение изгиба

$$\sigma_{\text{из}} = 0,0045 \cdot p_{z\text{max}} \cdot \left(\frac{D}{h_{\text{П}}} \right)^2, \text{ МПа.} \quad (4.8)$$

Сложное напряжение

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{из}}^2 + 4\tau^2}, \text{ МПа.} \quad (4.9)$$

Допустимые напряжения $[\sigma_{\Sigma}]$ в верхних кольцевых перемычках с учетом температурных нагрузок находятся в пределах:

- для поршней из алюминиевых сплавов 30...40 МПа;
- для чугунных поршней 60...80 МПа.

Удельное давление поршня на стенку цилиндра

$$q_1 = \frac{N_{\text{max}}}{(h_{\text{Ю}} \cdot D)}, \text{ МПа;} \quad (4.10)$$

$$q_2 = \frac{N_{\text{max}}}{(H \cdot D)}, \text{ МПа.} \quad (4.11)$$

где N_{max} – максимальная нормальная сила, действующая на стенку цилиндра при работе двигателя на режиме максимальной мощности, МН.

Значение N_{max} определяется как: $N_{\text{max}} = PN_{\text{max}} \cdot F_{\text{П}}$, МН.

Для современных автомобильных двигателей значения удельного давления поршня на стенку цилиндра составляют: $q_1 = 0,3...1,0$ МПа и $q_2 = 0,2...0,7$ МПа.

Диаметры головки D_{Γ} и юбки поршня $D_{\text{Ю}}$ с учетом монтажных зазоров

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma}, \text{ мм;} \quad (4.12)$$

$$D_{\text{Ю}} = D - \Delta_{\text{Ю}}, \text{ мм.} \quad (4.13)$$

Численные значения монтажного зазора для поршней, изготовленных из различного материала составляют:

- алюминий $\Delta_{\Gamma} = (0,006 - 0,008) \cdot D$, мм; $\Delta_{\text{Ю}} = (0,001 - 0,002) \cdot D$, мм;
- чугун $\Delta_{\Gamma} = (0,004 - 0,006) \cdot D$, мм; $\Delta_{\text{Ю}} = (0,001 - 0,002) \cdot D$, мм.

Диаметральные зазоры в горячем состоянии

$$\Delta'_r = D \cdot [1 + \alpha_{\text{ц}}(T_{\text{ц}} - T_0)] - D_r \cdot [1 + \alpha_{\text{п}}(T_r - T_0)], \text{ мм}; \quad (4.14)$$

$$\Delta'_{\text{ю}} = D \cdot [1 + \alpha_{\text{п}}(T_{\text{ц}} - T_0)] - D_{\text{ю}} \cdot [1 + \alpha_{\text{п}}(T_{\text{ю}} - T_0)], \text{ мм}, \quad (4.15)$$

где $T_{\text{ц}}$ – температура стенок цилиндра, К; T_r – температура головки поршня, К; $T_{\text{ю}}$ – температура юбки поршня, К; T_0 – начальная температура цилиндра и поршня, К.

Температуры $T_{\text{ц}}, T_r, T_{\text{ю}}, T_0$ в зависимости от типа охлаждения выбираются из таблицы 4.2.

Таблица 4.2

Значения температурного режима деталей двигателя для различных способов охлаждения.

| Параметр | Водяное охлаждение | Воздушное охлаждение |
|---------------------------------------------------|--------------------|----------------------|
| $T_{\text{ц}}$ – температура стенок цилиндра, К | 383-388 | 443-463 |
| T_r – температура головки поршня, К | 473-723 | 573-873 |
| $T_{\text{ю}}$ – температура юбки поршня, К | 403-473 | 483-613 |
| $T_{\text{к}}$ – температура поршневого кольца, К | 473-573 | 523-723 |

4.2. Расчет поршневого кольца. Среднее давление кольца на стенку цилиндра

$$P_{\text{ср}} = 0,152 \cdot E \cdot \frac{\frac{A_0}{t}}{\left(\frac{D}{t} - 1\right)^3 \cdot \frac{D}{t}}, \text{ МПа}, \quad (4.16)$$

где E – модуль упругости материала, МПа. (приложение 3).

Среднее радиальное давление $P_{\text{ср}}$ составляет:

- для компрессионных колец 0,11...0,37 МПа;
- для маслоъемных колец 0,2...0,4 МПа.

Напряжение изгиба кольца в рабочем состоянии

$$\sigma_{\text{изг}} = 2,61 \cdot p_{\text{ср}} \cdot \left(\frac{D}{t} - 1\right)^2, \text{ МПа}. \quad (4.17)$$

Напряжение изгиба при надевании кольца на поршень

$$\sigma_{\text{из}2} = \frac{4 \cdot E \cdot \left(1 - 0,114 \cdot \frac{A_0}{t}\right)}{m \cdot \left(\frac{D}{t} - 1,4\right) \cdot \frac{D}{t}}, \text{ МПа}, \quad (4.18)$$

где m – коэффициент, зависящий от способа надевания кольца (при расчете принимается $m = 1,57$).

Допустимые напряжения при изгибе кольца составляют $[\sigma_{\text{из}}] = 220 \dots 450$ МПа.

Монтажный зазор в замке поршневого кольца

$$\Delta_k = \Delta'_k + \pi \cdot D \cdot [\alpha_k \cdot (T_k - T_0) - \alpha_{\text{ц}} \cdot (T_{\text{ц}} - T_0)], \text{ мм}, \quad (4.19)$$

где Δ'_k – минимально допустимый зазор в замке кольца во время работы двигателя, мм ($\Delta'_k = 0,06 \dots 0,10$ мм); α_k и $\alpha_{\text{ц}}$ – коэффициенты расширения материала кольца и гильзы цилиндра; $T_k, T_{\text{ц}}, T_0$ – соответственно температура кольца, стенок цилиндра в рабочем состоянии и начальная температура, К (принимается по таблице 4.2).

4.3. Расчет поршневого пальца

Расчетная сила, действующая на поршневой палец

$$P = p_{z\text{max}} \cdot F_{\text{п}} + k \cdot P_j, \text{ МН}, \quad (4.20)$$

где k – коэффициент, учитывающий массу поршневого пальца (для бензиновых двигателей $k = 0,76 \dots 0,86$, для дизелей $k = 0,68 \dots 0,81$).

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна

$$q_{\text{ш}} = \frac{P}{d_{\text{п}} \cdot l_{\text{ш}}}, \text{ МПа}. \quad (4.21)$$

Удельное давление пальца на бобышки

$$q_{\text{б}} = \frac{P}{d_{\text{п}} \cdot (l_{\text{п}} - b)}, \text{ МПа}. \quad (4.22)$$

Для современных автомобильных двигателей $q_{ш} = 20...60$ МПа, и $q_{б} = 15...50$ МПа.

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца

$$\sigma_{из} = \frac{P \cdot (l_{п} + 2 \cdot b - 1,5 \cdot l_{ш})}{1,2 \cdot (1 - \alpha^4) \cdot d_{п}^3}, \text{ МПа}, \quad (4.23)$$

где $\alpha = \frac{d_{в}}{d_{п}}$ – отношение внутреннего диаметра пальца к наружному.

Касательные напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна

$$\tau = \frac{0,85 \cdot P \cdot (1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4) \cdot d_{п}^2}, \text{ МПа}. \quad (4.24)$$

Для автомобильных двигателей допустимое значение составляет $[\tau] = 60...250$ МПа.

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при оваллизации

$$\Delta d_{n\max} = \frac{1,35 \cdot P}{E \cdot l_{п}} \cdot \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \text{ мм}. \quad (4.25)$$

Значение $\Delta d_{n\max}$ не должно быть больше 0,05 мм.

Напряжение оваллизации на внешней поверхности пальца

В горизонтальной плоскости

$$\sigma_{\alpha_0} = \frac{15 \cdot P}{l_{п} \cdot d_{п}} \cdot \left[0,19 \cdot \frac{(2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \text{ МПа}. \quad (4.26)$$

В вертикальной плоскости

$$\sigma_{\alpha_{90}} = -\frac{15 \cdot P}{l_{п} \cdot d_{п}} \cdot \left[0,174 \cdot \frac{(2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} + \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \text{ МПа}. \quad (4.27)$$

Напряжение овализации на внутренней поверхности пальца

В горизонтальной плоскости

$$\sigma_{i_0} = -\frac{15 \cdot P}{l_{\text{п}} \cdot d_{\text{п}}} \cdot \left[0,19 \cdot \frac{(2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 \cdot \alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \text{ МПа. (4.28)}$$

В вертикальной плоскости

$$\sigma_{i_{90}} = \frac{15 \cdot P}{l_{\text{п}} \cdot d_{\text{п}}} \cdot \left[0,174 \cdot \frac{(2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 \cdot \alpha} - \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3], \text{ МПа. (4.29)}$$

Наибольшее напряжение овализации возникает на внутренней поверхности пальца в горизонтальной плоскости. Это напряжение, посчитанное по формуле (4.35), не должно превышать 300...350 МПа.

5. РАСЧЕТ ШАТУННОЙ ГРУППЫ

В данном разделе производится расчет следующих деталей двигателя: расчет поршневой головки шатуна, кривошипной головки, расчет стержня шатуна и расчет шатунных болтов.

5.1. Расчет поршневой головки шатуна

Исходные данные для расчета шатуна (рисунок 17) принимаются из таблицы 5.1.

Таблица 5.1

| Параметр | Бензиновые двигатели | Дизели |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Внутренний диаметр поршневой головки шатуна d , мм: – без втулки – с втулкой | $d \approx d_{\text{п}}$ $(1,10 \dots 1,25) \cdot d_{\text{п}}$ | |
| Наружный диаметр головки шатуна $d_{\text{г}}$, мм | $(1,25 \dots 1,65) \cdot d_{\text{п}}$ | $(1,3 \dots 1,7) \cdot d_{\text{п}}$ |
| Длина поршневой головки шатуна $l_{\text{ш}}$, мм: – закрепленный палец – плавающий палец | $(0,28 \dots 0,32) \cdot D$ $(0,33 \dots 0,45) \cdot D$ | |

| Параметр | Бензиновые двигатели | Дизели |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Минимальная радиальная толщина стенки головки шатуна h_T , мм | $(0,16...0,27) \cdot d_{II}$ | |
| Радиальная толщина стенки втулки S_B , мм | $(0,055...0,085) \cdot d_{II}$ | $(0,070...0,085) \cdot d_{II}$ |

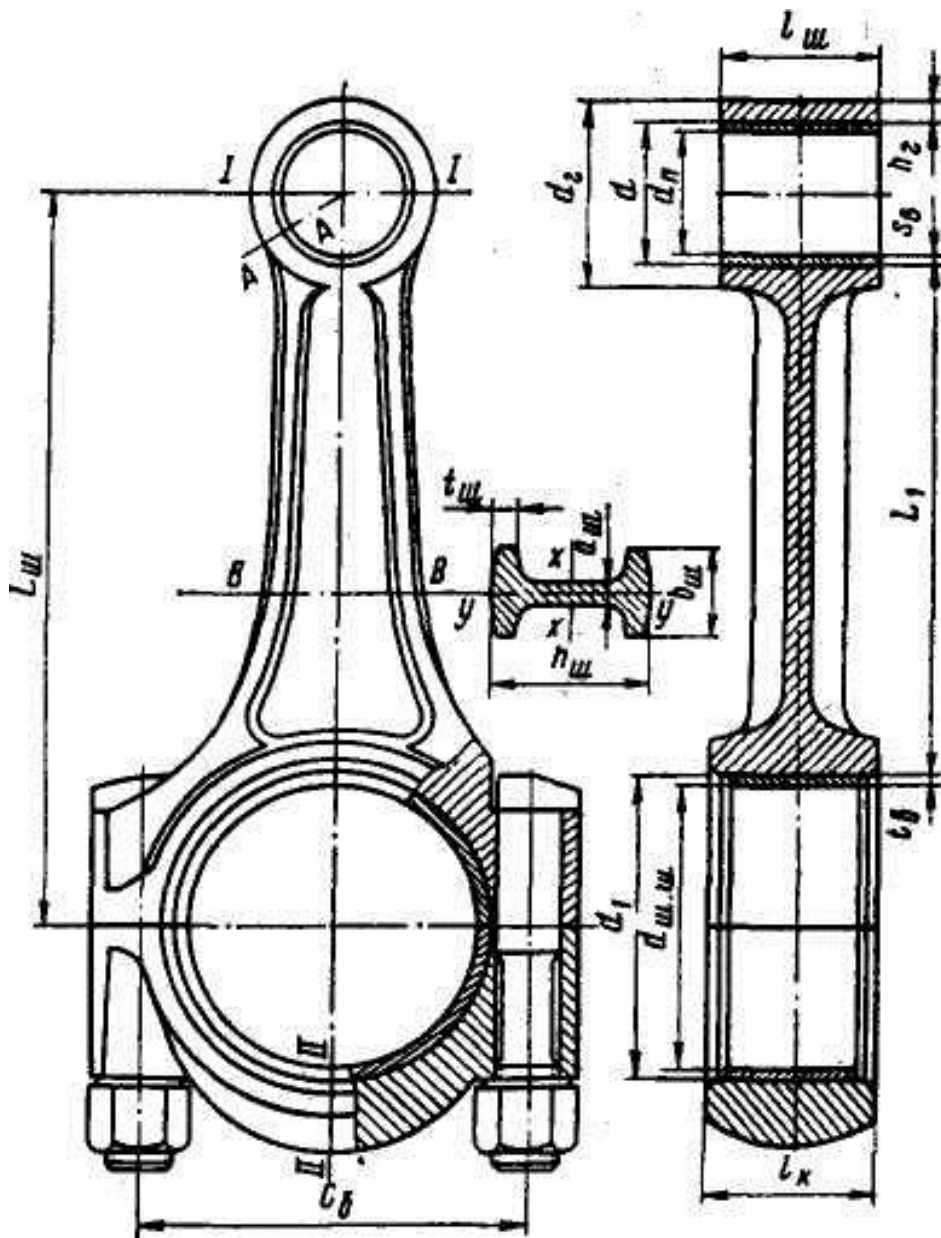


Рисунок 17 – Расчетная схема шатунной группы

Расчет сечения I-I

Максимальное напряжение пульсирующего цикла

$$\sigma_{\max} = \frac{(m_{\Pi} + m_{\text{в.г.}}) \cdot \omega_{\text{х.х.мак}}^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda)}{2 \cdot h_{\Gamma} \cdot l_{\text{ш}}}, \text{ МПа}, \quad (5.1)$$

где $m_{\text{в.г.}}$ – масса части головки, располагающаяся выше сечения I-I (для бензиновых двигателей $m_{\text{в.г.}} = 0,06 \cdot m_{\text{ш}}$, для дизелей $m_{\text{в.г.}} = 0,08 \cdot m_{\text{ш}}$), кг.

Среднее напряжение и амплитуда напряжений

$$\sigma_{m_0} = \frac{\sigma_{\max}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.2)$$

$$\sigma_{\text{ак}_0} = \frac{\sigma_{m_0} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}} \cdot \varepsilon_{\text{п}}}, \text{ МПа}, \quad (5.3)$$

где $k_{\sigma} = 1,2 + 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot (\sigma_{\text{в}} - 400)$ – эффективный коэффициент концентрации напряжений; $\varepsilon_{\text{м}} = 0,86$ – масштабный коэффициент; $\varepsilon_{\text{п}} = 0,9$ – коэффициент поверхностной чувствительности; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности шатуна.

Характеристики материала Сталь 45 приведены в приложении 3.

Запас прочности в сечении I-I определяется по пределу усталости

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_{\text{ак}_0} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{m_0}}, \quad (5.4)$$

где σ_{-1p} – предел усталости при растяжении – сжатии; $\alpha_{\sigma} = 0,12$ – коэффициент приведения цикла при растяжении – сжатии.

Напряжение от запрессованной втулки

Суммарный натяг

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta + \Delta_t, \text{ мм}, \quad (5.5)$$

где $\Delta = 0,04$ мм – натяг посадки бронзовой втулки; $\Delta_t = d \cdot (\alpha_{\text{в}} - \alpha_{\text{г}}) \cdot \Delta T$ – температурный натяг, мм; ΔT – средний подогрев головки и втулки, К ($\Delta T = 110$ К).

Удельное давление на поверхности соприкосновения втулки с головкой

$$p = \frac{\Delta_{\Sigma}}{d \cdot \left[\frac{\left(\frac{d_{\Gamma}^2 + d^2}{d_{\Gamma}^2 - d^2} + \mu \right)}{E_{\text{ш}}} + \frac{\left(\frac{d^2 + d_{\text{п}}^2}{d^2 - d_{\text{п}}^2} - \mu \right)}{E_{\text{в}}} \right]}, \text{ МПа,} \quad (5.6)$$

где $\mu = 0,3$ – коэффициент Пуассона; $E_{\text{ш}}$ – модуль упругости стального шатуна, МПа; $E_{\text{в}}$ – модуль упругости бронзовой втулки, МПа (см. приложение 3).

Напряжение от суммарного натяга на внутренней поверхности головки

$$\sigma_i = p \cdot \frac{d_{\Gamma}^2 + d^2}{d_{\Gamma}^2 - d^2}, \text{ МПа.} \quad (5.7)$$

Напряжение от суммарного натяга на внешней поверхности головки

$$\sigma_a = p \cdot \frac{2 \cdot d^2}{d_{\Gamma}^2 - d^2}, \text{ МПа.} \quad (5.8)$$

Расчет сечения А-А

Максимальная сила, растягивающая головку на режиме $n = n_N$

$$P_{jn} = -m_{\text{п}} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot (1 + \lambda), \text{ кН.} \quad (5.9)$$

Нормальная сила и изгибающий момент в сечении 0-0

$$N_{j_0} = -P_{jn} \cdot (0,572 - 0,0008 \cdot \varphi_{\text{ш.з.}}), \text{ Н;} \quad (5.10)$$

$$M_{j_0} = -P_{jn} \cdot r_{\text{ср}} \cdot (0,00033 \cdot \varphi_{\text{ш.з.}} - 0,0297), \text{ Н} \cdot \text{м,} \quad (5.11)$$

где $\varphi_{\text{ш.з.}}$ – угол заделки, град; $r_{\text{ср}}$ – средний радиус головки, м:

$$r_{\text{ср}} = \frac{(d_{\Gamma} + d)}{4}.$$

Нормальная сила и изгибающий момент в расчетном сечении от растягивающей силы

$$N_{j\varphi_{\text{ш.з.}}} = N_{j_0} \cdot \cos \varphi_{\text{ш.з.}} - 0,5P_{jn} \cdot (1 - \cos \varphi_{\text{ш.з.}}), \text{ Н.} \quad (5.12)$$

$$M_{j\varphi_{\text{ш.з.}}} = M_{j_0} + N_{j_0} \cdot r_{\text{ср}} \cdot (1 - \cos \varphi_{\text{ш.з.}}) + 0,5 \cdot P_{jn} \cdot r_{\text{ср}} \cdot (1 - \cos \varphi_{\text{ш.з.}}), \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (5.13)$$

Напряжение на внешнем волокне от растягивающей силы

$$\sigma_{aj} = \left[2 \cdot M_{j\varphi_{\text{ш.з.}}} \cdot \frac{6r_{\text{ср}} + h_{\Gamma}}{h_{\Gamma} \cdot (2r_{\text{ср}} + h_{\Gamma})} + K \cdot N_{j\varphi_{\text{ш.з.}}} \right] \cdot \frac{10^{-6}}{l_{\text{ш}} \cdot h_{\Gamma}}, \text{ МПа,} \quad (5.14)$$

где $K = \frac{E_{\text{ш}} \cdot F_{\Gamma}}{E_{\text{ш}} \cdot F_{\Gamma} + E_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}}}$ – коэффициент; $F_{\Gamma} = (d_{\Gamma} - d) \cdot l_{\text{ш}}$ и

$F_{\text{в}} = (d - d_{\text{п}}) \cdot l_{\text{ш}}$ – соответственно площадь сечения стенок головки и втулок, мм².

Суммарная сила, сжимающая головку

$$P_{\text{сж}} = (p_{z_0} - p_0) \cdot F_{\text{п}} - m_{\text{п}} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi), \text{ МПа.} \quad (5.15)$$

Нормальная сила и изгибающий момент в расчетном сечении от сжимающей силы

$$N_{\text{сж}\varphi_{\text{ш.з.}}} = P_{\text{сж}} \cdot \left[\frac{N_{\text{сж}0}}{P_{\text{сж}}} + \left(\frac{\sin \varphi_{\text{ш.з.}}}{2} - \frac{\varphi_{\text{ш.з.}}}{\pi} \cdot \sin \varphi_{\text{ш.з.}} - \frac{1}{\pi} \cdot \cos \varphi_{\text{ш.з.}} \right) \right], \text{ Н;} \quad (5.16)$$

$$M_{\text{сж}\varphi_{\text{ш.з.}}} = P_{\text{сж}} \cdot r_{\text{ср}} \cdot \left[\frac{M_{\text{сж}0}}{P_{\text{сж}} \cdot r_{\text{ср}}} + \frac{N_{\text{сж}0}}{P_{\text{сж}}} \cdot (1 - \cos \varphi_{\text{ш.з.}}) - \left(\frac{\sin \varphi_{\text{ш.з.}}}{2} - \frac{\varphi_{\text{ш.з.}}}{\pi} \cdot \sin \varphi_{\text{ш.з.}} - \frac{1}{\pi} \cdot \cos \varphi_{\text{ш.з.}} \right) \right], \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (5.17)$$

Напряжение на внешнем волокне от сжимающей силы

$$\sigma_{a \text{ сж}} = \left[2M_{\text{сж}} \varphi_{\text{ш.з.}} \cdot \frac{6r_{\text{ср}} + h_{\Gamma}}{h_{\Gamma} \cdot (2r_{\text{ср}} + h_{\Gamma})} + K \cdot N_{\text{сж}} \varphi_{\text{ш.з.}} \right] \cdot \frac{10^{-6}}{l_{\text{ш}} \cdot h_{\Gamma}}, \text{ МПа}, \quad (5.18)$$

где K – коэффициент, учитывающий наличие запрессованной бронзовой втулки (см. формулу (5.14)).

Максимальное и минимальное напряжения асимметричного цикла

$$\sigma_{\max} = \sigma'_a + \sigma_{aj}, \text{ МПа}; \quad (5.19)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma'_a + \sigma_{a \text{ сж}}, \text{ МПа}. \quad (5.20)$$

Среднее напряжение и амплитуды напряжения

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2, \text{ МПа}; \quad (5.21)$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2, \text{ МПа}; \quad (5.22)$$

$$\sigma_{\text{ак}} = \frac{\sigma_a \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}} \cdot \varepsilon_{\text{п}}}, \text{ МПа}. \quad (5.23)$$

Запас прочности в сечении А-А

Запас прочности в сечении А-А определяем по пределу текучести

$$n_{\Gamma} = \frac{\sigma_{\Gamma}}{\sigma_{\text{ак}} + \sigma_m}, \quad (5.24)$$

где σ_{Γ} – предел текучести материала шатуна, МПа.

5.2. Расчет кривошипной головки шатуна

Максимальная сила инерции

$$P_{jp} = -\omega_{x.x. \max}^2 R[(m_{\Pi} + m_{\text{ш.п.}})(1 + \lambda) + (m_{\text{ш.к.}} - m_{\text{кр}})] \cdot 10^{-6}, \text{ МН}, \quad (5.25)$$

где m_{Π} – масса поршневой группы, кг; $m_{\text{ш.п.}}$ и $m_{\text{ш.к.}}$ – соответственно массы шатунной группы, совершающие возвратно-поступательное и вращательное движения, кг; $m_{\text{кр}} \approx (0,20 \dots 0,28) \cdot m_{\text{ш}}$ – масса крышки кривошипной головки, кг; $m_{\text{ш}}$ – масса шатунной группы, кг.

Данные для расчета принимаются по таблице 5.5.

Таблица 5.5

| Параметр | Диапазон |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Диаметр шатунной шейки, $d_{\text{ш.ш.}}$, мм | $(0,56 \dots 0,75) \cdot D$ |
| Толщина стенки вкладыша, $t_{\text{в}}$, мм: – тонкостенного – толстостенного | $(0,03 \dots 0,05) \cdot d_{\text{ш.ш.}}$ $0,01 \cdot d_{\text{ш.ш.}}$ |
| Расстояние между шатунными болтами, $c_{\text{б}}$, мм | $(1,30 \dots 1,75) \cdot d_{\text{ш.ш.}}$ |
| Длина кривошипной головки, $l_{\text{к}}$, мм | $(0,45 \dots 0,95) \cdot d_{\text{ш.ш.}}$ |

Момент сопротивления расчетного сечения

$$W_{\text{из}} = \frac{l_{\text{к}} \cdot (0,5c_{\text{б}} - r_1)^2}{6}, \text{ М}^3, \quad (5.26)$$

где $r_1 = 0,5(d_{\text{ш.ш.}} + 2t_{\text{в}})$ – внутренний радиус кривошипной головки, м.

Моменты инерции вкладыша и крышки

$$J_{\text{в}} = l_{\text{к}} \cdot t_{\text{в}}^3, \text{ М}^4; \quad (5.27)$$

$$J = l_{\text{к}} \cdot (0,5c_{\text{б}} - r_1)^3, \text{ М}^4. \quad (5.28)$$

Напряжение изгиба крышки и вкладыша

$$\sigma_{\text{из}} = P_{jp} \cdot \left[\frac{0,023 \cdot c_{\text{б}}}{(1 + J_{\text{в}}/J) \cdot W_{\text{из}}} + \frac{0,4}{F_{\Gamma}} \right], \text{ МПа}, \quad (5.29)$$

где $F_{\Gamma} = l_{\text{к}} \cdot 0,5(c_{\text{б}} - d_{\text{ш.ш.}})$ – суммарная площадь крышки и вкладыша в расчетном сечении, м^2 .

Значение $\sigma_{из}$ изменяется в пределах 100...300 МПа.

5.3. Расчет стержня шатуна

Сила, сжимающая шатун (при $\varphi = 370^\circ$)

$$P_{сж} = P_r + P_j, \text{ МН.} \quad (5.30)$$

Сила, растягивающая шатун (при $\varphi = 0^\circ$)

$$P_p = P_r + P_j, \text{ МН.} \quad (5.31)$$

Площадь и моменты инерции расчетного сечения В-В

$$F_{ср} = h_{ш} \cdot b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш}) \cdot (h_{ш} - 2t_{ш}), \text{ м}^2; \quad (5.32)$$

$$J_x = \frac{b_{ш} \cdot h_{ш}^3 - (b_{ш} - a_{ш}) \cdot (h_{ш} - 2t_{ш})^3}{12}, \text{ м}^4; \quad (5.33)$$

$$J_y = \frac{h_{ш} \cdot b_{ш}^3 - (h_{ш} - 2t_{ш}) \cdot (b_{ш} - a_{ш})^3}{12}, \text{ м}^4. \quad (5.34)$$

Максимальное напряжение от сжимающей силы

В плоскости качания шатуна

$$\sigma_{maxx} = \frac{K_x P_{сж}}{F_{ср}}, \text{ МПа,} \quad (5.35)$$

где $K_x = 1 + \frac{\sigma_B}{\pi^2 \cdot E_{ш}} \cdot \frac{L_{ш}^2}{J_x} \cdot F_{ср}$ – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба шатуна в плоскости качания шатуна; $L_{ш} = R/\lambda$ – длина шатуна, м.

В плоскости, перпендикулярной плоскости качания шатуна

$$\sigma_{\max y} = \frac{K_y \cdot P_{\text{сж}}}{F_{\text{ср}}}, \text{ МПа}, \quad (5.36)$$

где $K_y = 1 + \frac{\sigma_{\text{в}}}{\pi^2 \cdot E_{\text{ш}}} \cdot \frac{L_1^2}{J_y} \cdot F_{\text{ср}}$ – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба шатуна в плоскости, перпендикулярной плоскости качания шатуна; $L_1 = L - \frac{(d + d_1)}{2}$ – длина стержня шатуна между поршневой и кривошипной головками.

Для современных автомобильных двигателей $\sigma_{\max x}$ и $\sigma_{\max y}$ не должны превышать:

- для углеродистых сталей 160-250 МПа;
- для легированных сталей 200-350 МПа.

Минимальное напряжение от растягивающей силы

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{\text{р}}}{F_{\text{ср}}}, \text{ МПа}. \quad (5.37)$$

Среднее напряжение и амплитуда цикла

$$\sigma_{mx} = \frac{\sigma_{\max x} + \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.38)$$

$$\sigma_{my} = \frac{\sigma_{\max y} + \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.39)$$

$$\sigma_{ax} = \frac{\sigma_{\max x} - \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.40)$$

$$\sigma_{ay} = \frac{\sigma_{\max y} - \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.41)$$

$$\sigma_{ак x} = \frac{\sigma_{ax} k_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}} \varepsilon_{\text{п}}}, \text{ МПа}; \quad (5.42)$$

$$\sigma_{ак y} = \frac{\sigma_{ay} k_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}} \varepsilon_{\text{п}}}, \text{ МПа}. \quad (5.43)$$

Запас прочности в сечении В-В

Запас прочности в сечении В-В определяем по пределу усталости

$$n_{\sigma x} = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_{ак x} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{mx}}; \quad (5.44)$$

$$n_{\sigma y} = \frac{\sigma_{-1p}}{\sigma_{ак y} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{my}}. \quad (5.45)$$

Данные для расчета принимаются из таблицы 5.6.

Таблица 5.6

| Размеры сечения шатуна | Бензиновые двигатели | Дизели |
|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| $h_{ш \min}$ | $(0,50...0,55) \cdot d_r$ | |
| $h_{ш}$ | $(1,2...1,4) \cdot h_{ш \min}$ | |
| $b_{ш}$ | $(0,5...0,6) \cdot l_{ш}$ | $(0,55...0,75) \cdot l_{ш}$ |
| $a_{ш} \approx t_{ш}$ | $(2,5...4,0)$ | $(4,0...7,5)$ |

5.4. Расчет шатунных болтов

Сила предварительной затяжки болта

$$P_{пр} = (2...3) \frac{P_{jp}}{i_{\sigma}}, \text{ МН}, \quad (5.46)$$

где i_{σ} – число шатунных болтов.

Суммарная сила, растягивающая болт

$$P_{\sigma} = P_{пр} + \frac{\chi \cdot P_{jp}}{i_{\sigma}}, \text{ МН}, \quad (5.47)$$

где $\chi = 0,2$ – коэффициент основной нагрузки резьбового соединения.

Максимальные и минимальные напряжения, возникающие в болте

$$\sigma_{\max} = \frac{4P_{\sigma}}{\pi \cdot d_B^2}, \text{ МПа}; \quad (5.48)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{4P_{\text{пр}}}{\pi \cdot d_{\text{в}}^2}, \text{ МПа}, \quad (5.49)$$

где $d_{\text{в}} = d - 1,4t$ – внутренний диаметр резьбы болта, мм; d – номинальный диаметр болта, мм; t – шаг резьбы, мм.

Среднее напряжение и амплитуды цикла

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.50)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (5.51)$$

$$\sigma_{\text{ак}} = \frac{\sigma_a \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_{\text{м}} \cdot \varepsilon_{\text{п}}}, \text{ МПа}. \quad (5.52)$$

Запас прочности в сечении А-А

Запас прочности в сечении А-А определяем по пределу текучести

$$n_{\text{T}_0} = \frac{\sigma_{\text{T}}}{\sigma_{\text{ак}} + \sigma_m}. \quad (5.53)$$

6. РАСЧЕТ КОРПУСА ДВИГАТЕЛЯ

6.1. Гильза цилиндра

6.1.1. Расчетная толщина стенки гильзы цилиндра

Толщина стенки гильзы $\delta_{\text{г}}$ выбирается конструктивно (для бензиновых двигателей $\delta_{\text{г}} = 6...10$ мм, для дизелей $\delta_{\text{г}} = 11...18$ мм):

$$\delta_{\text{г.р.}} = 0,5D \cdot \left(\sqrt{\frac{\sigma_z + 0,4P_z}{\sigma_z - 1,3P_z}} - 1 \right), \text{ мм}, \quad (6.1)$$

где σ_z – допустимое напряжение на растяжение (для чугунных втулок $\sigma_z = 50...60$ МПа, для стальных втулок $\sigma_z = 80...100$ МПа); P_z – давление газов в конце сгорания, МПа.

Толщину стенки гильзы выбирают с некоторым запасом прочности, так как $\delta_{\Gamma} > \delta_{\Gamma.p.}$.

Напряжение растяжения в гильзе от действия максимального давления газов

$$\sigma_p = \frac{P_{z\max} \cdot D}{2\delta_{\Gamma}}, \text{ МПа}, \quad (6.2)$$

где $P_{z\max}$ – максимальное давление газов, условно отнесенное к положению поршня в Н.М.Т., МПа.

Допустимое напряжение σ_p для гильз цилиндров, выполненных из чугуна, изменяется в пределах 30-60 МПа, а для стальных гильз – 80-120 МПа.

Температурные напряжения в гильзе

$$\sigma_t = \frac{E \cdot \alpha_{\text{ц}} \cdot \Delta T}{2 \cdot (1 - \mu)}, \text{ МПа}, \quad (6.3)$$

где ΔT – перепад температур (по опытным данным $\Delta T = 100 \dots 150$ К); μ – коэффициент Пуассона (для стали $\mu = 0,25 \dots 0,33$, а для чугуна $\mu = 0,23 \dots 0,27$).

Суммарные напряжения в гильзе от давления газов и перепада температур

На наружной поверхности

$$\sigma_{\Sigma}^{\prime} = \sigma_p + \sigma_t, \text{ МПа}. \quad (6.4)$$

На внутренней поверхности

$$\sigma_{\Sigma}^{\prime\prime} = \sigma_p - \sigma_t, \text{ МПа}. \quad (6.5)$$

Суммарное напряжение σ_{Σ}^{\prime} в чугунной гильзе не должно превышать 100-130 МПа, а в стальной 180-200 МПа.

6.2. Шпильки головки блока

Проекция поверхности камеры сгорания на плоскость, перпендикулярную оси цилиндра

$$F_{\text{к}} = 1,2F_{\text{п}}, \text{ м}^2. \quad (6.6)$$

Сила давления газов, приходящаяся на одну шпильку

$$P'_{z\text{max}} = \frac{p_{z\text{max}} \cdot F_{\text{к}}}{i_{\text{шп}}}, \text{ МН}, \quad (6.7)$$

где $i_{\text{шп}}$ – количество шпилек на один цилиндр.

Сила предварительной затяжки шпильки

$$P_{\text{пр}} = m \cdot (1 - \chi) \cdot P'_{z\text{max}}, \text{ МН}, \quad (6.8)$$

где $m = 3$ – коэффициент затяжки шпильки для соединений с прокладками;
 $\chi = 0,2$ – коэффициент основной нагрузки резьбового соединения.

Суммарная сила, растягивающая шпильку без учета силы P_t

$$P_{\text{рmax}} = P_{\text{пр}} + \chi \cdot P'_{z\text{max}}, \text{ МН}. \quad (6.9)$$

Минимальная сила, растягивающая шпильку

$$P_{\text{рmin}} = P_{\text{пр}}, \text{ МН}. \quad (6.10)$$

Максимальные и минимальные напряжения, возникающие в шпильке

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\text{рmax}}}{F_{0\text{р}}}, \text{ МПа}; \quad (6.11)$$

$$\sigma_{\text{min}} = \frac{P_{\text{рmin}}}{F_{0\text{р}}}, \text{ МПа}, \quad (6.12)$$

где $F_{0\text{р}} = \frac{\pi d_{\text{в}}^2}{4}$ – площадь сечения шпильки по внутреннему диаметру резьбы, м^2 .

Среднее напряжение и амплитуда цикла

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (6.13)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}, \text{ МПа}; \quad (6.14)$$

$$\sigma_{\text{ак}} = \frac{\sigma_a k_\sigma}{\varepsilon_M \varepsilon_\Pi}, \text{ МПа}. \quad (6.15)$$

Запас прочности шпильки

Запас прочности шпильки определяется по пределу текучести

$$n_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{ак}} + \sigma_m}. \quad (6.16)$$

Допускаемые запасы прочности изменяются в пределах $n_{T\sigma} = 1,5 \dots 2,5$.

7. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ

7.1. Поршень

Данные для расчета принимаются из таблицы 7.1.

Таблица 7.1

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-----------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Толщина днища поршня, мм | δ | $(0,05 \dots 0,10) \cdot D$ | $(0,12 \dots 0,20) \cdot D$ | 1, с.206 |
| Высота поршня, мм | H | $(0,80 \dots 1,30) \cdot D$ | $(1,00 \dots 1,70) \cdot D$ $(1,12 \dots 1,45) \cdot D$ | 1, с.206 5, с.235 |
| Высота от днища поршня до оси поршневого пальца, мм | h_1 | $(0,45 \dots 0,75) \cdot D$ | $(0,60 \dots 1,00) \cdot D$ | 1, с.206 |
| Высота юбки поршня, мм | $h_{\text{ю}}$ | $(0,70 \dots 1,00) \cdot D$ $(0,68 \dots 0,74) \cdot D$ | $(0,80 \dots 1,25) \cdot D$ | 4, с. 256 3, с.124 |
| Толщина стенки юбки, мм | $\delta_{\text{ю}}$ | 1,5...4,5 | 2,00...5,00 | 1, с.206 |
| Расстояние до первой поршневой канавки, мм | l | $(0,06 \dots 0,12) \cdot D$ | $(0,11-0,20) \cdot D$ | 1, с.206 |
| Толщина первой межколье-вой перемычки, мм | $h_{\text{п}}$ | $(0,03 \dots 0,05) \cdot D$ | $(0,04-0,07) \cdot D$ | 1, с.206 |
| Наружный диаметр бобышки, мм | $d_{\text{б}}$ | $(0,30 \dots 0,50) \cdot D$ | | 1, с.206 |
| Ширина разреза юбки порш- | $b_{\text{ю}}$ | 1,50...2,00 | | 1, с.206 |

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| ня, мм | | | | |
| Расстояние между торцами бобышек поршня, мм | b^* | $(0,30...0,50) \cdot D$ $(0,25...0,50) \cdot D$ | | 1, с.206 2, с.49 |
| Рабочая длина бобышки, мм | l_6 | $(0,55...0,65) \cdot l_{ш}$ | | 4, с.280 |
| Овальность поперечного сечения, мм | Δc | $(0,10...1,00)$ | | 4, с.279 |
| Толщина стенки головки поршня, мм | S_T | $(0,05...0,10) \cdot D$ | | 1, с.206 |
| Внутренний диаметр поршня, мм | d_i | $D - 2 \cdot (S + t + \Delta t)$ $(0,66...0,80) \cdot D$ | $(0,45...0,85) \cdot D$ | 1, с.206 2, с.49 |
| Ширина фасок на внешних углах кольцевых перемычек, мм | $f_{п}$ | $0,20...0,30$ | | 4, с.255 |
| Число масляных отверстий в поршне, шт. | n_m | $6...12$ | | 1, с.206 |
| Радиус галтели в основании кольцевых перемычках, мм | r | $0,20...0,30$ | | 4, с.255 |
| Диаметр масляного канала, мм | d_m | $(0,30...0,50) \cdot a$ | | 1, с.206 |
| Толщина заливных в стенки поршня пластин, мм | $h_{пл}$ | $1...2$ | | 1, с.206 |
| Высота головки поршня, мм | h_T | $(0,64...0,70) \cdot h_{ю}$ | | 1, с.206 |
| Выход нижней кромки поршня из цилиндра в НМТ, мм | $\Delta 10$ | Не более 30 | | 1, с.206 |
| Зазор между торцом поршневой головки шатуна и торцом бобышки поршня, мм | Δg | $1,50...2,50$ | | 1, с.206 |
| Используемые материалы | – | АЛ 10В АЛ 25 АЛ 30 АК10М2Н КС 245 | СЧ 24-25 АК 21 | – |

Примечание: D – диаметр поршня, мм; h_1 – высота головки поршня, мм. Величину верхней части поршня h_1 выбирают исходя из условия $(h_1 - h_T) > d_6 / 2$.

* Расстояние b между торцами бобышек обычно принимают на 2-3 мм больше $l_{ш}$.

7.2. Поршневые кольца

Сечение поршневых колец представлено на рисунке 18. Данные для расчета принимаются из таблицы 7.2.

Таблица 7.2

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-------------------------|-------------|----------------------|--------------------------------------|----------------|
| Высота кольца, мм | a | – $2,0...4,0$ | $3,0...5,0$ $(0,7...1,0) \cdot D$ | 1 15, с.240 |

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Разность между величинами зазоров замка кольца в свободном и рабочем состоянии, мм | A_0 | $(2,5...4,0) \cdot t$ – | $(3,2...4,0) \cdot t$ $(3,0...3,5) \cdot t$ | 1 15, с.241 |
| Число колец, шт.: – компрессионных – маслосъемных | j_k | 2...4 1...3 | 3...4 1...3 | 3, с.159 1 |
| Реальная толщина кольца, мм: – компрессионного – маслосъемного | t | $(0,040...0,045) \cdot D$ $(0,035...0,040) \cdot D$ $(0,038...0,043) \cdot D$ | | 1 5, с.240 1 |
| Радиальный зазор кольца в канавке, мм: – компрессионного – маслосъемного | Δt | 0,70...0,95 0,30...0,70 0,50...1,50 | | 1, с.206 4, с.289 4, с.289 |
| Зазор между концами кольца в свободном состоянии, мм | S_0 | $(3,00...4,00) \cdot t$ | | 2, с.55 |
| Зазор в замке кольца вставленного в цилиндр, мм | A_3 | 0,02...0,15 0,06...0,10 $(0,004...0,006) \cdot D$ | | 3, с.159 6, с.113 5, с.24 |
| Используемые материалы | – | СЧ 24; СЧ 30; СЧ 35; СЧ 45; У10А; расширители – сталь 65Г | | – |

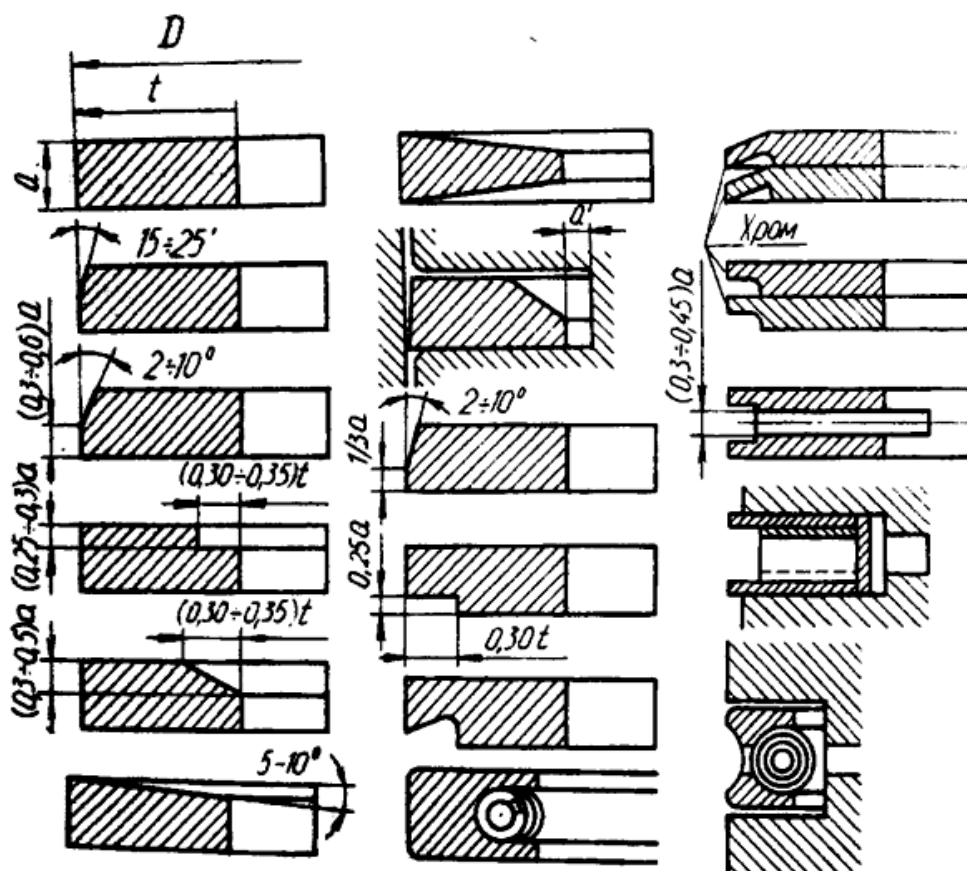


Рисунок 18 – Сечение поршневых колец

7.3. Поршневой палец

Данные для расчета принимаются из таблицы 7.3.

Таблица 7.3

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|
| Наружный диаметр пальца, мм | $d_{\text{п}}$ | $(0,22...0,28) \cdot D$ $(0,32...0,3) \cdot D$ | $(0,30...0,038) \cdot D$ $(0,31...0,43) \cdot D$ | 1 2, с.49 |
| Внутренний диаметр пальца, мм | d | $(0,65...0,75) \cdot d_{\text{п}}$ | $(0,50...0,70) d_{\text{п}}$ | 1 |
| Длина пальца, мм: – закрепленного – плавающего | $l_{\text{п}}$ | $(0,88...0,93) \cdot D$ | | 1 |
| | | $(0,78...0,88) \cdot D$ | $(0,80...0,90) \cdot D$ | 1 |
| Длина втулки шатуна, мм: – закрепленного – плавающего | $l_{\text{ш}}$ | $(0,28...0,32) \cdot D$ | | 1 |
| | | $(0,33...0,45) \cdot D$ | | 1 |
| Используемые материалы | – | Сталь 20; 15ХА; 40ХА Сталь 12Х2Н4А; 15ХМ | | – |

7.4. Температурный режим элементов поршневой группы

7.4.1. Температура головки поршня двигателя

Жидкостное охлаждение, $t_{\text{г}}(\text{ж})$:

– алюминий 220-320 °С;

– чугун 180-240 °С.

Воздушное охлаждение, $t_{\text{г}}(\text{в}) = (1,3...1,4) \cdot t_{\text{г}}(\text{ж}), ^\circ\text{С}$.

7.4.2. Температура юбки поршня двигателя

Жидкостное охлаждение, $t_{\text{ю}}(\text{ж})$:

– алюминий 150-200 °С;

– чугун 180-240 °С.

Воздушное охлаждение, $t_{\text{ю}}(\text{в}) = (1,3...1,4) \cdot t_{\text{ю}}(\text{ж}), ^\circ\text{С}$.

7.4.3. Температура внешнего компрессионного кольца $t_{\text{к}}, ^\circ\text{С}$

Жидкостное охлаждение 200-300 °С.

Воздушное охлаждение 250-550 °С.

7.5. Конструктивные массы

7.5.1. Конструктивная масса поршневой группы $m_{\text{п}}$, кг/м²

Бензиновый двигатель:

– для $n < 4500$ мин⁻¹, $m_{\text{п}} = (1,2 \dots 1,3) \cdot D$;

– для $n > 4500$ мин⁻¹, $m_{\text{п}} = (1,3 \dots 1,4) \cdot D$.

Дизель:

– для $n < 3000$ мин⁻¹, $m_{\text{п}} = (2,0 \dots 2,2) \cdot D$;

– для $n > 4000$ мин⁻¹, $m_{\text{п}} = (1,7 \dots 1,9) \cdot D$.

Ориентировочно удельная масса поршня – $m_{\text{п}}$ из алюминиевого сплава составляет 150-300 кг/м²; чугунового поршня – 250-400 кг/м².

8. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ ШАТУННОЙ ГРУППЫ

Конструктивные размеры шатунной группы представлены на рисунке 19. Данные для расчета принимаются из таблицы 8.1.

8.1. Поршневая головка шатуна

Таблица 8.1

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Внутренний диаметр поршневой головки, мм: – без втулки – с втулкой | d | $d \approx d_{\text{п}}^{*1}$ (1,10...1,25)·D | | 1 1 |
| Наружный диаметр головки, мм | $d_{\text{г}}$ | (1,25...1,65)· $d_{\text{п}}$ | (1,30...1,70)· $d_{\text{п}}$ | 1 |
| Длина поршневой головки шатуна, мм: – закрепленный палец – плавающий палец | $l_{\text{ш}}$ | (0,28...0,32)·D (0,33...0,45)·D | | 1 1 |
| Зазор между пальцем и бронзовой втулкой, мм | Δ_3 | (0,0004...0,0015)· $d_{\text{п}}$ | | 4, с.297 |
| Минимальная радиальная толщина стенки головки, мм | $h_{\text{ст}}$ | (0,16...0,27)· $d_{\text{п}}^{*2}$ (не менее 4 мм) | | 1 3, с.167 |
| Радиальная толщина стенки втулки, мм | $S_{\text{в}}^{*3}$ | (0,055...0,085)· $d_{\text{п}}$ | (0,07...0,085)· $d_{\text{п}}$ | 1 |

Примечание: $*1 d_{\text{п}}$ – наружный диаметр поршневого пальца, мм.

$*2$ Втулка из листовой бронзы делают толщиной до 0,8 мм.

$*3$ Минимальная радиальная толщина стенки головки составляет не менее 4 мм.

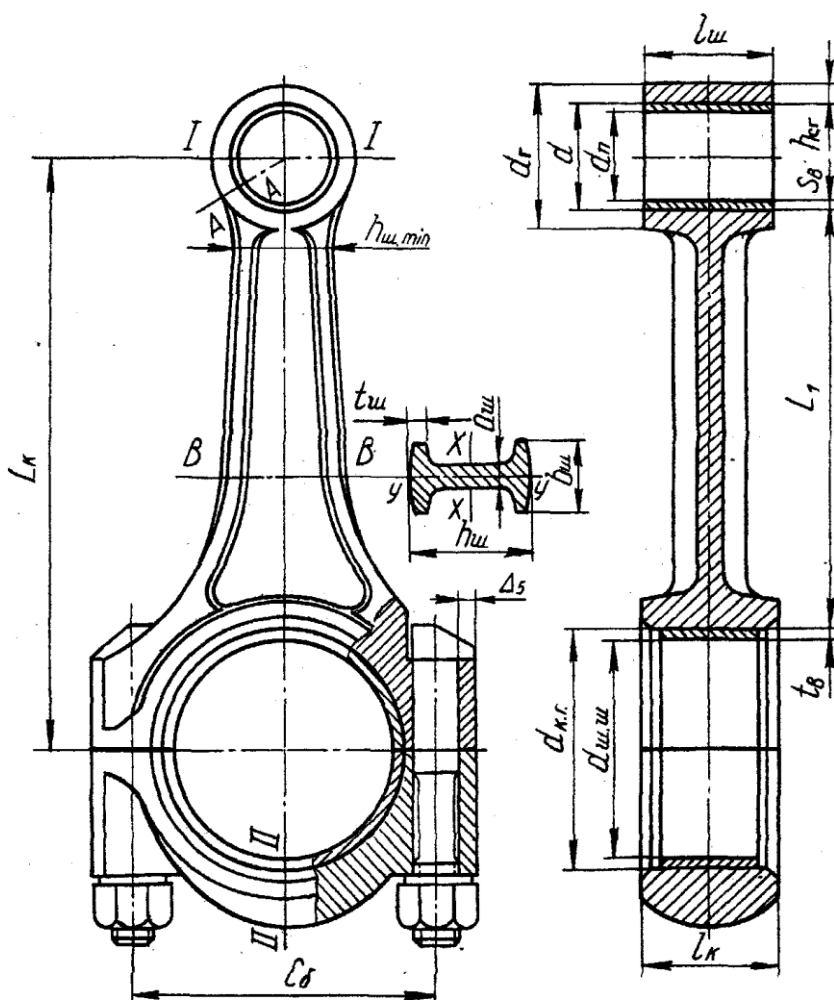


Рисунок 19 – Шатунная группа

8.2. Кривошипная головка шатуна

Эскиз нижних головок шатуна представлен на рисунке 20. Данные для расчета принимаются из таблицы 8.2.

Таблица 8.2

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|--------|---------------|
| Ширина шатунного вкладыша, мм | b | $(0,40 \dots 0,60) \cdot d_{ш.ш}$ | | 7, с.227 |
| Диаметр шатунной шейки, мм | $d_{ш.ш}$ | $(0,56 \dots 0,75) \cdot D$ $(0,66 \dots 0,68) \cdot D$ | | 1 4, с.302 |
| Толщина стенки шатунного вкладыша, мм: | | | | |
| – тонкостенного | t_B | $(0,03 \dots 0,05) \cdot d_{ш.ш}$ | | 1 |
| – толстостенного | | $0,1 \cdot d_{ш.ш}$ | | 1 |
| Толщина антифрикционного слоя во вкладышах, мм | Δ_8 | $0,20 \dots 0,70$ | | 1 |

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|--------|----------|
| Расстояние между шатунными болтами, мм | C_6 | $(1,30 \dots 1,75) \cdot d_{ш.ш}$ | | 1 |
| Длина кривошипной головки, мм | l_k | $(0,45 \dots 0,95) \cdot d_{ш.ш}$ | | 1 |
| Осевой зазор кривошипной головки, мм | S_l | 0,10...0,15 | | 1 |
| Минимальная толщина промежутка между отверстием для шатунного болта и вкладышем, мм | Δ_4 | 1,00...1,50 | | 1 |
| Минимальная толщина между наружной стенкой кривошипной головки шатуна и отверстием под болт, мм | Δ_5 | 2,00 | | 1 |
| Относительное расстояние центра тяжести шатуна от оси кривошипной головки, мм | $h_{цт}$ | $(0,30 \dots 0,34) \cdot L_k$ | | 1 |

Примечание: при $d_{ш.ш} > 0,66 \cdot D$ необходимо выполнять косой разъем кривошипной головки под углом 30° , 45° или 60° к оси шатуна.

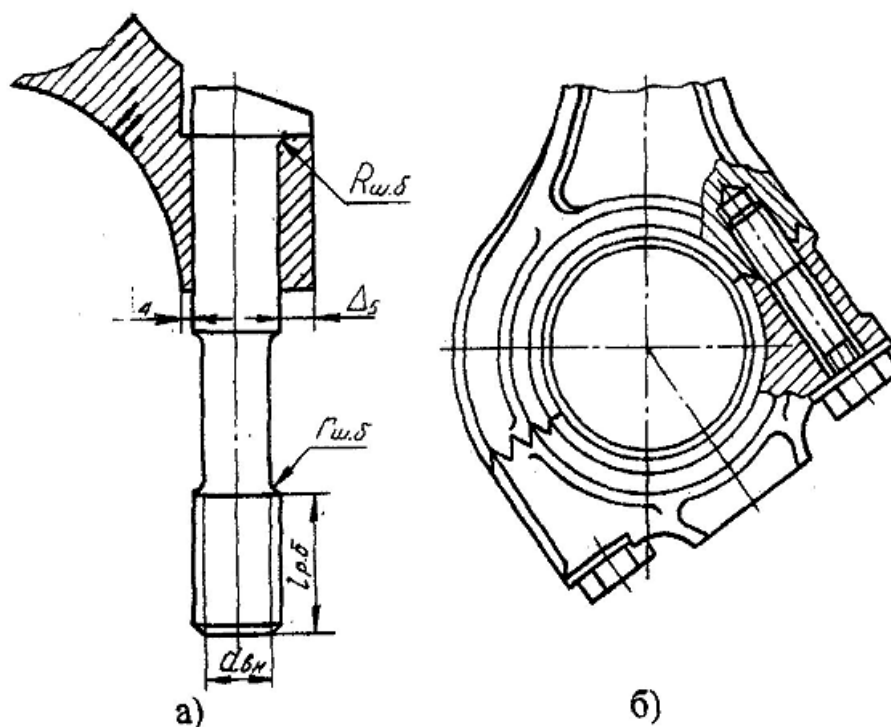


Рисунок 20 – Эскиз нижних головок шатуна: а – с разъемом в горизонтальной плоскости; б – с плоскостью разреза под углом.

8.3. Стержень шатуна

Данные для расчета принимаются из таблицы 8.3.

Таблица 8.3

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------------------|----------|
| Высота двутаврового сечения, мм | $h_{ш}$ | $(1,20 \dots 1,40) \cdot h_{ш \min}$ | | 1 |
| Минимальная высота двутаврового сечения стержня, мм | $h_{ш \min}$ | $(0,50 \dots 0,55) \cdot d_T$ | | 1 |
| Ширина двутаврового сечения стержня, мм | $b_{ш}$ | $(0,50 \dots 0,60) \cdot l_{ш}$ | $(0,55 \dots 0,75) \cdot l_{ш}$ | 1 |
| Толщина наружной полки двутавра, мм | S_2 | 2,50...4,00 | 4,00...7,50 | 1 |
| Толщина внутренней полки двутаврового сечения, мм | S_3 | 2,50...4,00 | 4,00...7,50 | 1 |
| Минимальный зазор между стержнем шатуна и нижней кромкой цилиндра, мм | Δ | 3,00...5,00 | | 1 |
| Используемые материалы | – | Сталь 45; 45Г2 Сталь 18ХНВА; 49ХНМА | | – |

8.4. Шатунные болты

Данные для расчета принимаются из таблицы 8.4.

Таблица 8.4

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|--------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------|
| Число шатунных болтов на одной шатуне, шт. | i_b | 2...4 | | 2, с.57 |
| Радиус перехода от головки шатунного болта к его стержню, мм | $R_{шб}$ | $(1,15 \dots 0,20) \cdot d_{шб}$ | | 1 |
| Радиус перехода от резьбы к стержню, мм | $r_{шб}$ | $(0,50 \dots 0,60) \cdot d_{шб}$ | | 1 |
| Длина резьбы болта, мм | $l_{рб}$ | $\approx 1,50 \cdot d_{шб}$ | | 7, с.224 |
| Внутренний диаметр резьбы болта, мм | $d_{вн}^*$ | $d \dots 1,4 \cdot t$ | | 1 |
| Диаметр стержня болта, мм | $d_{шб}^{**}$ | $(0,11 \dots 0,13) \cdot D$ | $(0,12 \dots 0,14) \cdot D$ | 1 |
| Используемые материалы | – | Сталь 35; 40Х Сталь 18ХВА; 20ХНЗА | | – |

Примечание:* d – номинальный диаметр болта, мм, t – шаг резьбы, мм.

** Диаметр стержня болта можно определить как $d_{шб} = (0,80-0,85) \cdot d_{вн}$, а затем результат округляется до значений по ГОСТ.

8.5. Конструктивная масса шатуна $m_{ш}$, кг/м²

Бензиновый двигатель:

– если $n < 4500 \text{ мин}^{-1}$, $m_{ш} = (1,5 \dots 1,6) \cdot D$;

– если $n > 4500 \text{ мин}^{-1}$, $m_{ш} = (1,2 \dots 1,9) \cdot D$.

Дизель:

– если $n < 3000 \text{ мин}^{-1}$, $m_{ш} = (2,3 \dots 2,5) \cdot D$;

– если $n > 4000 \text{ мин}^{-1}$, $m_{ш} = (1,8 \dots 2,1) \cdot D$.

Ориентировочно удельная масса шатуна составляет:

– бензиновый двигатель 100-200 кг/м²;

– дизель 250-400 кг/м².

8.6. Температурный режим деталей шатунной группы

Степень подогрева поршневой головки шатуна составляет $\Delta t_{ш} = 100\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$.

9. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ КОРПУСА ДВИГАТЕЛЯ

9.1. Блок картер

Основные конструктивные размеры элементов корпуса двигателя приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Расстояние между осями соседних цилиндров, мм: – рядный двигатель с сухими гильзами, коренные подшипники скольжения расположены через два цилиндра (двухпролетный коленвал) – рядный двигатель с однопролетным коленчатым валом и с подшипником скольжения | L_o | $(1,20 \dots 1,24) \cdot D$ $(1,20 \dots 1,28) \cdot D$ | – $(1,25 \dots 1,30) \cdot D$ | 1, с.279 9 |
| Толщина перегородок чугунных блоков и стенок водяной рубашки, мм | $h_{чб}$ | 4...7 | | 1 |
| – V-образный двигатель с последовательным расположением шатунов на шейке вала и с подшипниками скольжения | L_o | $1,33 \cdot D^*$ | $(1,47 \dots 1,55) \cdot D$ | 1 |

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|
| – двигатель с роликоподшипниками в качестве коренных опор | | $1,30 \cdot D$ | $1,30 \cdot D$ | 1 |
| – двигатель с воздушным охлаждением | | $(1,15 \dots 1,36) \cdot D$ | – | 1 |
| – двухтактный двигатель | | – | $(1,58 \dots 1,62) \cdot D$ | 1 |
| Минимальное расстояние между траекторией головки шатунного болта и внутренней поверхностью стенки картера, мм | X_K | 10...15 | | 1 |
| Расстояние между осями шпилек (или болтов) крышки коленчатого вала, мм | X_{KB} | $(1,00 \dots 1,10) \cdot D$ | | 1 |
| Минимальная высота опорной боковой плоскости крышки коленчатого вала, мм | Б | 3...8 | 8...15 | 4, с.186 |
| Диаметр канала для подвода масла к коренным подшипникам и подшипникам распределительного вала, мм | $d_{МП}$ | 5,00...8,00 | | 4, с.187 |
| Общая радиальная толщина вкладышей, мм: – стальных – алюминиевых | h_{BK} | $(0,03 \dots 0,04) \cdot d_{кш}$ в 1,5-1,7 раза больше | $(0,045 \dots 0,06) \cdot d_{кш}$ в 1,5-1,7 раза больше | 1 |
| Толщина нижней (не несущей) половины картера, мм | h_{2**} | 1,00...2,00 | | 1 |
| Толщина стенок цилиндра, мм | δ_2 | $(0,05 \cdot D + 2)$ | $(0,065 \dots 0,075) \cdot D$ | 1 |
| Толщина перемычки между отверстием под шпильку и расточку под фланец гильзы, мм | δ_5 | 2,00...4,00 | | 4, с.191 |
| Используемые материалы | | От СЧ18; СЧ40; СЧ24 АСЛ-4; АК12М2 | | |

Примечание: $d_{кш}$ – диаметр коренной шейки коленчатого вала.

* Для среднего подшипника $L_0 = 1,68 \cdot D$.

** В алюминиевом блоке картера толщина стенок соответственно увеличивается на 1-3 мм.

9.2. Головка блока цилиндров

Данные для расчета принимаются из таблицы 9.2, 9.3.

Таблица 9.2

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|----------|
| Толщина огневого днища, мм | $\delta_{ог}$ | – – | $(0,05...0,07) \cdot D$ $(0,06...0,08) \cdot D$ | 5, с.198 |
| Толщина нижней опорной стенки головки, мм | $\delta_{гол*}$ | $0,09 \cdot D$ | $0,09 \cdot D + 1,5$ | 1 |
| | | $0,05 \cdot D + 1,00$ | | 4, с.200 |
| Толщина стенок водяной рубашки, мм | $\delta_{руб*}$ | $2,2 \cdot D + 0,03 \cdot D$ | | 1 |
| | | $0,05 \cdot D + 1$ | | 4, с.200 |
| Высота головки, мм: – при нижнем расположении клапанов – при верхнем расположении клапанов | $l_{гол}$ | $(0,50...0,60) \cdot D$ | – | 4, с.199 |
| | | $(1,00...2,00) \cdot D$ | $(0,50...1,20) \cdot D$ | 5, с.198 |
| Высота полостей для прохода воды в нижней части головки блока, мм | h_6 | 12,00...14,00 | | 1 |
| Высота полостей для прохода воды в верхней части головки блока, мм | h_7 | 5,00...6,00 | | 1 |
| Площадь проекции поверхности камеры сгорания на плоскость перпендикулярную оси, м ² : – при нижних клапанах – при верхних клапанах | F_k | $(1,7...2,2) \cdot F_{п}^{**}$ | | 1 |
| | | $(1,1...1,3) \cdot F_{п}$ | | 1 |
| Толщина верхней горизонтальной стенки головки, мм | t_1 | $(0,05...0,12) \cdot D$ | | 3, с.331 |
| Толщина наружных стенок головки, мм: – чугун – сталь | – | $(0,05...0,08) \cdot D$ | | 3, с.331 |
| | | $(0,045...0,07) \cdot D$ | | 1 |

Примечание: * При использовании алюминиевых сплавов толщина стенок соответственно увеличивается на 2-3 мм.

** $F_{п}$ – площадь поршня, м².

Таблица 9.3

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|--------|----------|
| Используемые материалы для изготовления головки блока цилиндров | – | СЧ18; СЧ20; АО-5; АС9* АЛ9; АЛ5*; АК4* | – | – |

Примечание: * материалы для двигателей с воздушным охлаждением.

9.3. Шпильки головки блока

Данные для расчета принимаются из таблицы 9.4.

Таблица 9.4

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------|----------|
| Длина резьбы шпильки, мм Число шпилек на один цилиндр, шт.: – при верхних клапанах – при нижних клапанах | $l_{\text{шп}}^{\text{о*}}$ $i_{\text{шп}}$ | $(1,5 \dots 2,0) \cdot d_{\text{шп}}$ 4...6 6...8 | | 1 |
| Используемые материалы | – | Сталь 30Х; 18ХНВА; Сталь 18ХНМА; 20ХНВА | | – |

Примечание: * в отливках из алюминиевых сплавов $l_{\text{шп}}$ должна быть не менее $2 \cdot d_{\text{шп}}$.

9.4. Гильза цилиндра

Данные для расчета принимаются из таблицы 9.5.

Таблица 9.5

| Наименование параметров | Обозначение | Бензиновые двигатели | Дизели | Источник |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|
| Высота выступа торца гильзы над опорной плоскостью, мм | Δt | $(0,05 \dots 0,15)$ | | 4, с.190 |
| Длина вставки гильзы, мм | $L_{\text{вг}}$ | $(0,25 \dots 0,30) \cdot L_{\text{г}}$, где $L_{\text{г}}$ – длина гильзы, мм | | 1 |
| Толщина стенки гильзы, мм: – «сухая» гильза – стальная «мокрая» гильза – чугунная «мокрая» гильза | $\delta_{\text{гил}}$ | 2,00...4,00 4,00...7,00 5,00...9,00 | | 4, с.188 |
| Высота верхнего опорного пояска гильзы, мм | B | $(0,07 \dots 0,1) \cdot D$ | | 1 |
| Зазор между блоком цилиндров и упорной поверхностью пояска гильзы, мм: – для «сухих» гильз – для «мокрых» гильз | Δ_{12} | 0,01...0,04 0,05...0,13 | | 3, с.313 |
| Ширина буртика гильзы, выступающего над опорной поверхностью, мм | $\delta_{\text{б}}$ | 2,00...5,00 | | 3, с.312 |
| Используемый материал | – | СЧ18; СЧ30; СЧ45; СЧ22; Сталь 38ХМЮА | | – |

9.5. Элементы водяного уплотнения гильзы

Расчетная схема уплотнения мокрой гильзы цилиндра представлена на рисунке 21. Данные для расчета принимаются из таблицы 9.6.

Таблица 9.6

| Наименование параметра | Обозначение | Двигатели с диаметром поршня | | Источник |
|----------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|-----------------|----------|
| | | $D < 130$ мм | $D > 130$ мм | |
| Диаметр резинового кольца, мм | d_p | 4,00 | 6,00 | 4, с.192 |
| Радиальная глубина канавки, мм | h_k | 3,40 | 5,20 | – |
| Ширина фаски на опорной плоскости картера под гильзу, мм | | 4,00 | 6,00 | – |
| Длина фаски опорной плоскости картера под гильзу, мм | ϵ | 8,00 | 12,00 | – |
| Ширина канавки в гильзе, мм | f_1 | 6,00 | 8,00 | – |
| Ширина бортика на гильзе, мм | f_2 | 2,00 | 3,00 | – |

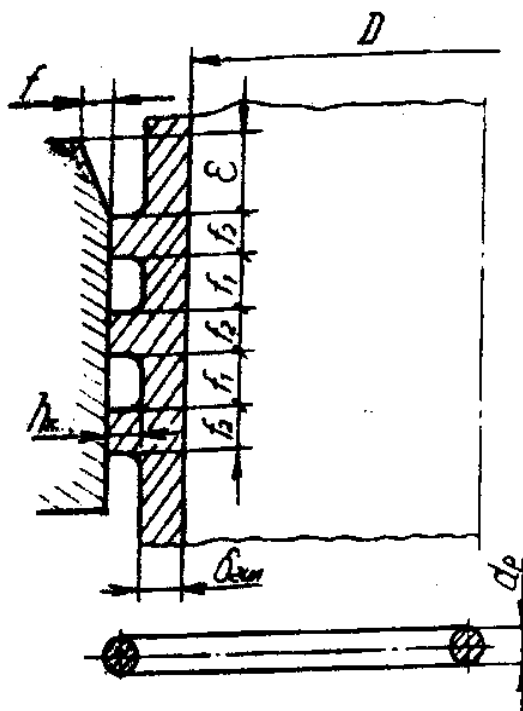


Рисунок 21 – Расчетная схема уплотнения мокрой гильзы цилиндра

9.6. Элементы воздушного охлаждения двигателя

Расчетная схема ребрения цилиндров двигателя воздушного охлаждения представлена на рисунке 22. Данные для расчета принимаются из таблицы 9.7.

Таблица 9.7

| Наименование параметра | Обозначение | Стакан цилиндра | | Головка цилиндра | | Источник |
|----------------------------------------|-------------|----------------------------------------|---------------|------------------|---------------|----------|
| | | чугун | алюмин. сплав | чугун | алюмин. сплав | |
| Высота ребра, мм | h_p | 14...30 | 15...35 | 15...50 | 15...75 | 6, с.97 |
| Шаг оребрения, мм | S_p | 6...12 | 3,5...8 | 6...12 | 3,5...8 | – |
| Средняя толщина ребра, мм | δ_p | 2...4 | 1,5...2,5 | 2...4 | 1,5...2,5 | – |
| Средняя ширина межреберного канала, мм | l_{mk} | 4...8 2...6 4...8 2...6 | | | | – |
| Длина оребрения, мм | l_{op}^* | $(0,45...0,55) \cdot L_{ц}^{**}$ | | | | |
| Толщина ребра у основания, мм | δ_3 | 2,00...6,00 | | | | 3, с.317 |
| Толщина ребра на конце, мм | δ_4 | 1,00...3,00 | | | | – |
| Используемые материалы | – | АЛ5; АЛ10; АЛ30; АК4; СЧ18; СЧ22; СЧ24 | | | | – |

Примечание: * оребрение цилиндра начинается непосредственно от головки блока.

** $L_{ц}$ – длина цилиндра, мм.

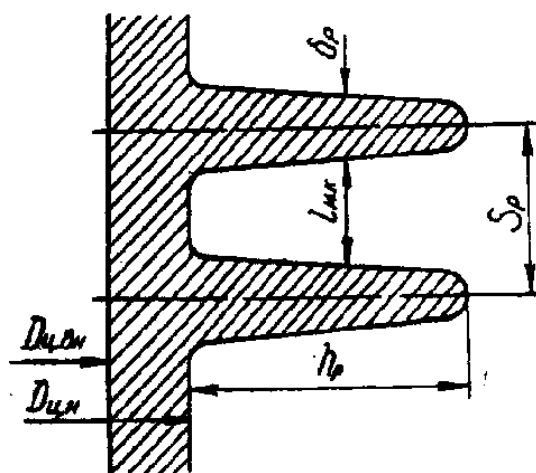


Рисунок 22 – Расчетная схема оребрения цилиндров двигателя воздушного охлаждения

9.7. Температурный режим элементов корпуса двигателя

9.7.1. Температура стенок цилиндра $t_{ц}, ^\circ\text{C}$

Жидкостное охлаждение 110-115 $^\circ\text{C}$.

Воздушное охлаждение 170-190 $^\circ\text{C}$.

9.7.2. Перепад температур между внутренней и наружной поверхностями

Гильзы цилиндра $\Delta T_r = 100-150$ °С.

9.7.3. Предельная температура цилиндра T_{\max}^c , °С

Чугун 220 °С.

9.7.4. Предельная температура головки цилиндра $T_{\max}^{гк}$, °С

Чугун 340-360 °С.

Алюминиевый сплав 240-260 °С.

СПИСОК РЕОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Электронный ресурс]. – М. : Высшая школа, 2008.

2. Двигатели внутреннего сгорания : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» направления подготовки дипломированных специалистов «Эксплуатация наземного транспорта транспортного оборудования» в 3-х кн. / под ред. В. Н. Луканина, М. Г. Шатрова. – 4-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2010.

3. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. Н. Д. Чайнов и др.; под ред. Н. Д. Чайнова. – М. : Машиностроение, 2011. – 496 с.

4. Теория рабочих процессов, кн. 1 / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров. – М., 2010. – 479 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

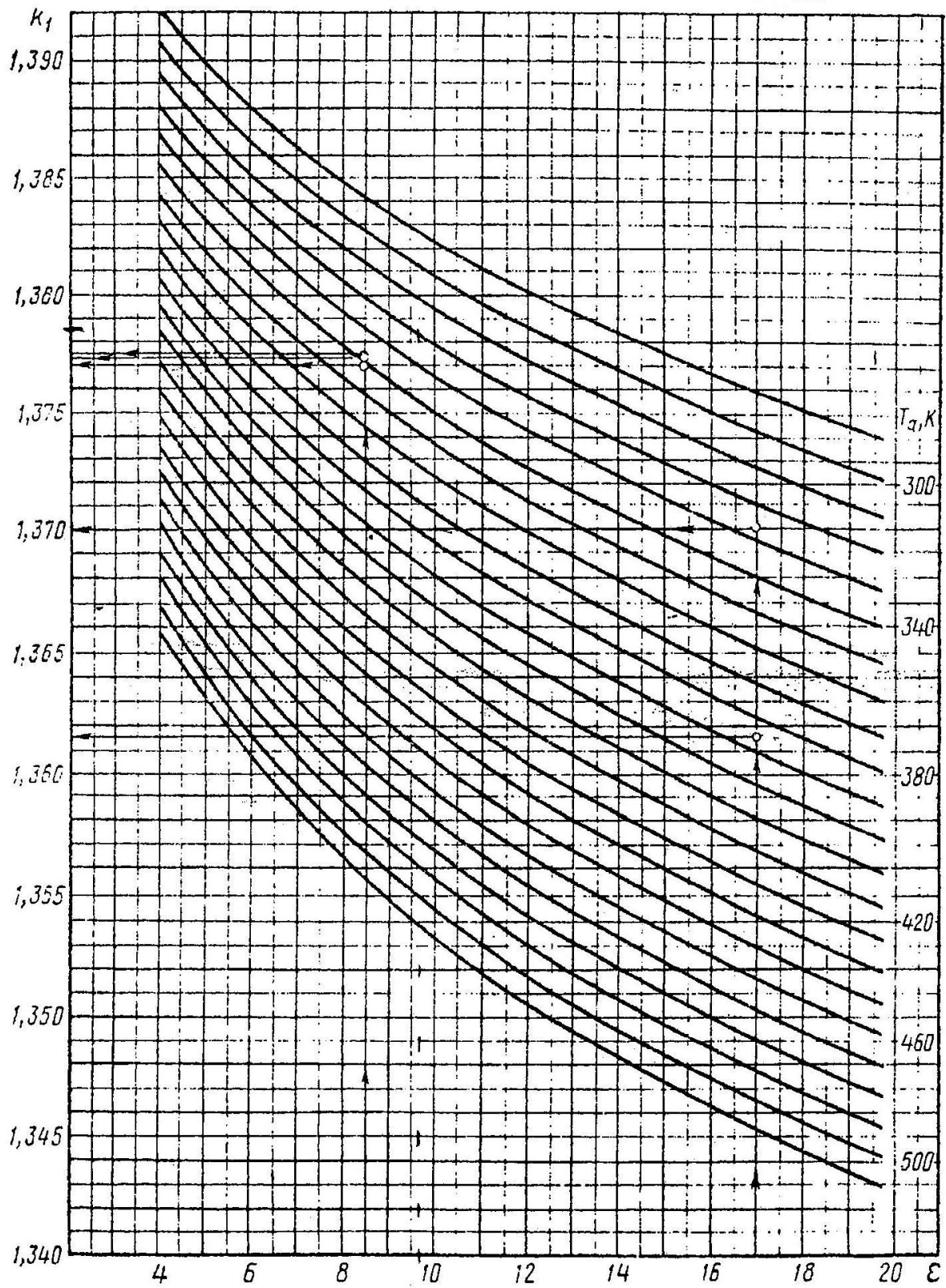


Рисунок 1 – Номограмма для определения показателя адиабаты сжатия k_1 .

Пример: $\epsilon = 8,5$; $T_a = 340$ К; $k_1 = 1,377$.

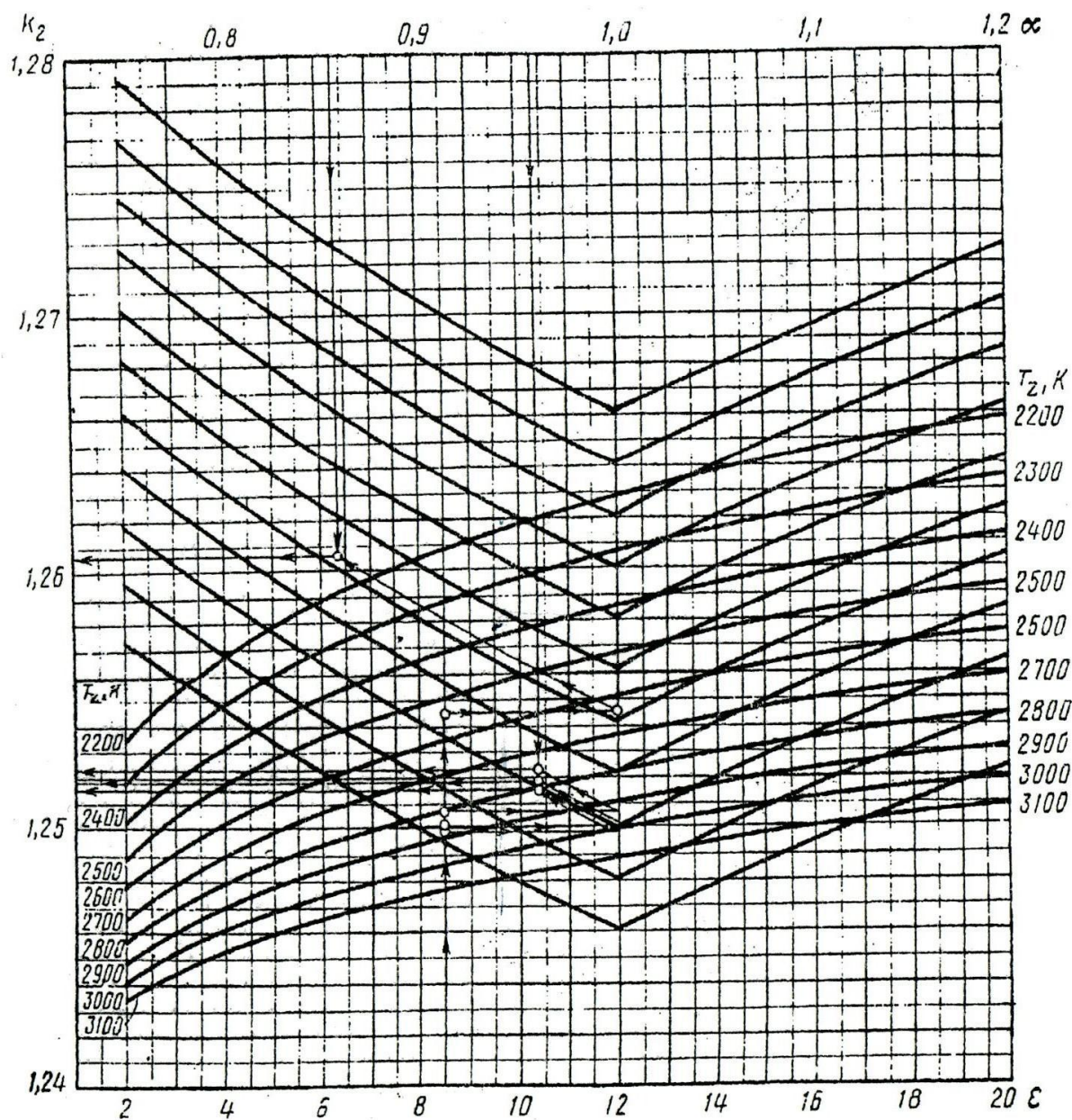
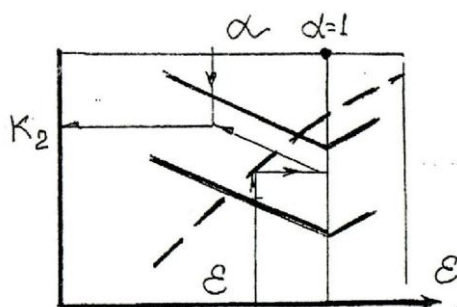


Рисунок 2 – Номограмма определения показателя адиабаты расширения k_2 для карбюраторного двигателя

Пример: для $\alpha = 0,96$; $\epsilon = 8,5$; $T_z = 2850$ К; $k_2 = 1,2516$



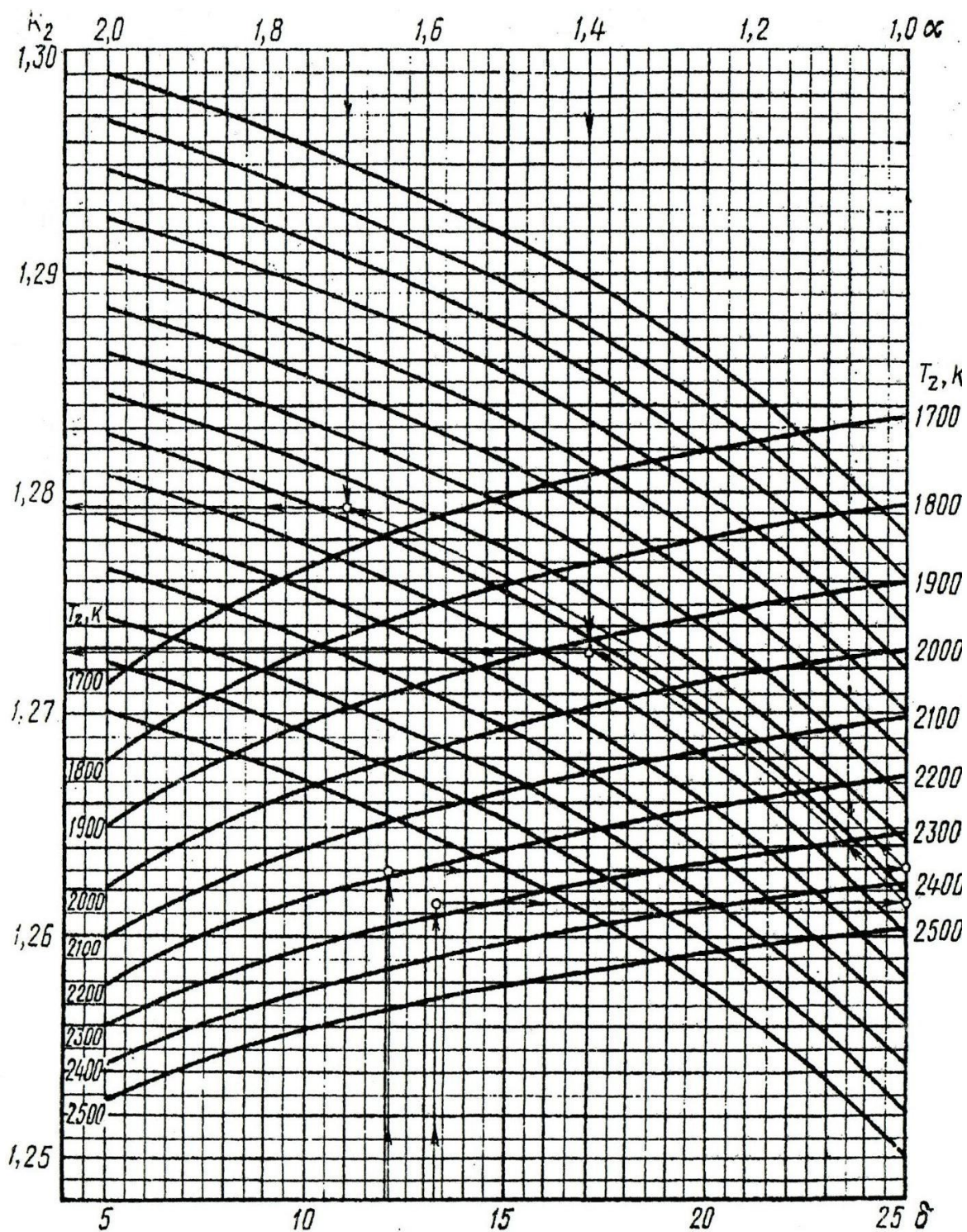


Рисунок 3. Номограмма определения показателя адиабаты расширения k_2 для дизельного двигателя

Пример: для $\delta = 13,28$; $\alpha = 1,4$; $T_z = 2280$ К; $k_2 = 1,2728$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1

| $t, ^\circ\text{C}$ | Средняя молярная теплоемкость отдельных газов при постоянном объеме, кДж/(кмоль·град) | | | | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|-----------------|------------------|
| | Воздух | O ₂ | N ₂ | H ₂ | CO | CO ₂ | H ₂ O |
| 0 | 20,759 | 20,960 | 20,705 | 20,303 | 20,809 | 27,546 | 25,185 |
| 100 | 20,839 | 21,224 | 20,734 | 20,621 | 20,864 | 29,799 | 25,428 |
| 200 | 20,985 | 21,617 | 20,801 | 20,759 | 20,989 | 31,764 | 25,804 |
| 300 | 21,207 | 22,086 | 20,973 | 20,809 | 21,203 | 33,442 | 26,261 |
| 400 | 12,475 | 22,564 | 21,186 | 20,872 | 21,475 | 34,936 | 26,776 |
| 500 | 21,781 | 23,020 | 21,450 | 20,935 | 21,785 | 36,259 | 27,316 |
| 600 | 22,091 | 23,447 | 21,731 | 21,002 | 22,112 | 37,440 | 27,881 |
| 700 | 22,409 | 23,837 | 22,028 | 21,094 | 22,438 | 38,499 | 28,476 |
| 800 | 22,714 | 24,188 | 22,321 | 21,203 | 22,756 | 39,450 | 29,079 |
| 900 | 23,008 | 24,511 | 22,610 | 21,333 | 23,062 | 40,304 | 29,694 |
| 1000 | 23,284 | 24,804 | 22,882 | 21,475 | 23,351 | 41,079 | 30,306 |
| 1100 | 23,548 | 25,072 | 23,142 | 21,630 | 23,623 | 41,786 | 30,913 |
| 1200 | 23,795 | 25,319 | 23,393 | 21,793 | 23,878 | 42,427 | 31,511 |
| 1300 | 24,029 | 25,549 | 23,627 | 21,973 | 24,113 | 43,009 | 32,093 |
| 1400 | 24,251 | 25,763 | 23,849 | 22,153 | 24,339 | 43,545 | 32,663 |
| 1500 | 24,460 | 25,968 | 24,059 | 22,333 | 24,544 | 44,035 | 33,211 |
| 1600 | 24,653 | 26,160 | 24,251 | 22,518 | 24,737 | 44,487 | 33,743 |
| 1700 | 24,837 | 26,345 | 24,425 | 22,698 | 24,917 | 44,906 | 34,262 |
| 1800 | 25,005 | 26,520 | 24,603 | 22,878 | 25,089 | 45,291 | 34,756 |
| 1900 | 25,168 | 26,692 | 24,766 | 23,058 | 25,248 | 45,647 | 35,225 |
| 2000 | 25,327 | 26,855 | 24,917 | 23,234 | 25,394 | 45,977 | 35,682 |
| 2100 | 25,474 | 27,015 | 25,063 | 23,410 | 25,537 | 46,283 | 36,121 |
| 2200 | 25,612 | 27,169 | 25,202 | 23,577 | 25,666 | 46,568 | 36,540 |
| 2300 | 25,746 | 27,320 | 25,327 | 23,744 | 25,792 | 46,832 | 36,942 |
| 2400 | 25,871 | 27,471 | 25,449 | 23,908 | 25,909 | 47,079 | 37,311 |
| 2500 | 25,990 | 27,613 | 25,562 | 24,071 | 26,022 | 47,305 | 37,704 |
| 2600 | 26,120 | 27,753 | 25,672 | 24,234 | 26,120 | 47,515 | 38,060 |

Таблица 2

| Температура T, °C | Средняя мольная теплоемкость продуктов сгорания бензина при α , кДж/(кмоль·град) | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 |
| 0 | 21,683 | 21,786 | 21,880 | 21,966 | 22,046 | 22,119 | 22,187 | 22,123 | 22,065 | 22,011 | 21,962 |
| 100 | 21,902 | 22,031 | 22,149 | 22,257 | 22,356 | 22,448 | 22,533 | 22,457 | 22,388 | 22,325 | 22,266 |
| 200 | 22,140 | 22,292 | 22,431 | 22,559 | 22,676 | 22,784 | 22,885 | 22,796 | 22,722 | 22,650 | 22,584 |
| 300 | 22,445 | 22,618 | 22,776 | 22,921 | 23,055 | 22,973 | 23,293 | 23,200 | 23,115 | 23,036 | 22,964 |
| 400 | 22,777 | 22,968 | 23,143 | 23,303 | 23,450 | 23,586 | 23,712 | 23,613 | 23,521 | 23,437 | 23,360 |
| 500 | 23,138 | 23,345 | 23,534 | 23,707 | 23,867 | 24,014 | 24,150 | 24,045 | 23,948 | 23,859 | 23,777 |
| 600 | 23,507 | 23,627 | 23,929 | 24,113 | 24,284 | 24,440 | 24,586 | 24,475 | 24,373 | 24,280 | 24,193 |
| 700 | 23,882 | 24,115 | 24,328 | 24,523 | 24,702 | 24,868 | 25,021 | 24,095 | 24,798 | 24,700 | 24,610 |
| 800 | 24,249 | 24,493 | 24,715 | 24,919 | 25,107 | 25,280 | 25,441 | 25,319 | 25,208 | 25,106 | 25,012 |
| 900 | 24,608 | 24,861 | 25,092 | 25,304 | 25,500 | 25,680 | 25,847 | 25,720 | 25,604 | 25,498 | 25,400 |
| 1000 | 24,949 | 25,211 | 25,449 | 25,668 | 25,870 | 26,056 | 26,229 | 26,098 | 25,977 | 25,867 | 25,766 |
| 1100 | 25,276 | 25,545 | 25,791 | 26,016 | 26,224 | 26,415 | 26,593 | 26,457 | 26,333 | 26,219 | 26,114 |
| 1200 | 25,590 | 25,866 | 26,118 | 26,349 | 26,562 | 26,758 | 26,940 | 26,800 | 26,672 | 26,554 | 26,446 |
| 1300 | 25,887 | 26,168 | 26,426 | 26,662 | 26,879 | 27,080 | 27,265 | 27,121 | 26,989 | 26,868 | 26,757 |
| 1400 | 26,099 | 26,456 | 26,719 | 26,959 | 27,180 | 27,385 | 27,574 | 27,426 | 27,291 | 27,166 | 27,051 |
| 1500 | 26,436 | 26,728 | 26,995 | 27,240 | 27,465 | 27,673 | 27,866 | 27,714 | 27,575 | 27,447 | 27,330 |
| 1600 | 26,685 | 26,982 | 27,253 | 27,501 | 27,729 | 27,941 | 28,136 | 27,981 | 27,836 | 27,708 | 27,588 |
| 1700 | 26,924 | 27,225 | 27,499 | 27,751 | 27,983 | 28,197 | 28,395 | 28,236 | 28,091 | 27,958 | 27,838 |
| 1800 | 27,147 | 27,451 | 27,728 | 27,983 | 28,218 | 28,434 | 28,634 | 28,473 | 28,324 | 28,188 | 28,063 |
| 1900 | 27,359 | 27,667 | 27,948 | 28,205 | 28,442 | 28,661 | 28,863 | 28,698 | 28,548 | 28,409 | 28,282 |
| 2000 | 27,559 | 27,870 | 28,153 | 28,413 | 28,652 | 28,873 | 29,078 | 28,910 | 28,757 | 28,616 | 28,487 |
| 2100 | 27,752 | 28,065 | 28,351 | 28,613 | 28,854 | 29,077 | 29,283 | 29,113 | 28,958 | 28,815 | 28,684 |
| 2200 | 27,935 | 28,251 | 28,539 | 28,803 | 29,046 | 29,270 | 29,478 | 29,306 | 29,148 | 29,004 | 28,870 |
| 2300 | 28,104 | 28,422 | 28,712 | 28,978 | 29,223 | 29,449 | 29,658 | 29,484 | 29,324 | 29,177 | 29,042 |
| 2400 | 28,268 | 28,588 | 28,879 | 29,147 | 29,394 | 29,621 | 29,832 | 29,655 | 29,494 | 29,345 | 29,209 |
| 2500 | 28,422 | 28,744 | 29,037 | 29,305 | 29,553 | 29,782 | 29,993 | 29,815 | 29,652 | 29,502 | 29,364 |
| 2600 | 28,570 | 28,892 | 29,187 | 29,458 | 29,706 | 29,936 | 30,149 | 29,969 | 29,804 | 29,653 | 29,513 |

Таблица 3

| Температура Т, °С. | Средняя мольная теплоемкость продуктов сгорания дизельного топлива при α , кДж/(кмоль·град) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 |
| 0 | 22,184 | 22,061 | 21,958 | 21,870 | 21,794 | 21,728 | 21,670 | 21,572 | 21,493 | 21,428 | 21,374 | 21,328 |
| 100 | 22,545 | 22,398 | 22,275 | 22,169 | 22,078 | 21,999 | 21,929 | 21,812 | 21,717 | 21,640 | 21,574 | 21,519 |
| 200 | 22,908 | 22,742 | 22,602 | 22,482 | 22,379 | 22,289 | 22,210 | 22,077 | 21,970 | 21,882 | 21,808 | 21,745 |
| 300 | 23,324 | 23,142 | 22,989 | 22,858 | 22,745 | 22,647 | 22,560 | 22,415 | 22,300 | 22,202 | 22,121 | 22,052 |
| 400 | 23,750 | 23,554 | 23,390 | 23,249 | 23,128 | 23,022 | 22,930 | 22,774 | 22,648 | 22,544 | 22,457 | 22,384 |
| 500 | 24,162 | 23,985 | 23,811 | 23,662 | 23,583 | 23,421 | 23,322 | 23,157 | 23,023 | 22,914 | 22,822 | 22,743 |
| 600 | 24,631 | 24,413 | 24,229 | 24,073 | 23,937 | 23,819 | 23,716 | 23,541 | 23,401 | 23,285 | 23,188 | 23,106 |
| 700 | 25,069 | 24,840 | 24,648 | 24,484 | 24,342 | 24,218 | 24,109 | 23,927 | 23,780 | 23,659 | 23,557 | 23,471 |
| 800 | 25,490 | 25,251 | 25,050 | 24,879 | 24,731 | 24,602 | 24,488 | 24,298 | 24,144 | 24,018 | 23,912 | 23,822 |
| 900 | 25,896 | 25,648 | 25,439 | 25,261 | 25,107 | 24,973 | 24,855 | 24,657 | 24,487 | 24,366 | 24,256 | 24,162 |
| 1000 | 26,278 | 26,021 | 25,804 | 25,620 | 25,460 | 25,321 | 25,199 | 24,993 | 24,828 | 24,692 | 24,578 | 24,481 |
| 1100 | 26,641 | 26,375 | 26,151 | 25,960 | 25,795 | 25,652 | 25,525 | 25,313 | 25,142 | 25,001 | 24,883 | 24,783 |
| 1200 | 26,987 | 26,713 | 26,482 | 26,286 | 26,116 | 25,967 | 25,837 | 25,618 | 25,442 | 25,296 | 25,175 | 25,071 |
| 1300 | 27,311 | 27,029 | 26,792 | 26,589 | 26,415 | 26,262 | 26,128 | 25,903 | 25,722 | 25,572 | 25,447 | 25,341 |
| 1400 | 27,618 | 27,328 | 27,085 | 26,877 | 26,698 | 26,541 | 26,404 | 26,173 | 25,986 | 25,833 | 25,705 | 25,596 |
| 1500 | 27,907 | 27,610 | 27,361 | 27,148 | 26,965 | 26,805 | 26,664 | 26,427 | 26,237 | 26,080 | 25,948 | 25,836 |
| 1600 | 28,175 | 27,873 | 27,618 | 27,400 | 27,212 | 27,049 | 26,905 | 26,663 | 26,468 | 26,308 | 26,173 | 26,059 |
| 1700 | 28,432 | 28,123 | 27,863 | 27,641 | 27,449 | 27,282 | 27,135 | 26,888 | 26,690 | 26,526 | 26,389 | 26,272 |
| 1800 | 28,669 | 28,354 | 28,089 | 27,863 | 27,668 | 27,497 | 27,348 | 27,096 | 26,894 | 26,727 | 26,587 | 26,469 |
| 1900 | 28,895 | 28,575 | 28,305 | 28,076 | 27,877 | 27,704 | 27,552 | 27,296 | 27,090 | 26,921 | 26,781 | 26,658 |
| 2000 | 29,107 | 28,782 | 28,508 | 28,275 | 28,073 | 27,898 | 27,743 | 27,483 | 27,274 | 27,102 | 26,958 | 26,835 |
| 2100 | 29,310 | 28,980 | 28,703 | 28,466 | 28,262 | 28,083 | 27,926 | 27,663 | 27,451 | 27,276 | 27,130 | 27,005 |
| 2200 | 29,503 | 29,169 | 28,888 | 28,648 | 28,441 | 28,260 | 28,101 | 27,834 | 27,619 | 27,442 | 27,294 | 27,168 |
| 2300 | 29,680 | 29,342 | 29,057 | 28,815 | 28,605 | 28,422 | 28,261 | 27,991 | 27,774 | 27,595 | 27,444 | 27,317 |
| 2400 | 29,851 | 29,510 | 29,222 | 28,976 | 28,764 | 28,580 | 28,417 | 28,144 | 27,924 | 27,743 | 27,591 | 27,462 |
| 2500 | 30,011 | 29,666 | 29,375 | 29,127 | 28,913 | 28,726 | 28,562 | 28,286 | 28,064 | 27,881 | 27,728 | 27,598 |
| 2600 | 30,164 | 29,816 | 29,523 | 29,272 | 29,056 | 28,868 | 28,702 | 28,424 | 28,199 | 28,015 | 27,860 | 27,729 |

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 1

Характеристики материалов

| Материал | Коэффициент линейного расширения α , 1/град | Модуль упругости E , МПа | Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{теп}}$, Вт/(м·К) |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Сталь | $11,5 \cdot 10^{-6}$ | $2,1 \cdot 10^5$ | 52 |
| Серый чугун | $11 \cdot 10^{-6}$ | $1,0 \cdot 10^5$ | 58 |
| Легированный чугун | | $(1,0 \dots 1,2) \cdot 10^5$ | 56 |
| Алюминиевый сплав | $22 \cdot 10^{-6}$ | $0,7 \cdot 10^5$ | 230 |
| Бронза | $16,5 \cdot 10^{-6}$ | $1,15 \cdot 10^5$ | 105 |

Таблица 2

Механические свойства материала Сталь 45

| σ_B , МПа | σ_{-1} , МПа | σ_{-1p} , МПа | σ_m , МПа |
|------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| 800 | 350 | 210 | 420 |

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра эксплуатации автомобилей

СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ

Методические указания для лабораторных работ
для студентов направления 23.03.01 (190600.62) «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов»

Составители **Д. В. Цыганков**
А. С. Березин

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 9 от 25.05.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 23.03.01 (190600.62)
Протокол № 9 от 25.05.2015
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2015

Содержание

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение | 2 |
| Лабораторная работа 1. Методы и средства испытания автомобильных двигателей | 2 |
| Лабораторная работа 2. Индицирование двигателей внутреннего сгорания | 29 |
| Лабораторная работа 3. Характеристика холостого хода | 42 |
| Лабораторная работа 4. Скоростная характеристика бензинового двигателя | 47 |
| Лабораторная работа 5. Нагрузочная характеристика бензинового двигателя | 57 |
| Лабораторная работа 6. Нагрузочная характеристика дизеля | 64 |
| Лабораторная работа 7. Внешняя скоростная характеристика дизеля с регуляторной ветвью | 72 |
| Лабораторная работа 8. Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по углу опережения зажигания | 86 |
| Лабораторная работа 9. Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по составу смеси | 95 |
| Лабораторная работа 10. Механические потери двигателя | 104 |
| Лабораторная работа 11. Внешний тепловой баланс | 115 |

Введение

Данные методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Силовые агрегаты» для студентов направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», образовательная программа «Автомобили и автомобильное хозяйство», а также могут быть использованы при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Транспортная энергетика» для студентов направления «Технологии транспортных процессов», образовательные программы «Организация перевозок на автомобильном транспорте» и «Организация и безопасность движения», по циклу изучения эксплуатационных характеристик двигателей.

Лабораторная работа 1

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы – изучение оборудования, применяемого при испытании двигателей, и приобретение практических навыков по организации и проведению испытаний.

В этой работе студенты изучают методы и средства испытания двигателей, описанные в настоящем пособии, знакомятся с приборами и устройствами, которыми оснащена лаборатория автомобильных двигателей, осуществляют запуск двигателя на стенде, устанавливают режим работы по указанию преподавателя и определяют основные показатели рабочего процесса двигателя: эффективную мощность, эффективный крутящий момент, часовой расход топлива и др.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Назначение и виды испытаний автомобильных двигателей

Испытания двигателя проводят для определения его мощностных, экономических, санитарно-гигиенических и других показателей. Необходимость проведения испытаний двигателя возникает на заключительном этапе создания нового двигателя, при определении соответствия двигателя требованиям стандартов, при проведении исследовательских работ и др. На рис. 1 приведены виды испытаний двигателей.



Рисунок 1 – Виды испытания ДВС

Исследовательские испытания.

Эти испытания проводят с целью совершенствования существующих двигателей за счет применения в двигателе новых узлов, новых материалов, новых способов организации рабочего процесса и др.

Исследовательские испытания проводят в лабораториях предприятий изготовителей, в научно-исследовательских институтах, а также в высших учебных заведениях.

Доводочные испытания.

Эти испытания проводят с целью уточнения параметров систем проектируемого двигателя, полученных расчетным путем. При доводочных испытаниях выявляются возможные отклонения характеристик двигателя от характеристик, установленных техническим заданием, и определяются способы устранения этого несоответствия.

Приемочные испытания.

Эти испытания проводят после завершения всех доводочных работ на заключительной стадии создания нового двигателя. По результатам этих испытаний приемочная комиссия решает вопрос о возможности постановки двигателя на производство.

Контрольные испытания.

Эти испытания проводят для определения фактических показателей серийных двигателей и сравнения их с показателями технической документации. Испытания проводит отдел технического контроля предприятия-изготовителя. Периодичность испытаний, их условия и методы, количество двигателей, подвергаемых испытаниям, оговорены в технической документации предприятия-изготовителя.

Эксплуатационные испытания.

Эти испытания проводят с целью определения износа деталей двигателя и выявления его долговечности в различных климатических и дорожных условиях. При испытаниях уточняют регулировки двигателя, нормы расхода горюче-смазочных материалов и запасных частей для конкретных условий эксплуатации. Диагностирование ДВС при эксплуатационных испытаниях может быть общее и поэлементное.

Испытания после капитального ремонта.

Испытания проводятся с целью оценки качества выполняемого капитального ремонта. Процесс испытания совмещается с обкаткой двигателя, которая проводится с целью обеспечения первичной приработки сопряжений двигателя. Процесс обкатки проходит в два этапа: холодная приработка и горячая. Холодная осуществляется без запуска двигателя при принудительной прокрутке коленчатого вала от постороннего источника энергии. Горячая приработка происходит при работе запущенного двигателя.

Продолжительность приработки карбюраторных двигателей ЗМЗ и ЗИЛ-130 составляет обычно 2 ч, из них на холодную приработку расходуется 25 мин, на горячую без нагрузки – 10–15 мин, остальное – на горячую с постепенным нагружением. Холодная приработка ведется при 500-700 об/мин, горячая без нагрузки при 1000 об/мин и горячая с нагрузкой от 1200 до 2400 об/мин при начальной мощности 20 л. с. и конечной 71 л. с. (двигатель ЗМЗ) и 90 л. с. для ЗИЛ-130 (по данным Е. М. Мухина и И. И. Столярова).

В процессе горячей приработки проверяется работа клапанного механизма, зажигания, масляного и водяного насосов, наличие стуков и шумов, плотность соединений и др., контролируется температура масла, входящей и выходящей воды. Температура масла у испытуемого двигателя не должна превышать 85 °С а температура входящей воды должна находиться в пределах 70–80 °С.

Для испытания двигателя под нагрузкой применяют различные стенды. При таких испытаниях развиваемый двигателем крутящий момент уравнивается моментом тормоза. Мощность двигателя N_e (л. с.) рассчитывается по формуле

$$N_e = \frac{M n}{716,2} = \frac{P l n}{716,2}, \quad (1)$$

где M – вращающий момент двигателя, уравниваемый моментом тормоза, n – частота вращения коленчатого вала, об/мин; P – показание весового механизма тормоза (отсчитывается по шкале), кг; l – длина рычага, м.

2.2. Режимы и условия испытаний

При испытаниях двигатель должен иметь соответствующую комплектность. В зависимости от наличия различных приборов и устройств, установленных на двигателе, меняется мощность двигателя, его экономичность, токсичность отработавших газов и другие показатели.

Условия испытаний двигателей устанавливаются стандартами, техническими правилами или другими нормативными документами [1].

Оценка показателей двигателя в одинаковых условиях позволяет сравнивать результаты испытаний одного двигателя, проведенных в разных местах, или результаты испытаний различных двигателей. Так, например, можно сделать вывод о том, что мощностные показатели двигателей, определенных на разных стадиях его пробега, зависят от износа деталей, нагарообразования и т. п.

Стандарты на методы испытаний, принятые в различных странах, отличаются один от другого по объему испытаний, по комплектности испытываемого двигателя, по рекомендуемой измерительной аппаратуре. Это приводит к тому, что для одного и того же двигателя могут быть получены различные показатели в зависимости от стандартов, в соответствии с которыми он испытывается.

В России мощностные и экономические показатели двигателей регламентированы ГОСТ 14846-69 [1]. Они отличаются от показателей, получаемых при испытаниях по стандарту DIN [2], незначительно.

В настоящее время Международной организацией по стандартам разработаны единые правила испытаний автомобильных двигателей (R-1585) [1], рекомендованные для всех стран.

Достоверность результатов испытаний во многом зависит от измерительной аппаратуры. Основными критериями при выборе средств измерения обычно служат точность и быстродействие.

В соответствии с требованиями отечественного стандарта при испытаниях должна быть обеспечена следующая точность измерений:

– крутящегося момента, скорости вращения
коленчатого вала, расхода топлива 0,5 %

| | |
|------------------------------------------------------|--------------|
| – температуры окружающей среды | $\pm 0,5$ °С |
| – атмосферного давления | 1 мм рт. ст. |
| – относительной влажности воздуха | ± 2 % |
| – расхода воздуха | 2 % |
| – расхода картерных газов | ± 3 % |
| – температуры охлаждающей жидкости и масла в картере | ± 1 °С |
| – температуры отработавших газов | ± 3 % |

При соблюдении этих требований точность определения эффективной мощности составляет ± 2 %, удельный эффективный расход топлива ± 3 %.

2.3. Определение мощности двигателя

Большинство величин, измеряемых в процессе испытаний, связано с определением эффективной мощности двигателя. Эффективную мощность двигателя N_e (л. с.), т. е. мощность, снимаемую с вала двигателя и поглощаемую тем или иным внешним сопротивлением, определяют путем измерения крутящего момента M , развиваемого двигателем при данной скорости вращения коленчатого вала n (об/мин). При измерении мощности, момента и скорости в единицах одной системы связь между названными величинами отражается формулой

$$N_e = M n. \quad (2)$$

Мощность автомобильных двигателей измеряют в лошадиных силах, 1 л. с. = 0,7355 кВт, крутящий момент – в килограммах на метр, скорость вращения коленчатого вала – обороты в минуту, поэтому в формулу (1) вводят переводной коэффициент:

$$N_e = \frac{M n}{716,2}. \quad (3)$$

Тормозное устройство выполняют таким образом, чтобы можно было определить крутящий момент двигателя. Причем с целью облегчения расчетов тормозное устройство снабжают прибором, который показывает величину силы P , кг, уравновешивающей крутящий момент двигателя на плече 0,7162 м. Таким образом,

$$M = 0,7126 P, \quad (4)$$

$$N_e = \frac{Pn}{1000}. \quad (5)$$

Двигатель с тормозным устройством устанавливается на массивном железобетонном фундаменте. Обычно поверх фундамента укладывается и крепится анкерными болтами подмоторная чугунная плита, на которой устанавливаются или подмоторные стойки, или подмоторная рама. С целью предохранения здания от вибраций, возникающих при работе двигателя, фундамент стенда отделяется от фундамента здания. Пол помещения и фундамент стенда также не связываются. Обычно вокруг фундамента делаются неширокие траншеи, в которых укладываются топливная и водяная магистрали, а также выпускная труба.

По принципу создания тормозного момента различают:

- механические тормоза;
- гидравлические тормоза;
- электрические тормоза.

Механические тормоза наиболее просты по конструкции. Действие их основано на поглощении развиваемой двигателем мощности работой сил трения тормоза, переходящей в теплоту (рис. 2).

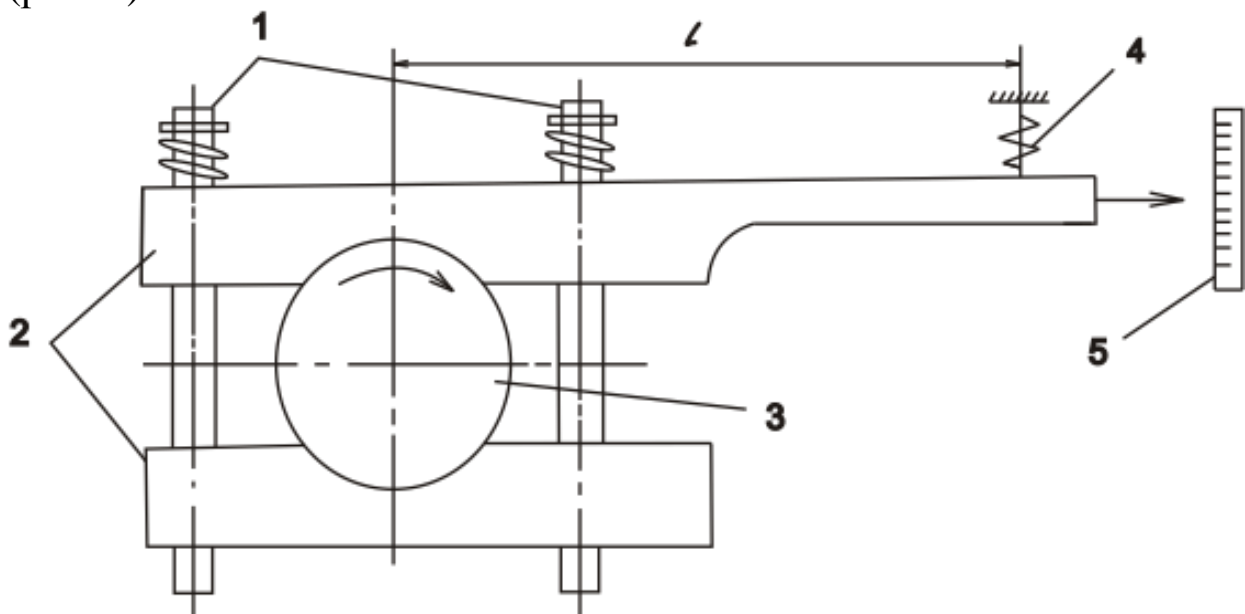


Рисунок 2 – Схема механического тормоза:

1 – стяжные болты; 2 – колодки; 3 – шкив; 4 – весы;
5 – шкала

При затягивании гаек стяжных болтов 1 колодок 2 между колодками и ободом шкива 3 возникает сила трения, которая стремится повернуть колодки в направлении вращения шкива. Действие этой силы трения передается через рычаг верхней колодки на весы 4. Механические тормоза обладают малой энергоемкостью, имеют нестабильные характеристики и поэтому практически не применяются.

Гидравлические тормоза получили наибольшее распространение в практике стендовых испытаний вследствие относительной простоты конструкции и большой энергоемкости. Современные гидротормоза могут поглощать мощность до 60000 л. с. Они используются в тех случаях, когда не требуется принудительного проворачивания коленчатого вала двигателя. Мощность двигателя, поглощаемая гидравлическим тормозом, затрачивается на совершение гидродинамической работы и на трение ротора тормоза о жидкость.

Наибольшее распространение получили гидравлические тормоза лопастного и штифтового типов. Лопастной тормоз (рисунок 3) состоит из статора 2, ротора 3, вал которого вращается в подшипниках 4 и через фланец 10 и карданный вал соединен с коленчатым валом испытуемого двигателя.

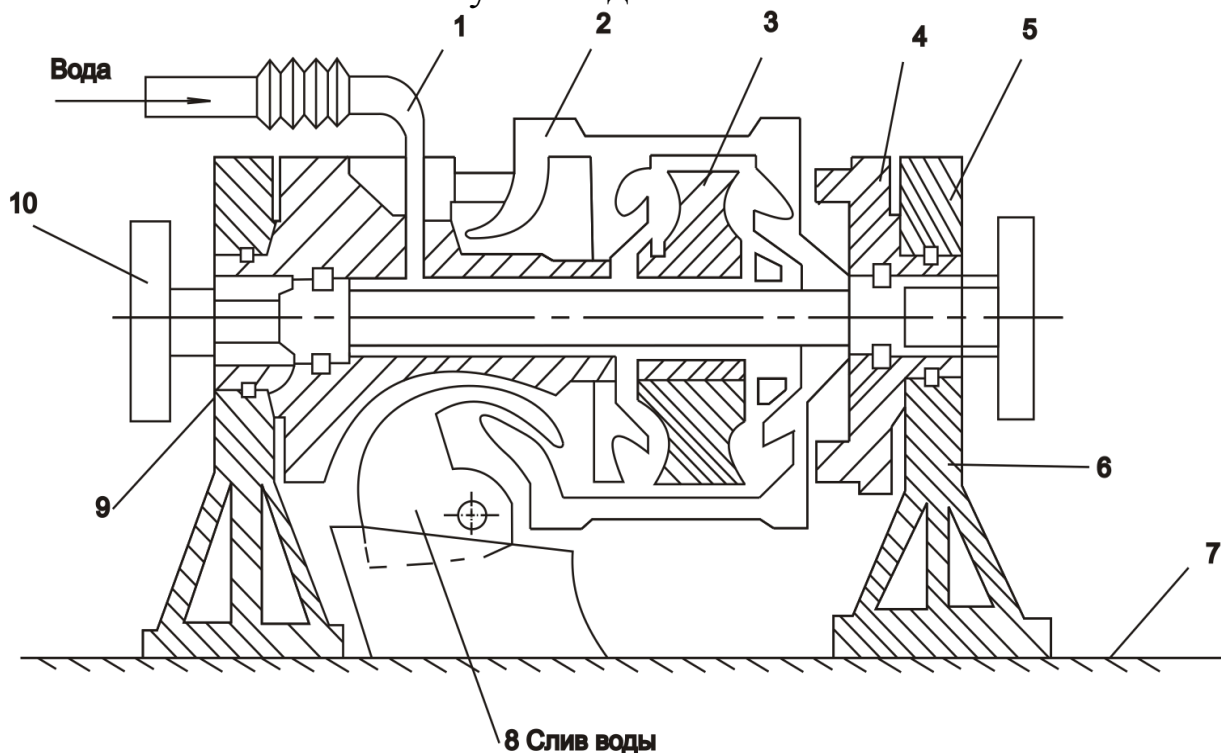


Рисунок 3 – Схема гидравлического тормоза лопастного типа

В статоре и роторе тормоза имеются карманы полуэллиптического сечения со специальными лопатками. Конструкция лопастного тормоза аналогична конструкции гидромукфты. Во время работы тормоза вся его внутренняя полость заполняется водой. Вода увлекается ротором и отбрасывается к периферии на внутренние стенки статора, скорость уменьшается, и вода вновь стекает к валу 9 тормоза – устанавливается циркуляция воды. Во внутреннее пространство тормоза вода поступает из водопровода 1 через отверстия, расположенные у вала ротора. Сливается вода через вентиль 8. Расход воды устанавливают таким, чтобы температура сливаемой воды была в пределах 50–75 °С. Интенсивность торможения изменяют при помощи заслонок, устанавливаемых в зазор между статором и ротором.

Для того чтобы измерить момент, развиваемый двигателем, статор 3 устанавливают в стойках 6 не жестко, а на подшипниках 5, и он может поворачиваться (качаться) относительно оси ротора. Такая подвеска тормоза называется балансирной. Стойки 6 закреплены на плите основания 7 тормоза. Корпус статора соединен рычажным устройством с динамометром. При возникновении момента, который стремится повернуть статор, усилие передается через динамометр на рычаг.

Основными узлами штифтового тормоза (рис. 4) являются статор 2, имеющий балансирную подвеску относительно фундаментной плиты 1, и ротор 5, вращающийся в подшипниках 6 статора. На роторе установлено три ряда штифтов 3 квадратного сечения, два ряда таких же штифтов 4 установлены на внутренней поверхности статора. Во время работы внутреннее пространство тормоза заполняется водой. При вращении ротора вода его штифтами отбрасывается на штифты статора, где она тормозится, поглощая подводимую мощность, и нагревается.

Мощность, поглощаемая тормозом, регулируется путем изменения степени заполнения водой рабочей камеры, т. е. изменением внутреннего кольцевого слоя воды.

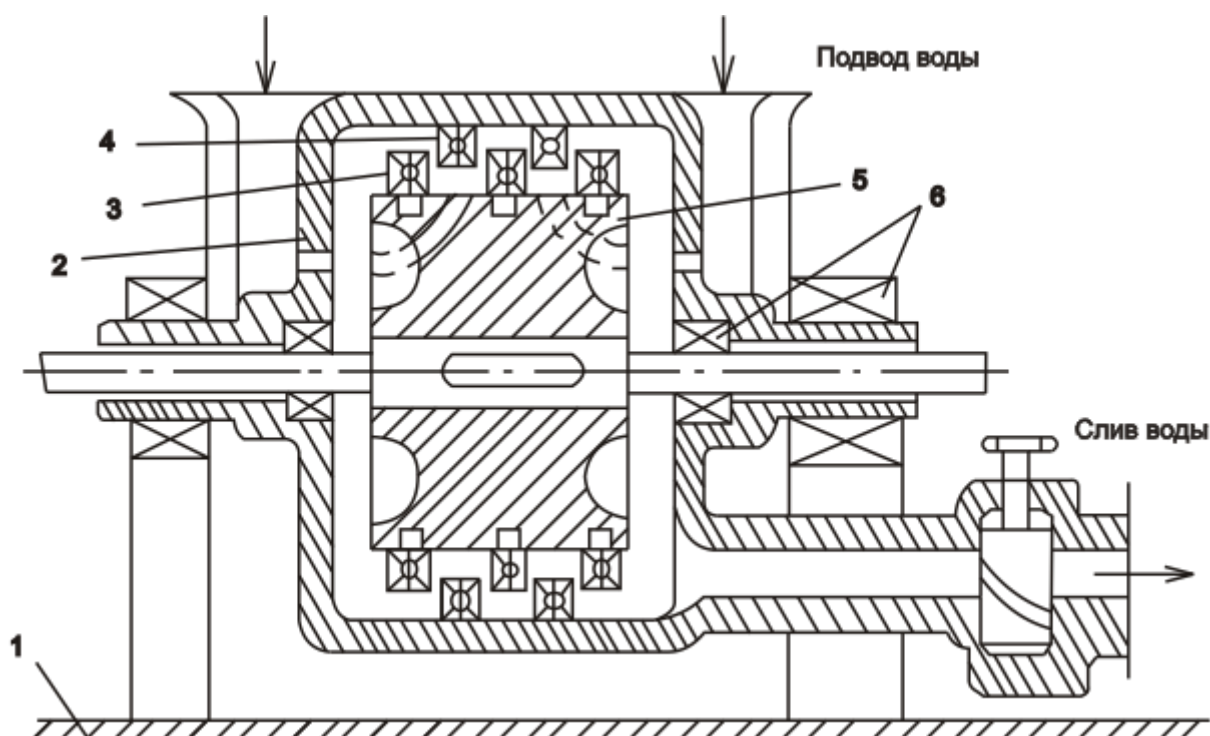


Рисунок 4 – Схема гидравлического тормоза штифтового типа:

1 – фундаментальная плита; 2 – статор; 3 – штифты ротора; 4 – штифты статора; 5 – ротор; 6 – подшипники

Электротормоза подразделяются на тормоза постоянного тока, переменного тока и индукторные тормоза. Электрические тормоза постоянного и переменного тока по сравнению с тормозами других типов имеют два существенных преимущества: во-первых, вследствие обратимости электрических машин они могут быть использованы в качестве источника энергии для пуска испытываемого двигателя, что позволяет производить холодную обкатку двигателей и приближенно определять их механические потери, а во-вторых, при работе этих установок в тормозных режимах можно использовать вырабатываемую ими электроэнергию.

В принципе тормозная мощность электротормоза может быть замерена по показаниям амперметра и вольтметра, включенных в цепь нагрузки, что позволило бы использовать в качестве тормоза любой электрический генератор. Однако этот способ не обеспечивает требуемой точности измерений из-за трудности определения электрического коэффициента полезного действия генерато-

ра, который является переменной величиной, поэтому тормозную мощность обычно определяют по величине реактивного момента с помощью балансирующей подвески статора и весового устройства.

При испытании автомобильных двигателей широко применяются электротормоза постоянного тока, обычно называемые балансируемыми динамомашинами. Тормоза этого типа регулируются током возбуждения. Электрическая энергия, вырабатываемая тормозом, поглощается в реостатах или передается в сеть.

Область применения тормозов постоянного тока ограничивается невысокой частотой вращения якоря и мощностью. Поэтому для испытания быстроходных двигателей большой мощности и особо быстроходных двигателей (например, гоночных) применяют электротормоза переменного тока.

На рисунке 5 показана схема балансирующей динамомшины. Статор такой электромашины подвешивается на подшипниках в стойках аналогично подвеске статора гидравлического тормоза.

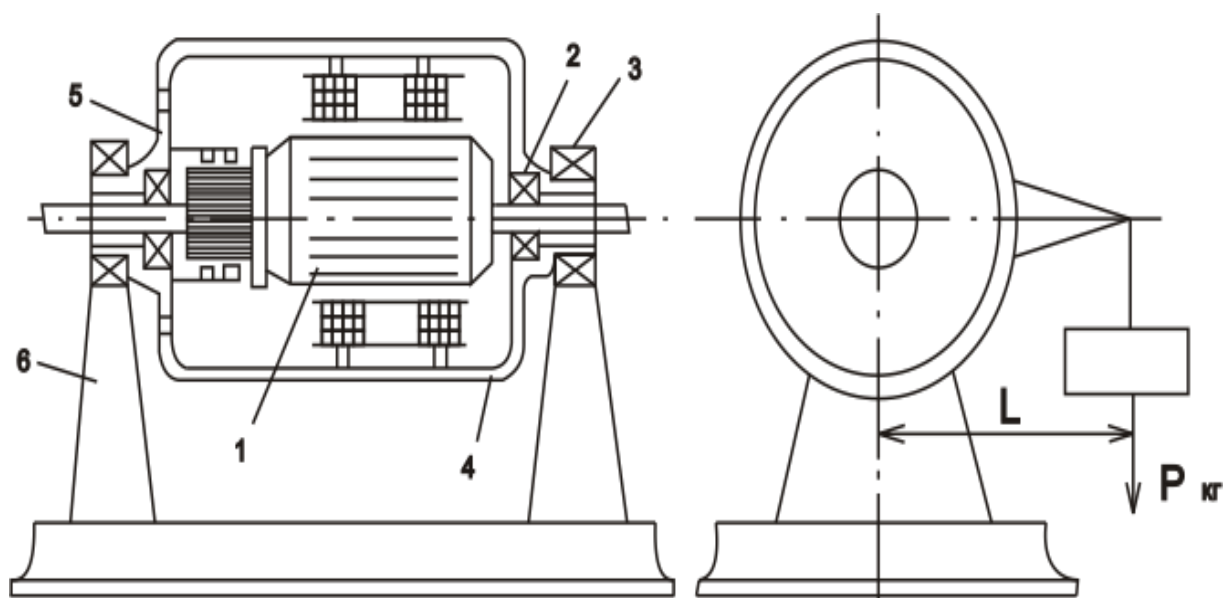


Рисунок 5 – Схема балансирующей электромшины и рычажно-го устройства тормоза:

1 – якорь; 2 – подшипник; 3 – подшипник стойки; 4 – статор; 5 – крышка статора; 6 – стойка; 7 – плита

Существует два типа тормозов переменного тока:
– тормоза с электромашинами преобразователями;

– тормоза на базе асинхронных двигателей с фазным ротором.

Первые предназначены для исследовательских целей, но не получили большого распространения ввиду малого пускового момента при работе тормоза в режиме работы двигателя. Вторые, отличаясь простотой устройства и малыми габаритами, имеют ограниченный диапазон регулирования числа оборотов и применяются в основном на серийных испытательных станциях и ремонтных предприятиях.

Электротормоз на базе асинхронной электромашины может работать в двух режимах: двигательном и генераторном. В генераторном режиме электромашинка начинает работать автоматически, как только ее ротору сообщается скорость вращения выше синхронной.

Все больше начинают распространяться индукторные тормоза, характеризующиеся высокой надежностью, большой энергоемкостью, меньшей стоимостью изготовления. Схема индукторного тормоза приведена на рис. 6.

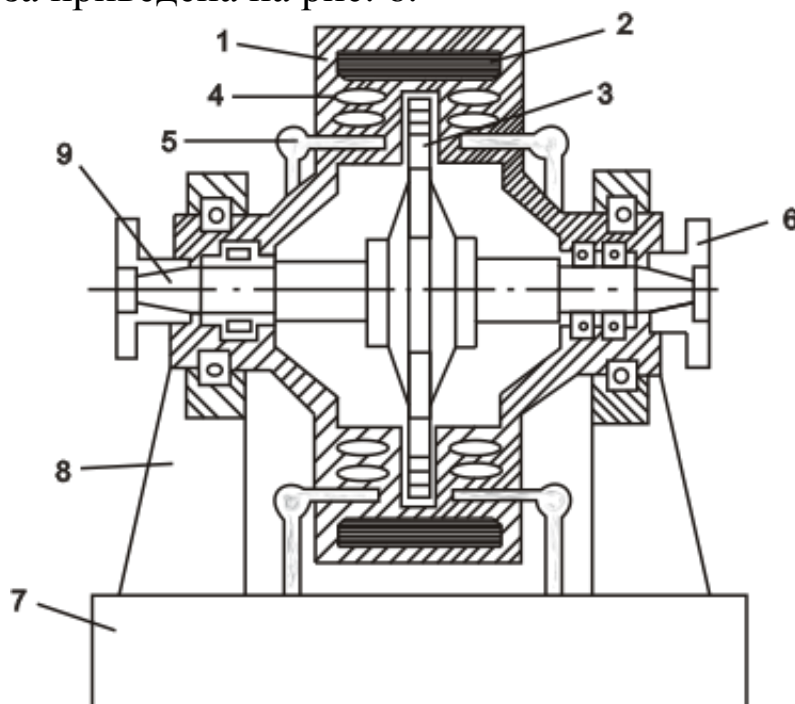


Рисунок 6 – Схема индукторного тормоза:

1 – статор; 2 – катушка возбуждения; 3 – ротор; 4 – система охлаждения; 5 – трубопровод; 6 – фланец; 7 – основание; 8 – стойка; 9 – вал ротора

В статор 1 вмонтирована катушка возбуждения 2. Ротор 3 представляет собой диск или барабан с зубьями прямоугольной формы. Вал 9 через фланец 6 и карданный вал соединяется с коленчатым валом испытуемого двигателя. Катушка возбуждения 2 создает магнитный поток, имеющий наибольшее значение в местах расположения зубьев ротора. Во время вращения ротора отдельные участки статора последовательно намагничиваются и размагничиваются. Вследствие этого возникают вихревые токи. При взаимодействии основного магнитного поля с магнитным полем вихревых токов создается сопротивление вращения ротора. Вихревые токи нагревают статор. Для отвода тепла статор охлаждается водой, подводимой по трубопроводам 5 в систему охлаждения 4.

В некоторых конструкциях охлаждающая вода подводится в полость между статором и ротором. В этом случае вода обеспечивает дополнительный тормозной эффект. Статор тормоза имеет балансирную подвеску на стойках 8, установленных на основании 7.

Индукторный тормоз регулируют путем изменения силы тока возбуждения. Мощность возбуждения для индукторных тормозов значительно меньше, чем для других электрических тормозов. Это упрощает автоматизацию испытательных стендов, оборудованных индукторными тормозами.

Недостатками индукторных тормозов является невозможность принудительного вращения коленчатого вала испытуемого двигателя и рекуперации поглощаемой тормозом энергии. Для устранения первого недостатка последовательно с тормозом включается электродвигатель переменного тока или небольшая балансирная динамомашинка постоянного тока.

Комбинированные тормоза представляют собой комбинацию двух или более вышеперечисленных типов тормозов. Например, индукторного и электрического.

Установившийся крутящий момент двигателя измеряют с помощью весов. Обычно применяются маятниковые весы (рис. 7).

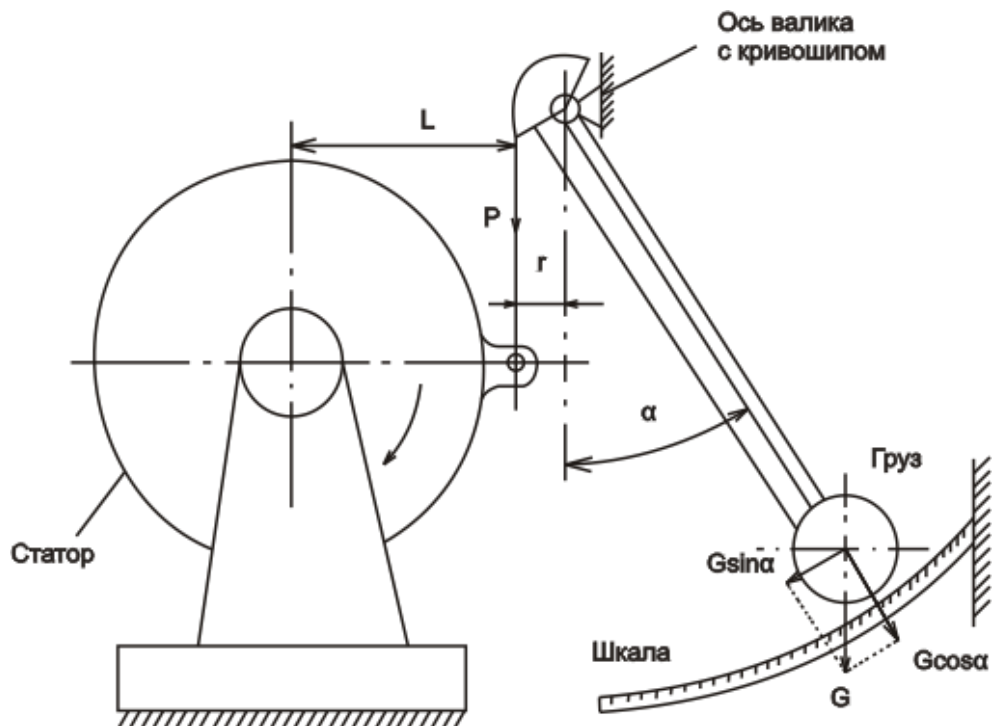


Рисунок 7 – Схема маятниковых весов

Характеристикой тормоза называется кривая изменения поглощаемой тормозом механической энергии двигателя в зависимости от числа оборотов вала тормоза. На рисунке 8 показаны характеристики механического, электрического и гидравлического тормозов.

Кривая 1 представляет собой характеристику механического тормоза, ее уравнение

$$N_T = a n. \quad (6)$$

где a – постоянное число, зависящее от конструкции тормоза и от регулировки; n – число оборотов в минуту вала тормоза.

Таким образом, мощность, поглощаемая механическим тормозом, изменяется пропорционально числу оборотов его вала. Чем больше нагрузка тормоза, тем больше тангенс угла наклона a характеристики маятника к горизонтальной оси.

Кривая 2 представляет собой характеристику электрического тормоза и изменяется по уравнению квадратной параболы

$$N_T = a n^2. \quad (7)$$

Следовательно, мощность, поглощаемая электрическим тормозом, пропорциональна квадрату числа оборотов его вала.

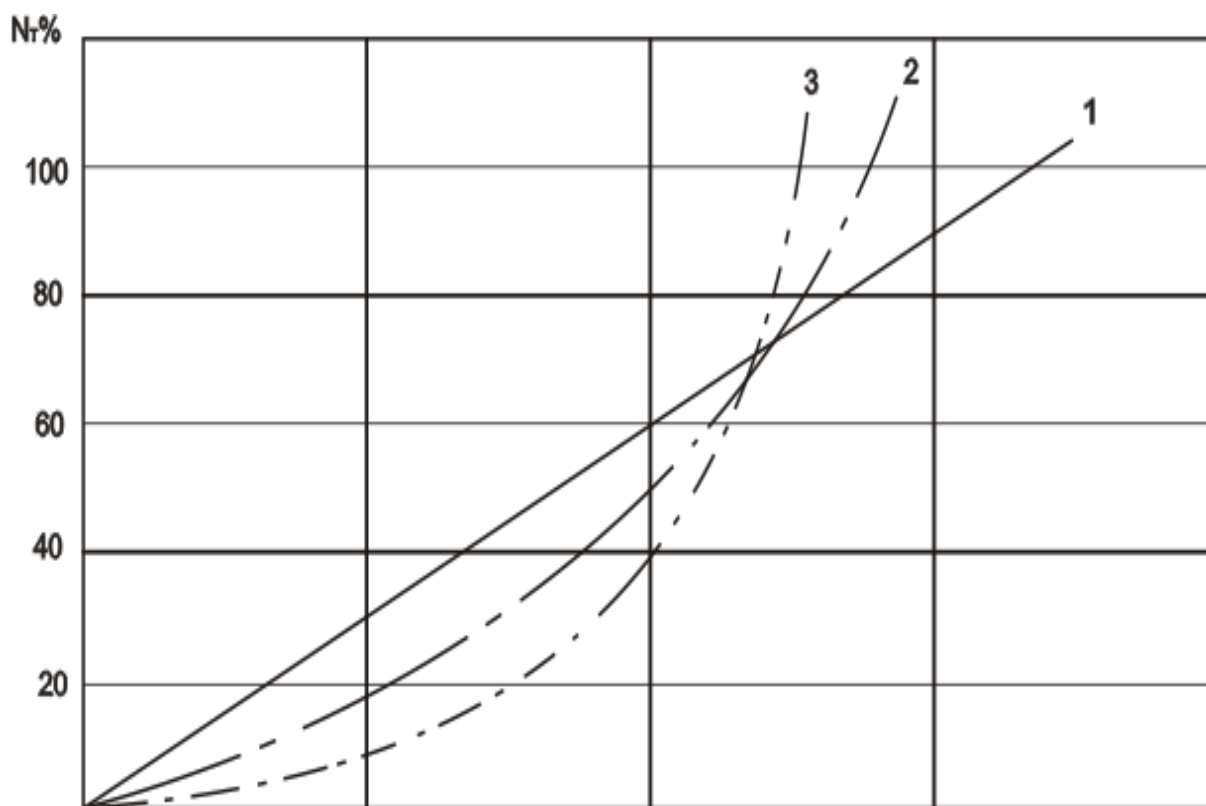


Рисунок 8 – Характеристики механического (1), электрического (2) и гидравлического (3) тормозов

Кривая 3 является характеристикой гидравлического тормоза. Она изменяется по уравнению кубической параболы, т. е. мощность, поглощаемая гидравлическим тормозом, изменяется пропорционально кубу числа оборотов его вала:

$$N_T = an^3. \quad (8)$$

Сравнивая характеристики механического, электрического и гидравлического тормозов, не трудно установить, что при одном и том же кратковременном отклонении мощности двигателя от какого-то значения наибольшие отклонения числа оборотов бывают у механического тормоза, наименьшие – у гидравлического.

Внешние характеристики тормозов имеют ряд особенностей по сравнению с рассмотренными выше характеристиками. На рисунке 9 Приведена внешняя характеристика гидротормоза мощ-

ностью 300 л. с. фирмы Хинан Фруд. Область режимов работы гидротормоза ограничена контуром ОАБВГ. Участок ОА соответствует работе тормоза по естественной характеристике с максимальным заполнением тормоза водой.

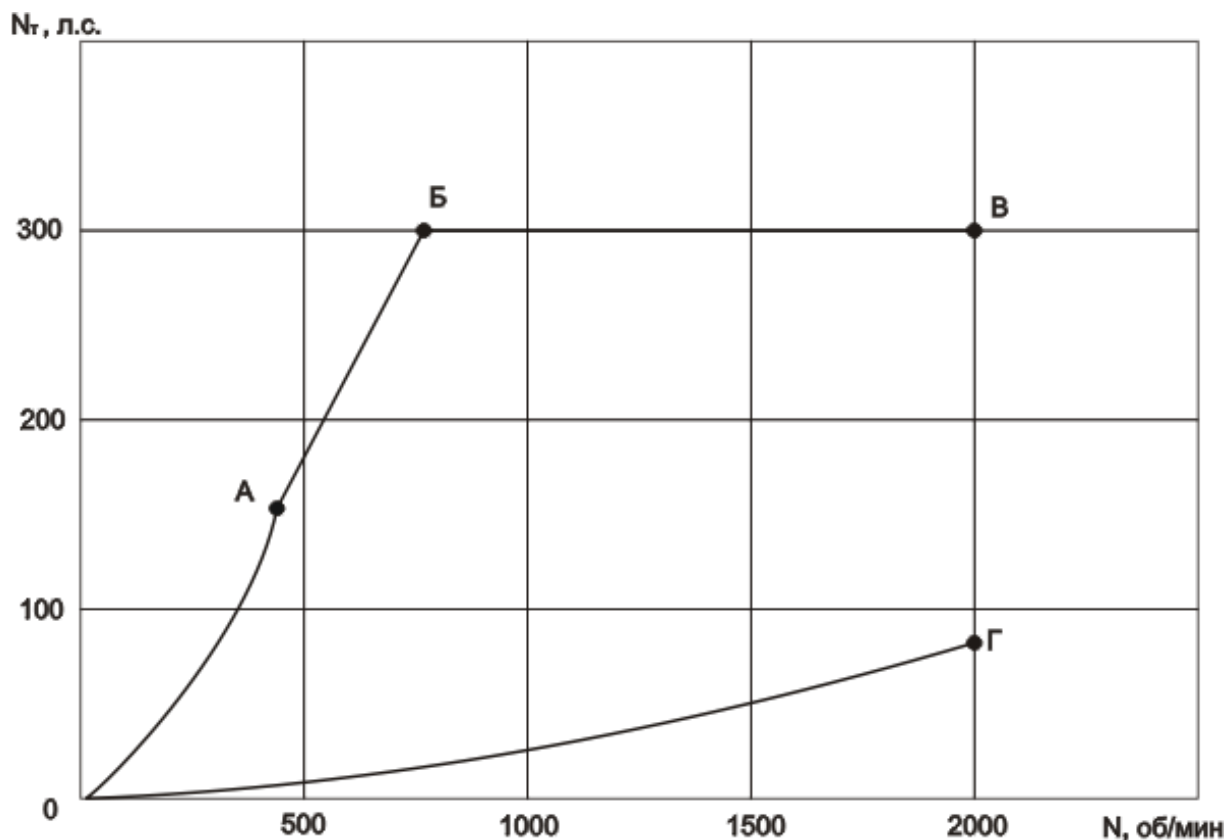


Рисунок 9 – Характеристика тормоза фирмы Хинан Фруд 300 л. с.

Зависимость поглощаемой мощности от числа оборотов на этом участке является кубической. В точке А тормозной момент достигает максимума, на измерение которого рассчитано весовое устройство и дальнейшее увеличение поглощаемой мощности возможно только при постоянном максимальном моменте путем увеличения числа оборотов ротора. В точке Б поглощаемая тормозом мощность ограничивается условиями допускаемой температуры воды и дальнейшее увеличение числа оборотов возможно лишь в том случае, если мощность останется постоянной, т. е. при одновременном снижении тормозного момента. В точке В число оборотов ограничивается прочностью ротора. Нижняя область, ограниченная линией ОГ, соответствует мощности, погло-

щаемой тормозом без заполнения его водой, в основном за счет потерь на трение в подшипниках.

Соответствие тормоза двигателю по мощности и скоростным данным обычно устанавливается путем наложения внешней скоростной характеристики двигателя на внешнюю характеристику тормоза. Если характеристика двигателя укладывается внутри поля, ограниченного внешней характеристикой тормоза, то он обеспечит необходимые мощностной и скоростной режимы.

На рисунке 10 на характеристику гидротормоза Е-4 наложены внешние характеристики дизелей ЯМЗ-236, ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н.

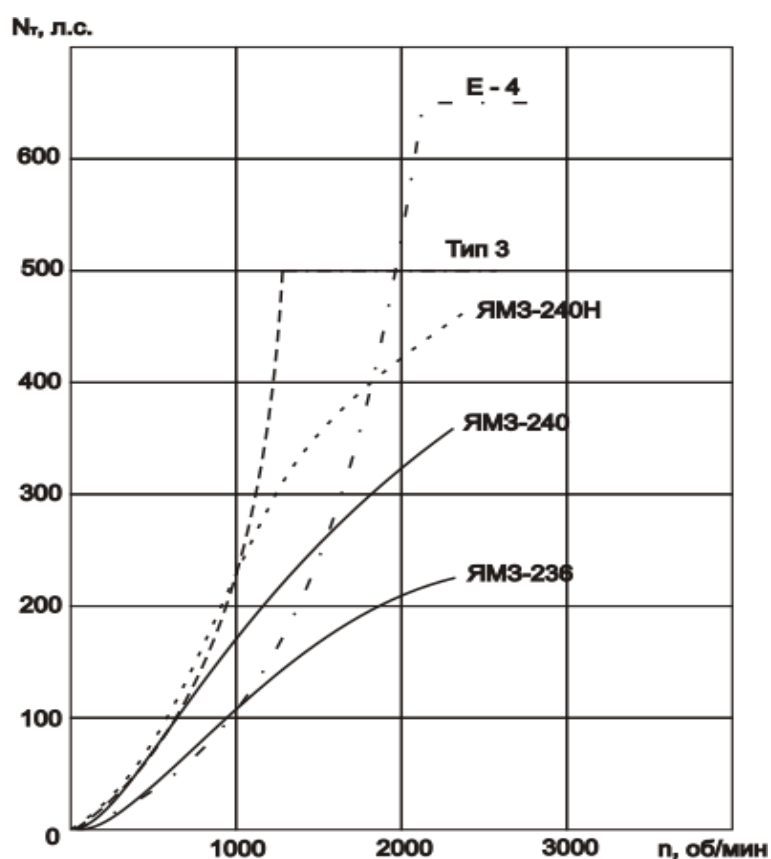


Рисунок 10 – Соответствие характеристик дизелей ЯМЗ внешним характеристикам гидротормозов Е-4 и Хинан Фруд тип 3

Хотя номинальные параметры тормоза Е-4 ($N_T = 650$ л. с., $n_{\max} = 350$ об/мин) существенно выше соответствующих параметров указанных двигателей, двигатель ЯМЗ-240Н не может испытываться на этом тормозе, а двигатель ЯМЗ-240 не может испы-

тываться при числе оборотов менее 1000 в минуту. В то же время менее мощный индукторный тормоз типа 3 фирмы Хинан Фруд позволяет испытывать все эти двигатели на всех скоростных режимах.

Двигатель, установленный на стенде, соединен с тормозом двухшарнирным карданным валом. Рекомендуется осуществлять соединять два вала двигателя непосредственно с тормозом, а коробку передач применять лишь в необходимых случаях. При установке карданного вала должно быть произведено центрирование валов двигателя и тормоза.

По правилам техники безопасности все карданное соединение должно быть заключено в защитный кожух.

2.4. Определение расхода топлива

Для того чтобы обеспечить питание испытываемого двигателя топливом, стенд оборудован системой питания и приборами, измеряющими расход топлива. Топливные баки чаще размещают в том же помещении, где и тормозной стенд. Емкость баков 50–100 л и более.

Замер расхода топлива обычно производится объемным или весовым способами. При объемном способе используются заранее протарированные стеклянные мерные колбы. При этом необходимо определять удельный вес топлива и учитывать температурную поправку. Весовой способ этими условиями не связан. На рисунке 11 показана схема замера расхода топлива по весу.

Установленный на чашке весов 2 стеклянный бачок 3 с топливом должен быть расположен не менее чем на 250 мм выше карбюратора. Емкость бачка не менее одного литра. Процедура замера заключается в следующем.

1. После сигнала "начало опыта" поворотом трехходового крана 7 питание двигателя переводится на топливо, имеющееся в бачке. По мере расходования топлива из бачка изменяется положение стрелки весов. Необходимо секундомером замерить время расхода определенной доли топлива (обычно 100 или 50 г).
2. После измерения времени расхода указанной дозы топлива, трех ходовой кран устанавливают в положение "залив",

при котором происходит питание двигателя из топливного бака 5 и наполнение мерного бачка 3.

3. В протокол испытаний записывают вес ΔG израсходованной дозы топлива и время расхода t .

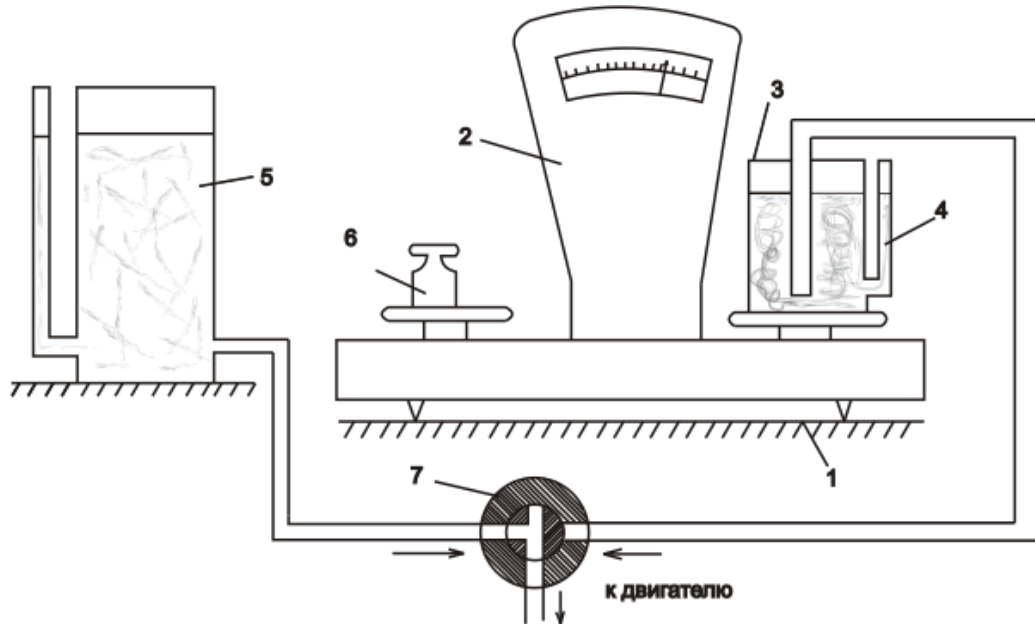


Рисунок 11 – Схема замера топлива по весу:

- 1 – подставка; 2 – весы, 3 – мерный бачок; 4 – мерная труба; 5 – топливный бак; 6 – гиря; 7 – трехходовой кран

Часовой расход топлива G_T (кг/ч) определяется из выражения

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta G}{t}. \quad (9)$$

2.5. Определение расхода воздуха

Питание воздухом осуществляется через воздушный фильтр испытуемого двигателя, а в том случае, если необходимо измерить расход воздуха, через воздухомер или мерный насадок. Наибольшее распространение получили объемные расходомеры, аналогичные по устройству роторно-лопастным нагнетателям (рис. 12).

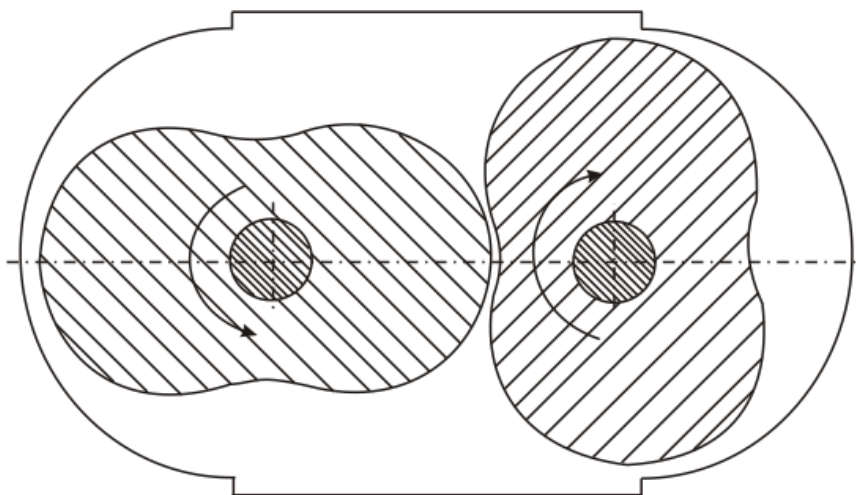


Рисунок 12 – Схема ротационного счетчика

Счетчик расходомера непрерывно показывает расход воздуха. Часовой расход воздуха определяют путем измерения расхода воздуха в единицу времени.

При установке воздухомера и трубопровода, соединяющего его с карбюратором, изменяется сопротивление на входе во впускную систему, что часто приводит к возникновению во впускном акте резонансных колебаний. Вследствие этого изменяется наполнение, а на некоторых режимах искажается характеристика двигателя. Для того чтобы исключить эти нежелательные явления, воздухомер следует соединять с двигателем через промежуточную емкость с демпфирующей стенкой.

Определить расход воздуха можно измерением скорости потока через трубу известного сечения. В этом случае измерение скорости сводится к измерению разности динамического и статического давлений в рассматриваемом сечении. Полное давление можно измерить открытой трубкой, установленной против потока (рис. 13), а статическое – путем использования отверстия в стенке.

Для измерения динамического давления используется дифференциальный манометр. При известном значении разности уровней жидкости h в манометре часовой расход воздуха G_B (кг/ч) определится так:

$$G_B = 36,5\sqrt{h}. \quad (10)$$

Дифференциальный манометр очень чувствителен к колебаниям скорости воздушного потока. Поэтому между двигателем и

расходом устанавливается ресивер емкостью не менее 200 рабочих объемов одного цилиндра испытуемого двигателя. При этом условии дифференциальный манометр будет давать правильные показания.

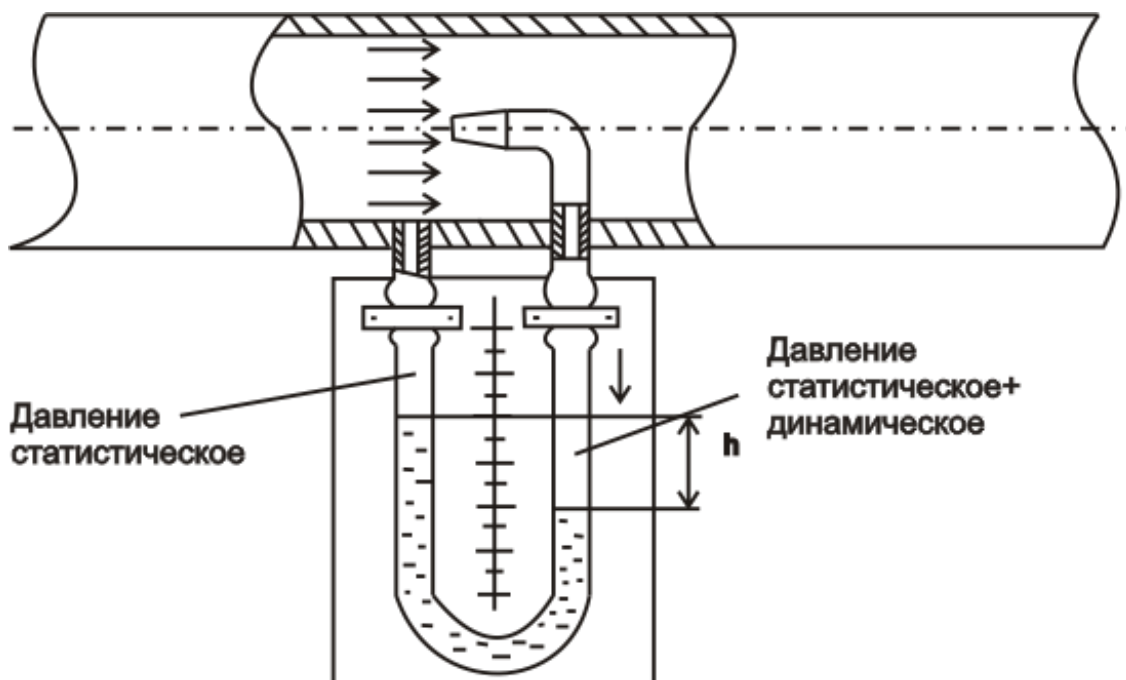


Рисунок 13 – Определение скорости потока с помощью открытой трубки

Для измерения расхода воздуха также может использоваться электрический расходомер воздуха (рис. 14). Он состоит из вентилятора, поставленного во впускной коллектор и миллиамперметра, присоединенного к вентилятору. При прохождении воздушного потока по патрубку он раскручивает лопасти вентилятора, который начинает работать в режиме генератора. Миллиамперметр снимает показания силы тока, возникающие в вентиляторе. Вентилятор отрегулирован таким образом, что показания, снимаемые миллиамперметром, будут соответствовать объему воздуха (см^2), пройденному через вентилятор.

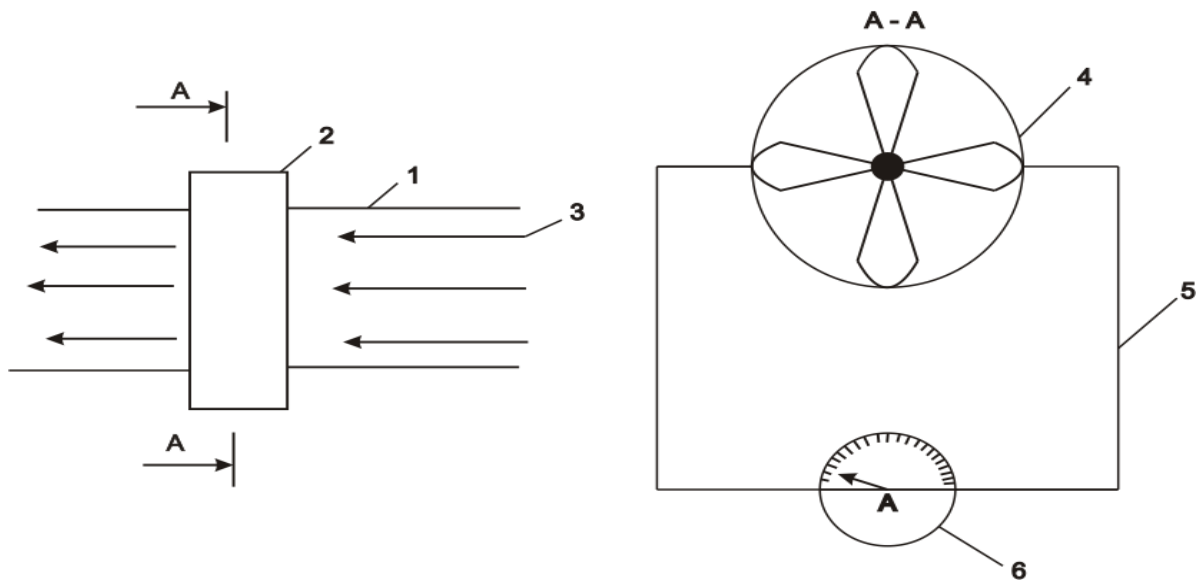


Рисунок 14 – Расходомер воздуха:

1 – впускной коллектор; 2 – вентилятор (кулер от компьютера); 3 – поток воздуха; 4 – лопасти вентилятора; 5 – соединяющие провода; 6 – миллиамперметр

2.6. Измерение температуры охлаждающей жидкости и отработавших газов

Для измерения температуры охлаждающей жидкости применяют жидкостные термометры (рисунок 15).

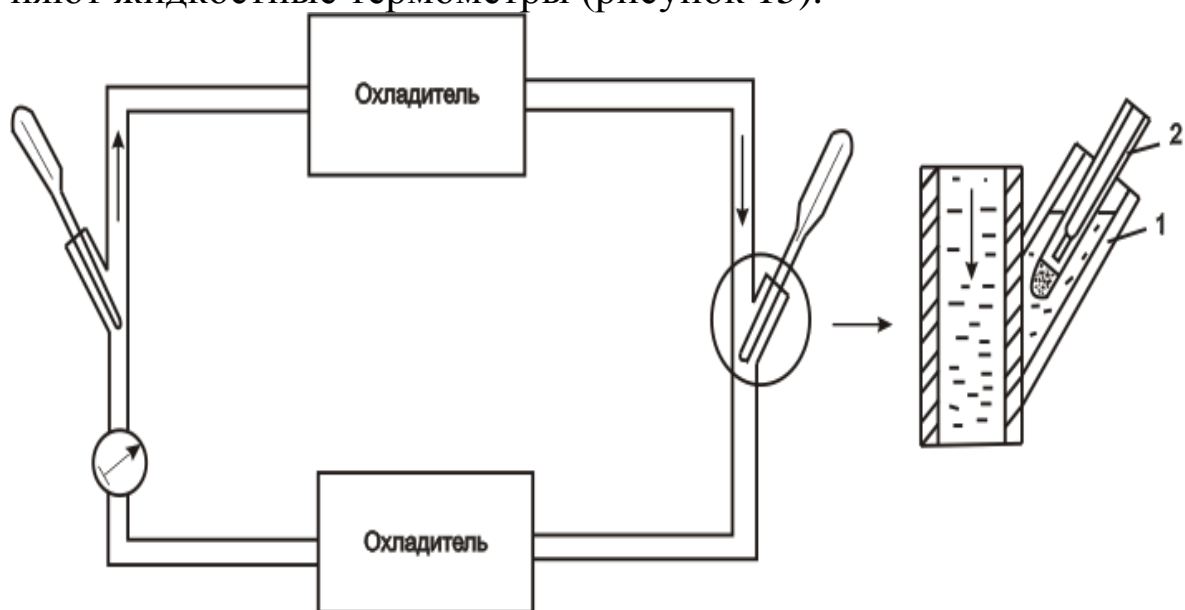


Рисунок 15 – Схема измерения температуры охлаждающей жидкости:

1 – масло; 2 – термометр

К трубке, по которой движется охлаждающая жидкость, приваривают патрубок, в который вставляют термометр. Для обеспечения хорошей теплопередачи патрубок заполняется маслом.

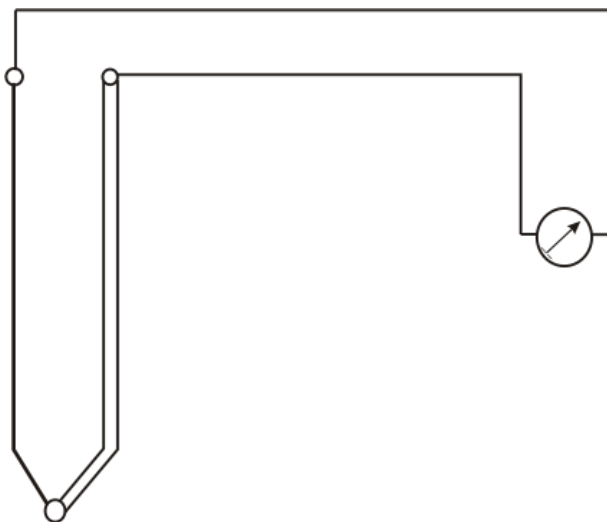


Рисунок 16 – Схема терморезистора

Для измерения температуры отработавших газов применяют термоэлектрические термометры – термопары. Термопара представляет собой две проволоки из разнородных металлов или сплавов. Одни концы проволоки спаяны, вторые концы свободны (рисунок 16). Действие термопары основано на том, что при наличии разности температур между спаем и свободными концами в термопаре появляется ЭДС, величина которой пропорциональна разности температур.

Спай термопары вводят в выпускную трубу так, чтобы он омывался отработавшими газами, а свободные концы находились в стороне от трубы. Термопару соединяют с микроамперметром, программированным в единицах температуры. При работе двигателя отработавшие газы омывают спай термопары и через микроамперметр течет ток, величина которого пропорциональна температуре отработанных газов.

2.7. Изменения в системах двигателя

Система зажигания двигателя на стенде подвергается следующим изменениям: центробежный и вакуумный автоматы опережения зажигания выключаются, устанавливается устройство

для ручной регулировки угла опережения зажигания с выводом рукоятки управления на пульт стенда. Стенд оборудуется приборами для измерения угла опережения зажигания.

Система охлаждения двигателя обычно не содержит радиатора и вентилятора. Это связано с тем, что в систему охлаждения двигателя передается примерно треть тепла, выделяющегося при сгорании топлива в цилиндрах. Выделение такого количества тепла привело бы к недопустимому повышению температуры воздуха в лаборатории. Кроме того вентилятор при работе создает значительный шум. Для охлаждения двигателя применяют специальные смесители (рисунок 17). В смесительном баке происходит смешивание горячей воды из двигателя с холодной водой из водопровода. Излишек воды сливается в канализацию. Регулировкой подачи холодной воды из водопровода устанавливается нужный тепловой режим двигателя.

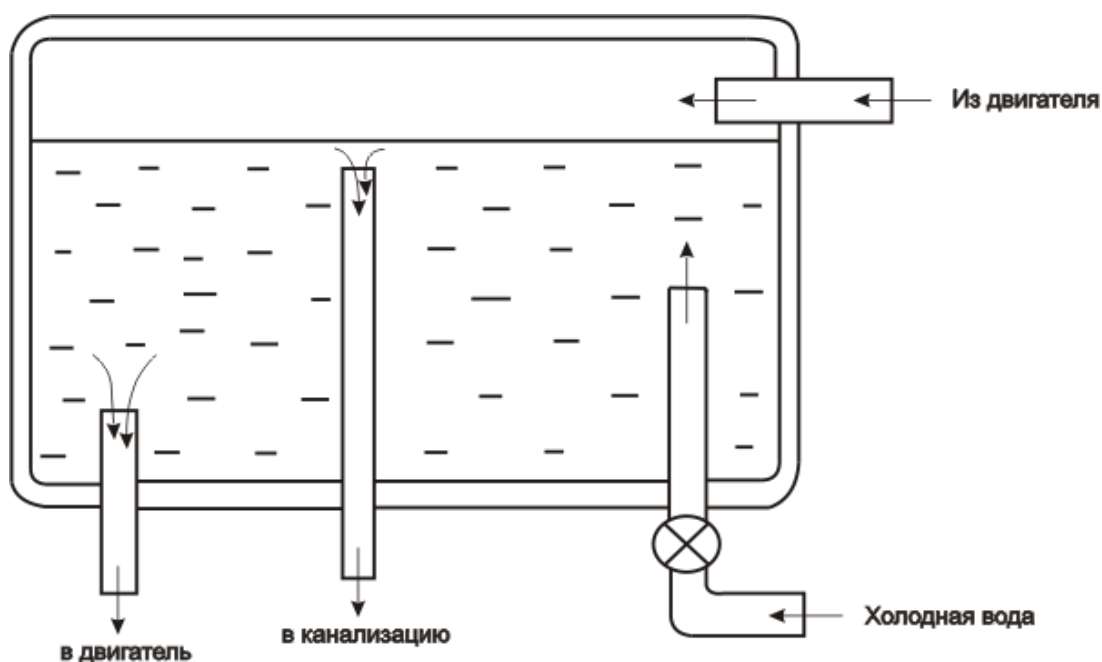


Рисунок 17 – Схема охлаждения воды в смесителе

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

1. Тип тормозного стенда КИ – 2139Б.
2. Тип электромашины АКБ 82-4, балансирная, асинхронная, с ротором.

3. Номинальная мощность – 55 кВт.
4. Синхронное число оборотов роторов – 1500 об/мин.
5. Регулирование скорости вращения электромашины в режиме двигателя бесступенчатое, в пределах 500–1400 об/мин.
6. Диапазон работы электромашины в режиме генератора – 1700–3000 об/мин.
7. Максимальная тормозная мощность при 2000 об/мин – 150 л. с.
8. Тип нагрузочного реостата жидкостный с охлаждением бака проточной водой, емкость – 300 л.
9. Тип устройства для измерения крутящего момента – весовой механизм маятникового типа.
10. Наибольший крутящий момент, измеряемый весовым механизмом – 50 кг·м.
11. Точность определения мощности двигателя – 3 %.
12. Емкость бачка для топлива – 100 л.
13. Напряжение питающей сети – 380 В.
14. Вес стенда – 2000 кг.

Определение расхода топлива осуществляется весовым способом, определение расхода топлива – при помощи дифференциального манометра. Температура отработавших газов определяется при помощи термопары.

4. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. После изучения теоретической части работы и ознакомления с оборудованием лаборатории запустить двигатель стартером и дать прогреться ему на холостом ходу до 80–90 °С.

4.2. Включить тормозной стенд в режим «тормоз» и, пользуясь управлением, включить прямую передачу в коробке передач.

4.3. Установить режим работы двигателя по указанию преподавателя.

4.4. После стабилизации теплового режима двигателя определить основные показатели рабочего процесса:

- эффективную мощность;

- крутящий момент;
- часовой расход топлива;
- часовой расход воздуха;
- часовой расход охлаждающей жидкости;
- удельный эффективный расход топлива;
- температуру охлаждающей жидкости на входе и выходе из двигателя;
- температуру отработавших газов;
- коэффициент наполнения;
- коэффициент избытка воздуха;
- угол опережения зажигания.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P n}{1000} \text{ л. с.}, \quad (11)$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин.

Крутящий момент

$$M = 0,7162 P \text{ кг}\cdot\text{м}. \quad (12)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч}, \quad (13)$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 36,5 \sqrt{h} \text{ кг/ч}, \quad (14)$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Часовой расход охлаждающей жидкости

$$G_w = 3,6 \frac{\Delta V \rho_w}{t} \text{ кг/ч}, \quad (15)$$

где ΔV – объем жидкости, прошедшей через расходомер за время, с; $\rho_w = 1 \text{ кг/м}^3$ – плотность охлаждающей жидкости.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_T \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с.} \cdot \text{ч)}. \quad (16)$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_B = \frac{33,3 G_B}{V_L n \rho_B}, \quad (17)$$

где $V_L = 1,478$ литраж двигателя; ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3 .

Плотность воздуха

$$\rho_B = 0,4645 \frac{P_B}{273 + t_B} \text{ кг/м}^3, \quad (18)$$

где P_B – атмосферное давление, мм рт. ст.; t_B – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_T}, \quad (19)$$

где $l_0 \sim 15 \text{ кг/кг}$ – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

После изучения – устная защита работы по контрольным вопросам. Письменного оформления отчета по лабораторной работе не требуется.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют виды испытаний автомобильных двигателей?
2. Почему в стандартах на испытание двигателей содержатся требования к условиям проведения испытания?
3. Какие параметры нужно измерить, чтобы определить мощность двигателя?
4. Объясните по рисунку 1 принцип действия механического тормоза. Перечислите его достоинства и недостатки.

5. Объясните по рисунку 2 принцип действия лопастного гидротормоза. Перечислите его достоинства и недостатки.
6. Объясните по рисунку 3 принцип действия штифтового гидротормоза. Перечислите его достоинства и недостатки.
7. Объясните по рисунку 4 принцип действия электрического тормоза. Перечислите его достоинства и недостатки.
8. Объясните по рисунку 5 принцип действия индукторного тормоза. Перечислите его достоинства и недостатки.
9. Прокомментируйте рисунку 7. Какова стабильность работы механического гидравлического и электрического тормозов?
10. Прокомментируйте рисунку 8. Что характерно для каждого из участков внешней характеристики тормоза?
11. Как установить соответствие тормоза двигателю?
12. Какие существуют способы определения расхода топлива? В чем их сущность?
13. Какие существуют способы определения расхода воздуха? В чем сущность?
14. Как измеряют температуру отработавших газов и охлаждающей жидкости?
15. Как работает система охлаждения двигателя, установленного на стенде? Почему на двигатель не устанавливаются радиатор?

Лабораторная работа 2

ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомление с устройством и принципом действия пневмоэлектрического индикатора МАИ-2, экспериментальное получение индикаторной диаграммы и её анализ.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель и подготавливают пневмоэлектрический индикатор к работе. После прогрева двигателя на малой нагрузке устанавливают скоростной и нагрузочный режим по указанию преподавателя и включают индикатор. По полученной индика-

торной диаграмме определяют индикаторные и эффективные показатели рабочего цикла. По результатам измерений и расчётов оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Общие сведения об индицировании

Индикаторная диаграмма представляет собой зависимость давления в цилиндре двигателя от угла поворота коленчатого вала. По индикаторной диаграмме можно определить многие важные показатели рабочего цикла. Измерив площадь индикаторной диаграммы, можно определить среднее индикаторное давление. Зная скорость вращения коленчатого вала и рабочий объём двигателя, можно определить его индикаторную мощность.

По индикаторной диаграмме можно также судить о протекании рабочего процесса двигателя, определить условную мощность механических потерь и т. д. Кроме того, при помощи индикаторной диаграммы можно определить показатели политроп сжатия и расширения, индикаторный КПД двигателя, фазы процесса сгорания, степень повышения давления и др.

Для получения индикаторных диаграмм существуют специальные приборы, называемые индикаторами, которые предназначены для записи изменения давления в цилиндре двигателя в зависимости от угла поворота коленчатого вала или от положения поршня. Вычерчиваемая индикатором кривая носит название индикаторной диаграммы и характеризует работу газа в цилиндре.

Существует множество различных индикаторов, которые подразделяются на две основные группы: индикаторы, позволяющие зарегистрировать индикаторную диаграмму отдельного рабочего цикла (одноцикловые индикаторы), и индикаторы, регистрирующие усредненную по нескольким сотням рабочих циклов индикаторную диаграмму (многоцикловые индикаторы).

Каждый из указанных индикаторов имеет свои особенности. Одноцикловая диаграмма представляет исключительные преимущества при изучении характера протекания процесса на отдельных его участках, однако при определении суммарных

внешних показателей (мощности, КПД), которые по своей сути являются усредненными величинами, определенные удобства представляет многоцикловая диаграмма.

Ко второму типу индикаторов, записывающих многоцикловые диаграммы, относятся пневмоэлектрические индикаторы с электроконтактными датчиками давления, называемые индикаторами стробоскопического типа, представителем которых является индикатор МАИ-2.

2.2. Устройство индикатора МАИ-2

Индикатор МАИ-2 предназначен для индицирования поршневых машин со скоростью вращения коленчатого вала до 4000 об/мин. Индикатор имеет два канала записи, которые могут использоваться как раздельно, так и одновременно.

Конструкцией индикатора предусмотрена возможность наносить на индикаторную диаграмму базовые отметки (ВМТ и НМТ), атмосферную линию, линии тарировки давления, момент проскакивания искры в свече зажигания и т. п.

Основными конструктивными узлами индицирующей установки являются электроконтактный датчик давления, устанавливаемый в головку блока цилиндров испытываемого двигателя, тиристорный преобразователь, регистрирующее устройство, жестко связанное с коленчатым валом двигателя, пневмогидравлическая система, индуктивный отметчик ВМТ и пульт управления.

На рис. 1 приведена схема индицирующей установки. В головке испытываемого двигателя 1 установлен датчик давления 2. Пневматическая система 3 соединена с верхней полостью датчика давления и пневмогидравлическим бачком 4. Сжатый газ (воздух или азот) в пневматическую систему поступает из баллона 5 через кран наполнения 6; в атмосферу газ отводится через кран 7. Давление газа в пневматической системе измеряется манометром 8.

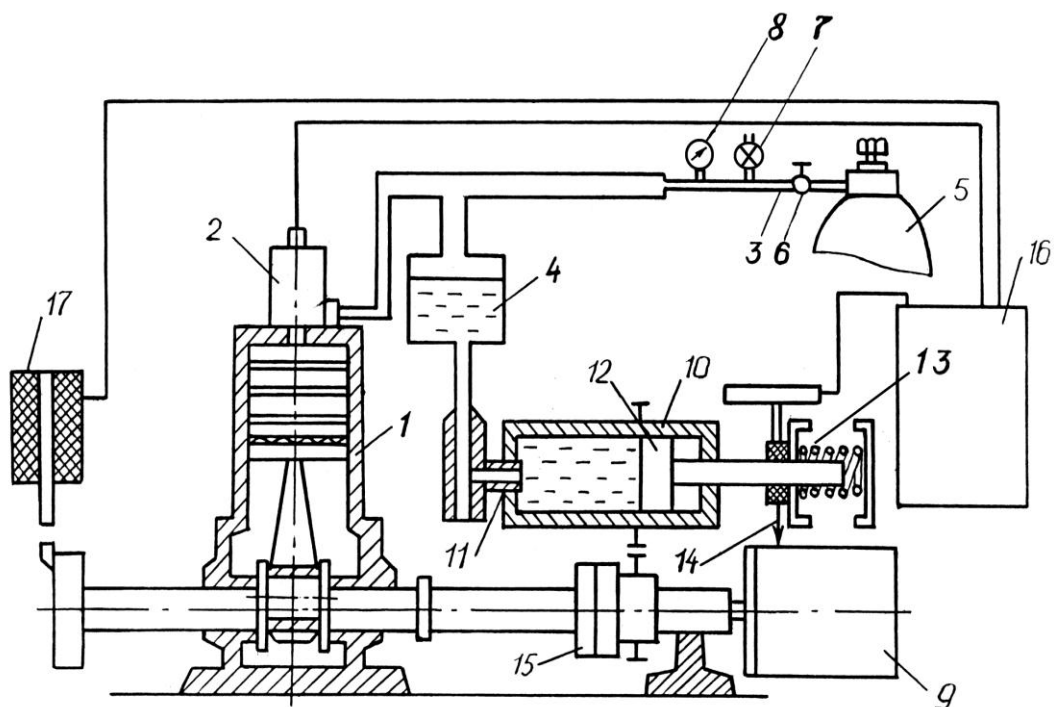


Рисунок 1 – Схема индицирующей установки

Регистрирующее устройство индикатора имеет измерительный механизм, представляющий собой пружинно-поршневой манометр, состоящий из гильзы 10, неподвижного плунжера 11, подвижного плунжера 12, пружины 13 и разрядного штифта 14.

Давление газа из пневматической системы индикатора передаётся в измерительный механизм через жидкость, поступающую в гильзу, из бачка 4 через полый плунжер 11. Давление жидкости воздействует на подвижный плунжер, который сжимает пружину 13. Так как изолированный разрядный штифт 14 закреплён на подвижном плунжере 12, нагруженном давлением, подаваемым из пневматической системы, и пружиной 13, то, очевидно, его перемещение будет пропорционально величине давления газа, находящегося в пневматической системе. Ось измерительного механизма расположена, как показано на схеме, параллельно оси барабана. Таким образом, по образующей барабана располагается ось давления. Барабан индикатора 9 соединяется с валом испытываемого двигателя при помощи специальной двухзубой муфты 15. Эта муфта обеспечивает соединение барабана 9 с валом всегда в одном и том же положении друг относительно друга. Таким образом, по окружности барабана располагается шкала углов поворота вала.

Для уменьшения влияния трения на точность работы измерительного механизма при помощи шестерен червячной передачи гильза 10 приводится во вращение от вала барабана.

Контакт датчика давления 2 соединен с тиратронным преобразователем 16, который при замыкании и размыкании контактов датчика усиливает электрические импульсы и трансформирует их в высокое напряжение. Импульсы высокого напряжения, поступающие из тиратронного преобразователя, попадают на шину высокого напряжения, а оттуда на разрядный штифт 14. Между разрядным штифтом и барабаном в момент подачи импульса происходит искровой разряд. Для фиксации этого момента на барабан закрепляется индикаторная бумага, на которой искровой разряд оставляет точку. В результате совместной работы всех систем индикатора, на бумаге можно получить индикаторную диаграмму, состоящую из отдельных точек, причем каждому циклу будет соответствовать только две точки (одна на линии сжатия, другая на линии расширения).

Наиболее ответственной частью индикатора является электроконтактный датчик давления, схематически изображенный на рис. 2.

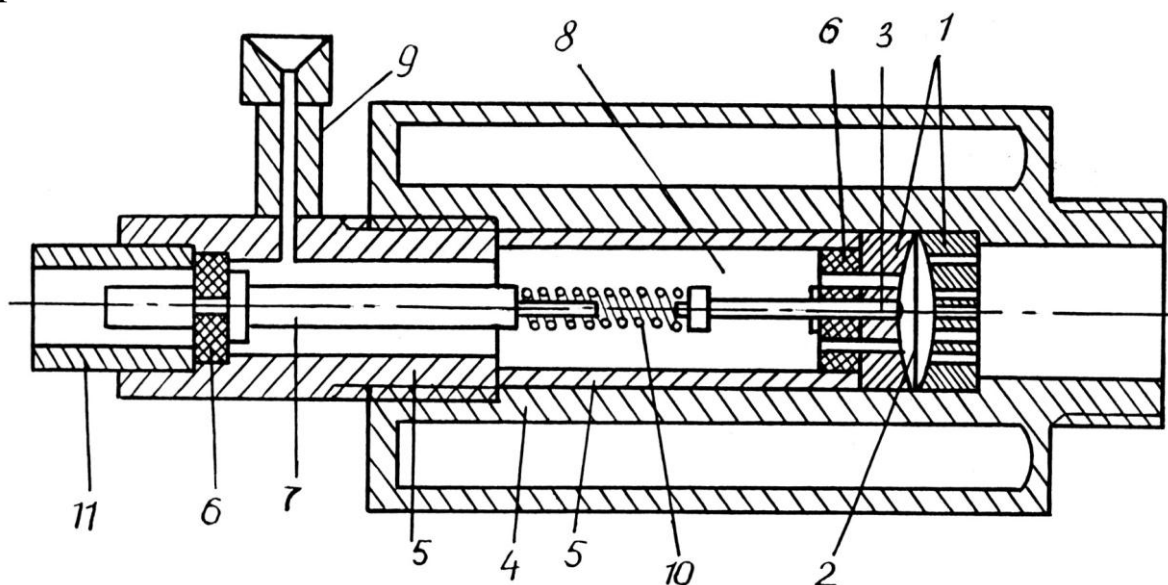


Рисунок 2 – Схема электроконтактного датчика давления

В нижней части корпуса 4 расположены два седла 1 и мембрана 2. Сёдла и мембрана плотно зажимаются с помощью втулок 5 и 11. На верхнем седле установлен изолированный контакт 3, который при помощи пружины 10, контактного стержня 7,

изолирующей вставки 6 соединен с тиратронным преобразователем. В верхнюю полость датчика через штуцер 9 подается сжатый газ из пневматической системы индикатора.

Для предохранения датчика от воздействия высоких температур он снабжен рубашкой водяного охлаждения. Центр зажатой по краям между седлами мембраны имеет возможность перемещаться в пределах зазора, образованного внутренними сферическими поверхностями седел. В верхнем положении мембрана, соприкасаясь с контактом 3, замыкает его на массу.

Для нанесения отметок ВМТ индикатор снабжен специальным индуктивным датчиком, установленным на картере двигателя вблизи маховика. На внешней поверхности маховика двигателя закреплен сердечник из мягкого железа. При нахождении поршня индицируемого цилиндра в ВМТ сердечник должен находиться на одной оси с датчиком. В момент прохождения сердечника через ось индуктивного датчика возникает электрический импульс, передаваемый в тиратронный преобразователь.

Для нанесения отметок момента появления искры в свече зажигания служит индуктивный датчик, представляющий собой несколько витков тонкого изолированного провода, намотанного на проводе высокого напряжения, идущего к свече зажигания индицируемого цилиндра. В момент проскакивания искры на свече в датчике индицируется слабый ток, который поступает на тиратронный преобразователь.

2.3. Принцип работы индикатора МАИ-2

В верхнюю полость датчика давления подается сжатый газ из пневматической системы индикатора. Поскольку зазор между мембраной, находящейся в нейтральном положении, и контактом очень мал ($0,02 \div 0,03$ мм), то при небольшом избытке давления газов в цилиндре двигателя ($\Delta P = 15 \div 20$ мм рт. ст.) мембрана будет касаться контакта и замыкать электрическую цепь.

При равенстве давлений или избытке давления со стороны пневматической системы электрическая цепь будет разорвана.

Во многих случаях избыточным давлением ΔP можно пренебречь и считать, что разрыв или замыкание электрической цепи

происходит в момент равенства давлений в цилиндре двигателя и в пневматической системе индикатора.

При индицировании двигателя в полость датчика 2 через кран 6 (см. рис. 1) подается сжатый газ с плавно снижающимся давлением. В момент, когда давление в цилиндре двигателя совпадает с давлением в полости датчика, контакты замыкаются, возникает электрический импульс, который подается на тириatronное реле. Так как скорость изменения давления газа в датчике несоизмеримо меньше скорости изменения давления в цилиндре двигателя, в каждом цикле лишь две точки соответствуют совпадению давления в цилиндре с давлением газа в датчике: одна точка на линии сжатия, другая на линии расширения. Очевидно также, что в каждом последующем цикле это совпадение будет происходить при другой величине давления газа в датчике. Одновременно разрядник 12 регистрирующего устройства перемещается вдоль образующей барабана 9 пропорционально величине изменения давления газа в пневматической системе индикатора. Подобрав посредством регулировочного крана 6 определенную скорость снижения давления в датчике, можно получить на регистрационной бумаге серию точек, настолько близко расположенных друг к другу, что они образуют почти непрерывную линию изменения давления газов в цилиндре двигателя.

2.4. Анализ индикаторной диаграммы

Для удобства обработки индикаторная диаграмма переносится на миллиметровую бумагу. На линии сгорания получается разброс точек из-за неравномерности сгорания в циклах. Плавными линиями следует обвести границы этого участка и аккуратно провести среднюю линию сгорания, которая и принимается за основную. При переносе следует совместить по оси абсцисс сантиметровую сетку миллиметровки с градусной шкалой индикаторной диаграммы.

На индикаторной диаграмме (рис. 3) наносятся характерные точки: верхняя мертвая точка, угол опережения зажигания, начало видимого горения (для отыскания видимого горения используется диаграмма чистого сжатия). Определяются границы начала

сжатия и конца расширения. Определяется масштаб давлений μ_p (МПа/мм), масштаб по углу поворота коленчатого вала μ_φ (град/мм) и масштаб времени μ_τ (с/мм). Определяется период задержки воспламенения (первая фаза горения):

$$\varphi_1 = \mu_\varphi l_1 \text{ или } \tau_1 = \mu_\tau l_1. \quad (1)$$

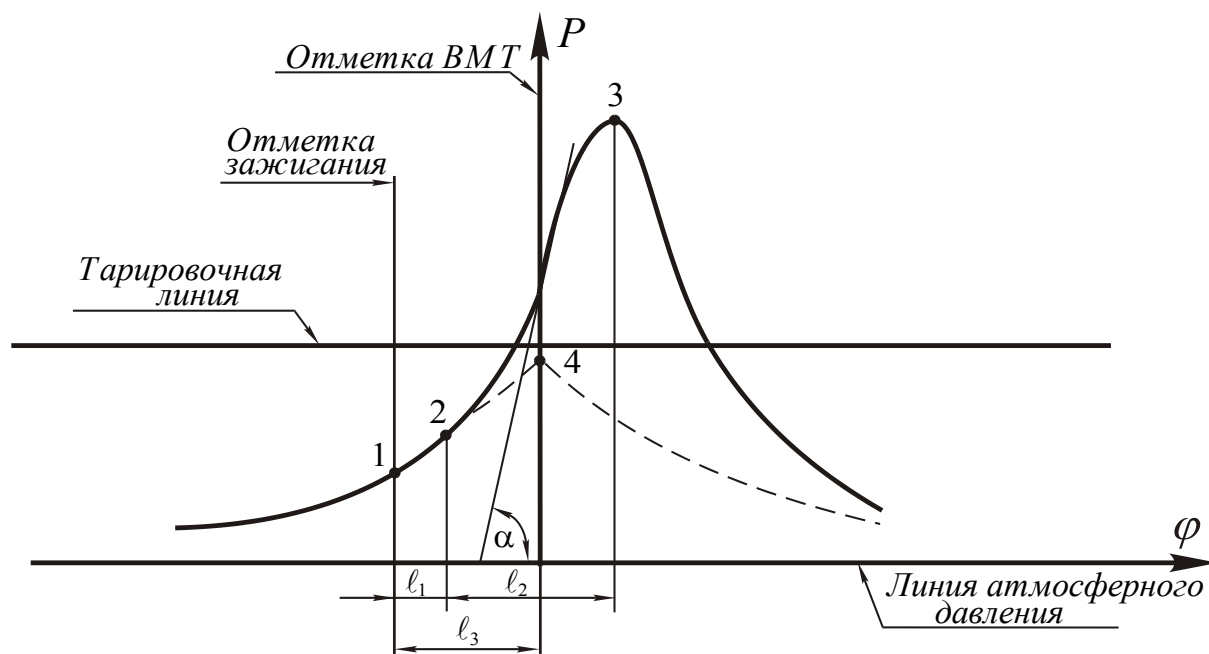


Рисунок 3 – Индикаторная диаграмма

Определяется период быстрого нарастания давления (вторая фаза горения):

$$\varphi_2 = \mu_\varphi l_2 \text{ или } \tau_2 = \mu_\tau l_2. \quad (2)$$

Определяется средняя скорость нарастания давления:

$$W_{\text{ср}} = \frac{P_3 - P_2}{\varphi_2}, \quad \frac{\text{МПа}}{\text{град п.к.в.}}. \quad (3)$$

Определяется максимальная скорость нарастания давления:

$$W_{\text{max}} = \left[\frac{dP}{d\varphi} \right]_{\text{max}} = \frac{\mu_p}{\mu_\varphi} \text{tg} \alpha, \quad \frac{\text{МПа}}{\text{град п.к.в.}}. \quad (4)$$

где α – угол наклона касательной к линии сгорания на участке

наибольшей крутизны.

Определяется максимальное давление сгорания:

$$P_z = \mu_p P_3 \text{ МПа}, \quad (5)$$

где P_3 – давление конца сжатия в точке 3, мм (см. рис. 3).

Определяется степень повышения давления:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c}, \quad (6)$$

где P_c – давление конца сжатия (точка 4 на рис. 3).

Определяется угол опережения зажигания:

$$\theta = \mu_\varphi \ell_3. \quad (7)$$

Для определения среднего индикаторного давления P_i можно воспользоваться методом, теоретическое обоснование которого изложено в книге В. Н. Петровского «Теплотехнические испытания судовых ДВС».

Метод состоит в следующем:

а) производится привязка диаграммы к записям отметчика мертвых точек;

б) под линией процесса $P = f(\varphi)$ на произвольном расстоянии наносится нулевая линия, параллельная линии атмосферного давления;

в) участок диаграммы, соответствующий процессам сжатия и расширения, разбивается на 36 равных частей (рис. 4). Каждый отрезок соответствует 10° поворота коленчатого вала;

г) от нулевой линии из точек, обозначающих границы отдельных участков, к кривой давления проводятся ординаты, которые обозначают в соответствии с рис. 4.

В дальнейшем расчеты ведутся по табличной форме (табл. 1) В графу 2 заносятся разности ординат одноименных точек, равноудалённых от ВМТ. Например

$$Y'_{17} - Y''_{17}, Y'_{15} - Y''_{15} \text{ или } Y'_6 - Y''_6.$$

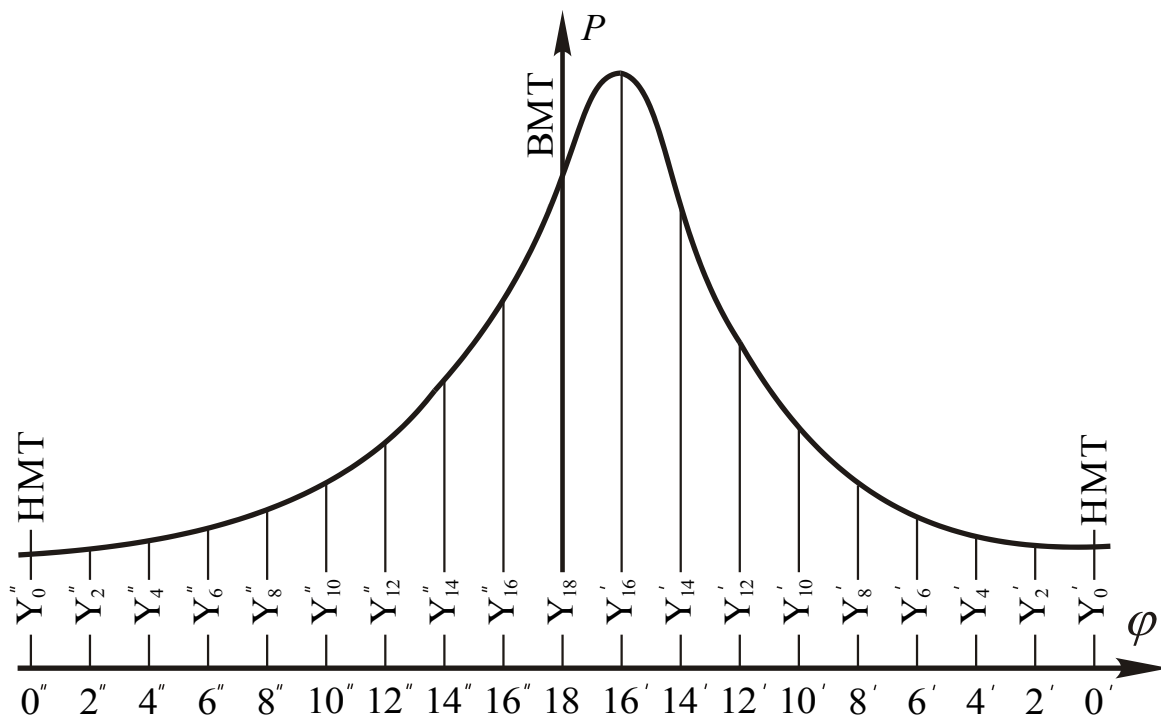


Рисунок 4 – Диаграмма, соответствующий процессам сжатия и расширения

В графу 3 заносятся значения поправочного коэффициента, зависящего от угла поворота коленчатого вала ϕ , и λ исследуемого двигателя определяем по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{R}{L}, \quad (8)$$

где R – радиус кривошипа, мм; L – длина шатуна, мм.

Таблица 1

| ϕ , град | $Y' - Y''$ | $\mu(\phi)$ | $\Phi(\phi_i) = \mu(\phi)(Y' - Y'')$ | $P_i = \mu_p \frac{\pi}{18,2} \sum \Phi(\phi)$ |
|---------------|------------|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 180 | | | | |
| 170 | | | | |
| 160 | | | | |
| 150 | | | | |
| 140 | | | | |
| 130 | | | | |
| 120 | | | | |

Продолжение табл. 1

| φ , град | $Y' - Y''$ | $\mu(\varphi)$ | $\Phi(\varphi_i) = \mu(\varphi)(Y' - Y'')$ | $P_i = \mu_p \frac{\pi}{18,2} \sum \Phi(\varphi)$ |
|------------------------|------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 110 | | | | |
| 100 | | | | |
| 90 | | | | |
| 80 | | | | |
| 70 | | | | |
| 60 | | | | |
| 50 | | | | |
| 40 | | | | |
| 30 | | | | |
| 20 | | | | |
| 10 | | | | |
| 0 | | | | |
| $\sum \Phi(\varphi) =$ | | | | |

Поправочный коэффициент берётся из табл. 2. В графу 4 записывается результат умножения величин графы 2 и графы 3.

Суммируя значения параметров $\Phi(\varphi_i) = \mu(\varphi)(Y' - Y'')$, подсчитанных для различных участков индикаторной диаграммы, находим $\sum \Phi(\varphi)$. Затем находится среднее индикаторное давление по формуле

$$P_i = \mu_p \frac{\pi}{18,2} \sum \Phi(\varphi) \text{ МПа.} \quad (9)$$

Для четырёхтактных двигателей величина P_i должна быть уменьшена на величину, характеризующую гидравлические потери:

$$\Delta P = P_r - P_a \text{ МПа,} \quad (10)$$

где P_r – давление на линии выпуска; P_a – давление в конце впуска.

Таблица 2

| φ, град | Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна $\lambda' = R/L_{ш}$ | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{4,8}$ | $\frac{1}{4,6}$ | $\frac{1}{4,4}$ | $\frac{1}{4,2}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{3,8}$ | $\frac{1}{3,6}$ | $\frac{1}{3,4}$ | $\frac{1}{3,2}$ | $\frac{1}{3}$ |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 0,208 | 0,209 | 0,211 | 0,213 | 0,214 | 0,216 | 0,219 | 0,221 | 0,224 | 0,227 | 0,231 |
| 160 | 0,406 | 0,409 | 0,412 | 0,415 | 0,419 | 0,422 | 0,427 | 0,431 | 0,437 | 0,442 | 0,449 |
| 150 | 0,567 | 0,590 | 0,594 | 0,598 | 0,603 | 0,608 | 0,614 | 0,620 | 0,627 | 0,635 | 0,644 |
| 140 | 0,745 | 0,745 | 0,750 | 0,755 | 0,760 | 0,766 | 0,772 | 0,780 | 0,788 | 0,797 | 0,807 |
| 130 | 0,865 | 0,869 | 0,873 | 0,878 | 0,883 | 0,889 | 0,896 | 0,903 | 0,911 | 0,920 | 0,930 |
| 120 | 0,953 | 0,956 | 0,960 | 0,964 | 0,969 | 0,974 | 0,980 | 0,986 | 0,993 | 1,001 | 1,010 |
| 110 | 1,004 | 1,007 | 1,030 | 1,013 | 1,016 | 1,020 | 1,024 | 1,029 | 1,034 | 1,040 | 1,047 |
| 100 | 1,019 | 1,020 | 1,022 | 1,024 | 1,026 | 1,028 | 1,030 | 1,032 | 1,035 | 1,038 | 1,042 |
| 90 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 80 | 0,951 | 0,949 | 0,948 | 0,946 | 0,944 | 0,942 | 0,940 | 0,937 | 0,935 | 0,931 | 0,928 |
| 70 | 0,875 | 0,873 | 0,870 | 0,867 | 0,963 | 0,859 | 0,855 | 0,850 | 0,845 | 0,839 | 0,833 |
| 60 | 0,779 | 0,776 | 0,772 | 0,768 | 0,763 | 0,758 | 0,752 | 0,746 | 0,739 | 0,730 | 0,722 |
| 50 | 0,667 | 0,663 | 0,659 | 0,654 | 0,649 | 0,643 | 0,636 | 0,629 | 0,621 | 0,612 | 0,602 |
| 40 | 0,544 | 0,340 | 0,536 | 0,531 | 0,526 | 0,520 | 0,573 | 0,506 | 0,498 | 0,489 | 0,479 |
| 30 | 0,413 | 0,410 | 0,406 | 0,402 | 0,337 | 0,392 | 0,386 | 0,381 | 0,373 | 0,365 | 0,356 |
| 20 | 0,278 | 0,275 | 0,272 | 0,296 | 0,266 | 0,262 | 0,257 | 0,253 | 0,246 | 0,242 | 0,235 |
| 10 | 0,139 | 0,138 | 0,136 | 0,136 | 0,133 | 0,131 | 0,129 | 0,126 | 0,123 | 0,120 | 0,117 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Индикаторная мощность четырёхтактного двигателя определяется по формуле

$$N_i = \frac{P_i V_h n i}{900} \text{ л. с.}, \quad (11)$$

где P_i – среднее индикаторное давление, кг/см²; V_h – рабочий объём одного цилиндра, л; i – число цилиндров; n – скорость вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

Механический КПД определяется по формуле

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}, \quad (12)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя (определяется при помощи весов тормоза во время индицирования).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Запустить двигатель и прогреть его на малой нагрузке. Подготовить индикатор к работе. Установить режим работы двигателя по указанию преподавателя и включить индикатор. По окончании записи снять индикаторную диаграмму и определить основные показатели рабочего процесса согласно п. 2.4.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать копию индикаторной диаграммы с описанием и результатами её анализа.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое индикаторная диаграмма?
2. Какие данные можно получить по индикаторной диаграмме?
3. Какие существуют разновидности индикаторов?
4. Объясните принцип действия пневмоэлектрического индикатора МАИ-2.
5. Для чего гильза 10 индикатора приводится во вращение?

6. Каково назначение пневмогидравлического бачка 4? Почему на плунжер 12 давление передают через жидкость, а не газ?
7. Какова последовательность действий при записи индикаторной диаграммы?
8. Как осуществляется тарировка индикаторной диаграммы?
9. Как осуществляется отметка зажигания и мертвых точек?
10. Каким требованиям должен удовлетворять электроконтактный датчик давления?
11. Опишите методику обработки индикаторной диаграммы.

Лабораторная работа 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОГО ХОДА

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное построение и анализ характеристики холостого хода двигателя.

После изучения теоретических положений запускают двигатель и прогревают его на малой нагрузке. Затем снимают нагрузку и изменением положения органа, регулирующего подачу топлива, увеличивают скорость вращения коленчатого вала от минимально устойчивой до скорости, указанной преподавателем. Изменение скорости производят ступенями с шагом, обеспечивающим получение 6-8 точек характеристики. По результатам испытаний оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Характеристикой холостого хода называется зависимость показателей рабочего процесса (G_t , α , η_v , η_i) от скорости вращения коленчатого вала при работе двигателя без нагрузки.

Для характеристики холостого хода независимыми пере-

менными величинами являются скорость вращения коленчатого вала и положение органа, регулирующего подачу топлива, постоянные величины: $N_e = M_e = 0$, $g_e \rightarrow \infty$. Зависимые переменные величины: G_t , α , η_v , η_i .

Характеристика холостого хода снимается в диапазоне скоростей $n_{\min} - n_{\max}$, где n_{\min} – минимальная устойчивая скорость вращения коленчатого вала, n_{\max} – максимально допустимая скорость или скорость, ограничиваемая регулятором. Для карбюраторных двигателей $n_{\max} = 6000 \div 7000$ об/мин, для тихоходных дизелей $n_{\max} = 700 \div 1800$ об/мин, для быстроходных дизелей n_{\max} может достигать 4000 об/мин. Характеристики холостого хода карбюраторного двигателя и дизеля показаны на рисунке.

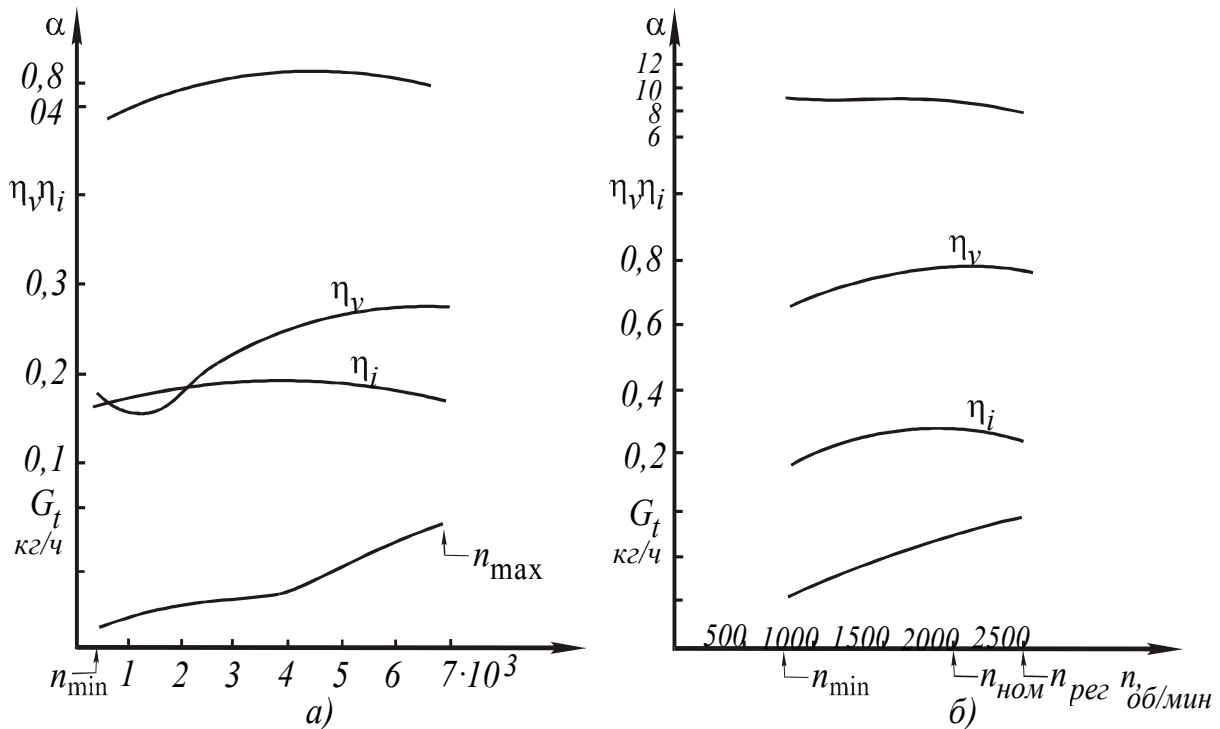


Рисунок 1 – Характеристики холостого хода двигателей:
а – карбюраторного двигателя; б – дизеля

Широкий диапазон изменения скорости вращения коленчатого вала по характеристике холостого хода карбюраторного двигателя достигается постепенным открытием дроссельной заслонки. Причем каждому скоростному режиму соответствуют минимальное открытие заслонки и, следовательно, наименьшее значе-

ние коэффициента наполнения. Поэтому значения η_v по характеристике холостого хода близки к критическим.

Изменение коэффициентов избытка воздуха по характеристике холостого хода зависит от степени открытия дроссельной заслонки. Значения индикаторного КПД вследствие влияния повышенного количества остаточных газов значительно снижены. Общий характер изменения η_i по скорости сохраняется приблизительно таким же, как и в скоростной характеристике.

У дизелей изменение скорости на холостом ходу достигается изменением цикловой подачи топлива, причем на каждом скоростном режиме цикловая подача минимальна, коэффициент наполнения дизеля намного больше, чем у карбюраторного двигателя, т. к. сопротивление впускного тракта дизеля мало.

По сравнению с другими режимами работы дизеля η_v по характеристике холостого хода также выше, вследствие сравнительно низких температур деталей двигателя. Большие значения коэффициента избытка воздуха определяются снижением значений индикаторного КПД.

Характеристики холостого хода используются для регулировки системы холостого хода карбюраторов, настройки регуляторов дизелей. Кроме того, по зависимости $G_t = f(n)$ возможно ориентировочное определение механического КПД для любого нагрузочного режима. При этом полагают равенство механических потерь двигателя на холостом ходу и под нагрузкой. Известно, что на холостом ходу двигателя вся индикаторная мощность расходуется на преодоление внутренних потерь. Следовательно, часовой расход топлива по характеристике холостого хода $G_{t_{x.x.}}$ эквивалентен внутренним потерям. При любой нагрузке часовой расход G_t эквивалентен индикаторной мощности. Тогда механический КПД можно определить из уравнения

$$\eta_M = \frac{G_t - G_{t_{x.x.}}}{G_t}.$$

этот способ прост и позволяет определить техническое состояние двигателя в эксплуатационных условиях без демонтажа машины.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После запуска и прогрева двигателя на малой нагрузке отключают двигатель от тормоза и прикрывают дроссельную заслонку до упора. Проводят измерения скорости вращения коленчатого вала, времени расхода порции топлива ΔG , часового расхода воздуха G_B (показания дифференциального манометра).

Затем увеличивают угол открытия дроссельной заслонки так, чтобы скорость вращения коленчатого вала увеличилась на 200–250 об/мин, и вновь проводят измерения перечисленных показателей. Таким образом, увеличивая скорость ступенями до максимальной скорости, указанной преподавателем, получают данные для построения характеристики холостого хода. Шаг изменения скорости должен обеспечить получение 6–8 точек характеристики, при этом он может отличаться от указанного выше.

Для одного из режимов работы двигателя под нагрузкой, указанного преподавателем, необходимо ориентировочно определить механический КПД двигателя, используя метод сопоставления часовых расходов топлива.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $G_t(n)$, $\alpha(n)$, $\eta_v(n)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч,}$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч,}$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_{\text{л}} n \rho_B},$$

где $V_{\text{л}} = 1,478$ л – литраж двигателя; ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха

$$\rho_B = 0,4645 \cdot \frac{P_B}{273 + t_B} \text{ кг/м}^3,$$

где P_B – атмосферное давление, мм рт. ст.; t_B – температура воздуха, °С.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое характеристика холостого хода двигателя?
2. Объясните характер изменения основных показателей рабочего процесса двигателя по характеристике холостого хода.
3. Какие полезные для практики сведения можно получить из характеристики холостого хода?
4. Какие существуют различия в характеристиках холостого хода карбюраторного двигателя и дизеля?
5. Какова методика снятия характеристики холостого хода?
6. В чем заключается метод сопоставления часовых расходов топлива для определения механических потерь двигателя? Какие допущения в нем принимаются?

Лабораторная работа 4

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов ДВС, экспериментальная оценка мощностных и экономических характеристик карбюраторного двигателя по скоростной характеристике.

После изучения теоретических положений и методики проведения испытаний, изложенных ниже, запускают двигатель и замеряют все необходимые для построения скоростной характеристики показатели. По результатам испытаний оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Скоростной характеристикой карбюраторного двигателя называется зависимость показателей рабочего процесса (N_e , M_e , G_t , g_e и др.) от скорости вращения коленчатого вала при постоянном положении дроссельной заслонки. Различают два вида скоростных характеристик: внешнюю и частичную.

Внешняя скоростная характеристика снимается при полностью открытой дроссельной заслонке, частичная – при неполном (частичном) открытии дроссельной заслонки. Таким образом, каждый двигатель имеет одну внешнюю скоростную характеристику и множество частичных.

Характер изменения показателей рабочего процесса по скоростной характеристике можно рассмотреть на примере внешней характеристики. Для четырехтактного двигателя эффективный крутящий момент описывается выражением

$$M_e = \frac{P_e i V_h}{30\tau} = A P_e \quad (1)$$

и эффективная мощность:

$$N_e = \frac{P_e i V_h n}{30 \tau} = B P_e n. \quad (2)$$

Таким образом, при прочих равных условиях, крутящий момент прямо пропорционален величине среднего эффективного давления P_e , а эффективная мощность – произведению $P_e n$. В свою очередь, величина P_e зависит от среднего индикаторного давления и среднего давления механических потерь:

$$P_e = P_i - P_M. \quad (3)$$

Рассмотрим отдельные факторы, определяющие изменение величин P_i и P_M в зависимости от скоростного режима двигателя.

$$P_i = \frac{H_u}{\ell_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_0. \quad (4)$$

Поскольку при снятии скоростной характеристики величины H_u , ℓ_0 и ρ_0 практически остаются постоянными, то величина P_i будет зависеть лишь от η_i / α и η_v . На рис. 1 показано изменение по внешней скоростной характеристике карбюраторного двигателя.

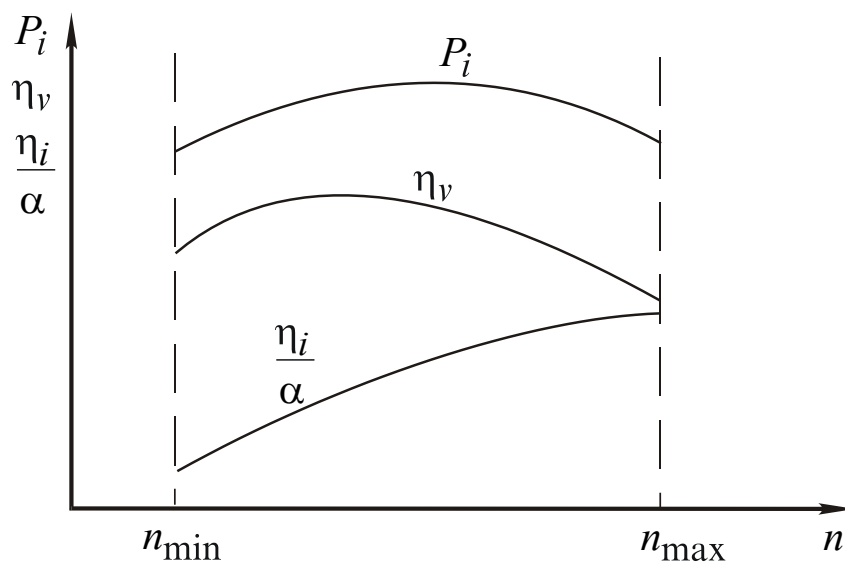


Рисунок 1 – Изменение индикаторных показателей двигателя по внешней скоростной характеристике

Величина η_i/α , характеризующая эффективность протекания рабочего процесса в цилиндре, увеличивается с ростом скоростного режима, причём с увеличением скорости вращения вала рост η_i/α постепенно замедляется. Причинами роста η_i/α являются улучшение процесса смесеобразования и уменьшение относительных потерь тепла в стенки цилиндра за время рабочего хода.

Коэффициент наполнения η_v изменяется с увеличением скорости более сложным образом. Наполнение цилиндров зависит в основном от гидравлического сопротивления системы выпуска, подогрева заряда при впуске, а также от колебательных процессов, происходящих во впускной системе. Поэтому на величину η_v в значительной мере влияет выбор фаз газораспределения.

Фазы газораспределения выбираются в зависимости от типа и назначения двигателя так, чтобы при наиболее употребительном скоростном режиме достигалось наилучшее наполнение цилиндров. Ниже этого числа оборотов коэффициент наполнения снижается, так как уменьшается дозарядка цилиндра и даже возможен обратный выброс заряда из цилиндра через клапан во впускной трубопровод. При повышении скоростного режима от $n_{\eta_{v\max}}$ наполнение уменьшается из-за увеличения гидравлических потерь в системе впуска. Гидравлические потери возрастают пропорционально квадрату скорости движения смеси в трубопроводе.

В результате суммарного воздействия обеих рассматриваемых величин (η_v и η_i/α) при увеличении скоростного режима среднее индикаторное давление P_i сначала возрастает, достигая максимального значения при определенной скорости, а затем уменьшается. Как правило, скорость, при которой достигается максимальное значение P_i , несколько выше скорости, соответствующей максимуму коэффициента наполнения (рис. 1).

Величина среднего давления механических потерь при увеличении числа оборотов вала двигателя возрастает по закону, близкому к линейному. При некотором числе оборотов кривые P_M и P_i пересекаются, и эффективная мощность будет равна ну-

лю. Такой режим обеспечивает, так называемое, разностное число оборотов $n_{\text{разн}}$, при котором двигатель будет работать на режиме холостого хода, так как вся индикаторная мощность затрачивается на преодоление механических потерь.

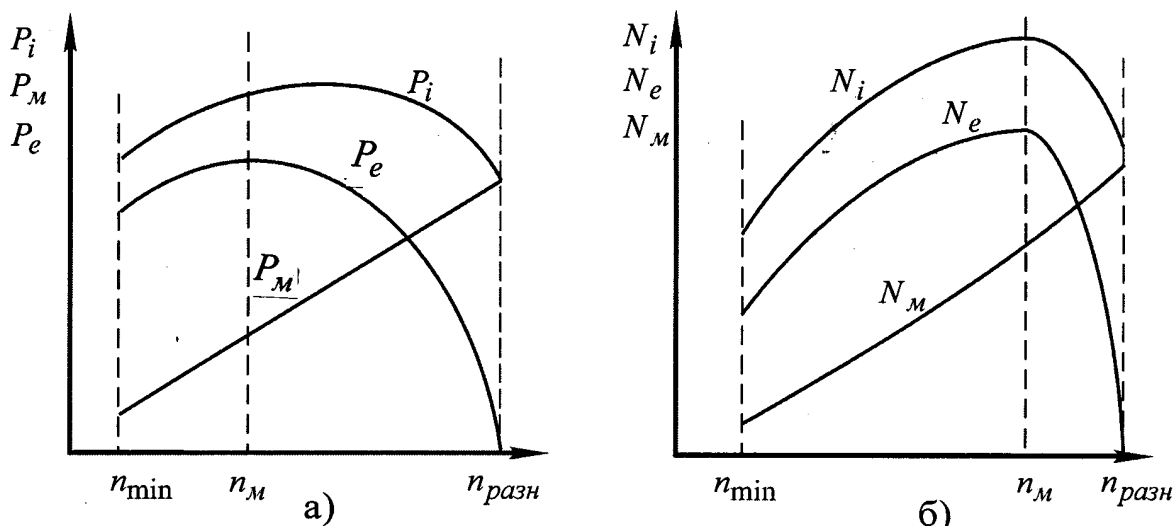


Рисунок 2 – Изменение основных показателей двигателей от оборотов коленчатого вала:

а – изменение давления от оборотов; б – изменение мощности от оборотов

При полном открытии дроссельной заслонки двигатель не может работать устойчиво ниже некоторой минимальной скорости n_{min} , так как в таких условиях низкая скорость движения воздуха в карбюраторе не обеспечивает качественного смесеобразования, а обратный выброс снижает цикловой заряд. С увеличением скорости вращения коленчатого вала от n_{min} величина P_e , следовательно, и крутящий момент возрастают и достигают максимальных значений при n_M .

При дальнейшем увеличении скорости величина P_e и крутящий момент M_e начинают уменьшаться, однако эффективная мощность, пропорциональная произведению Pn , продолжает возрастать и достигает своего максимального значения при более высокой скорости n_N .

Для транспортных двигателей значение n_M чаще всего составляет $(0,5 \div 0,65) n_N$.

При увеличении скорости вращения коленчатого вала выше n_N эффективная мощность двигателя будет быстро падать, главным образом, из-за уменьшения коэффициента наполнения и увеличения механических потерь. При скорости $n_{разн}$ эффективная мощность двигателя станет равна нулю. При таком режиме работы двигателя резко усиливается износ его деталей. Для исключения возможности работы при $n_{разн}$ многие двигатели оборудуются ограничителями скорости вращения коленчатого вала. Преимущественно это двигатели грузовых автомобилей.

Для условий эксплуатации каждого конкретного двигателя характерна некоторая совокупность сил сопротивления, преодолевая которые, двигатель совершает полезную работу. Для условий эксплуатации автомобильного двигателя это сила сопротивления качению, сила сопротивления подъему, сила инерции, сила аэродинамического сопротивления. Причем существует определенная зависимость сил сопротивления и их мощности от скорости вращения коленчатого вала двигателя (рис. 3).

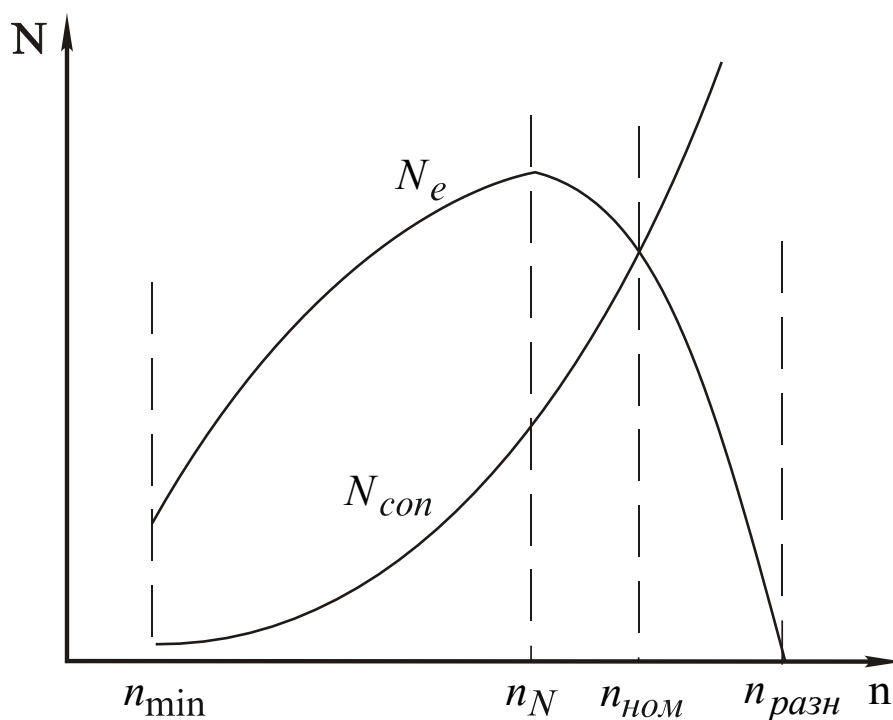


Рисунок 3 – Зависимость сил сопротивления и их мощности от скорости вращения коленчатого вала двигателя

Увеличение скорости вращения коленчатого вала двигателя возможно только при условии $N_e > N_{сопр}$, поэтому точка пересечения графиков N_e и $N_{сопр}$ определяет максимально возможную скорость двигателя для данных условий эксплуатации. Эта скорость называется номинальной. Эффективная мощность, развиваемая двигателем при этой скорости, также называется номинальной.

Таким образом, если максимальная мощность двигателя – это характеристика самого двигателя непосредственно, то номинальная мощность двигателя – это его характеристика, учитывающая условия эксплуатации.

Рассмотрим характер изменения часового и удельного расходов топлива по внешней скоростной характеристике, для чего обратимся к выражению, связывающему часовой расход топлива с параметрами рабочего процесса двигателя:

$$G_t = C \eta_v n, \quad (5)$$

где C – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности двигателя, физико-химические свойства и состав безвоздушной смеси.

Как видно из формулы, при постоянном составе смеси величина часового расхода топлива в первую очередь определяется коэффициентом наполнения и скоростью вращения коленчатого вала. При увеличении скорости вращения коленчатого вала часовой расход топлива возрастает. Но так как коэффициент наполнения с приближением к $n_{разн}$ уменьшается, крутизна кривой G_t с увеличением скорости снижается (рис. 4).

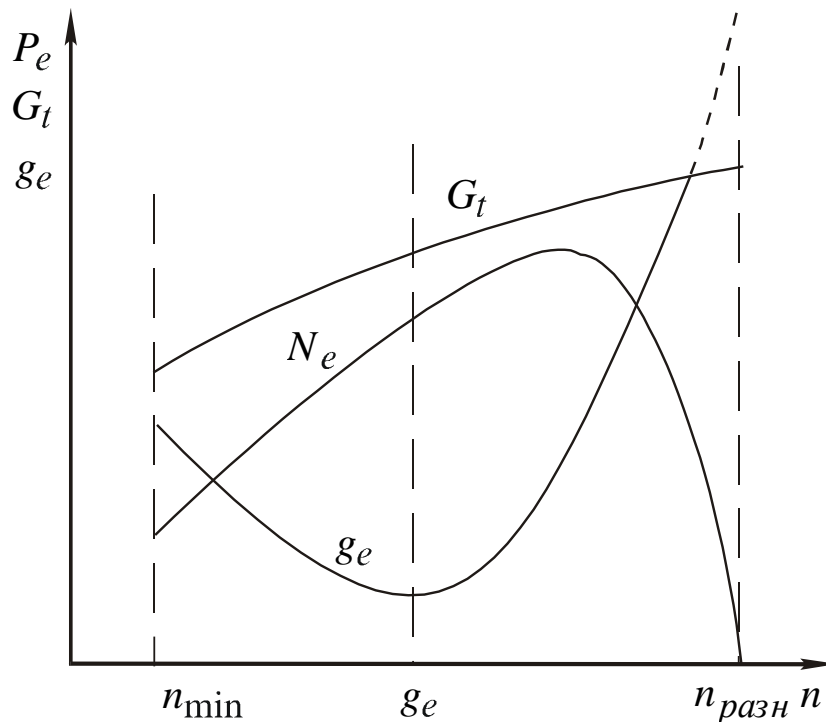


Рисунок 4 – Скоростная характеристика двигателя

Минимальная величина удельного расхода топлива по внешней скоростной характеристике обычно наблюдается в зоне средних скоростей.

Увеличение удельного эффективного расхода топлива с уменьшением скорости объясняется, в основном, возрастанием тепловых потерь, в первую очередь обусловленных ухудшением процесса смесеобразования. С увеличением скорости удельный расход топлива возрастает из-за увеличения механических потерь и соответствующего снижения η_m .

Поскольку эффективный удельный расход топлива определяется по формуле

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e}, \quad (6)$$

то на скоростных режимах двигателя, при которых среднее эффективное давление, а следовательно, и эффективная мощность равны нулю при $n_{разн}$, величина g_e стремится к бесконечности.

Внешняя скоростная характеристика является основной паспортной характеристикой двигателя. На основании этой характеристики двигателя заводом-изготовителем указываются основные

технические показатели двигателя, такие как $N_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность, гарантируемая заводом – изготовителем при номинальном числе оборотов $n_{\text{НОМ}}$; максимальный крутящий момент двигателя $M_{e_{\text{max}}}$ и соответствующая ему скорость n_{M_e} ; минимальный удельный расход топлива по внешней скоростной характеристике $g_{e_{\text{min}}}$ и соответствующая ему скорость n_{g_e} . При анализе внешней характеристики оценивают также величину максимальной мощности двигателя $N_{e_{\text{max}}}$ и соответствующую ей скорость n_{N_e} , значение минимальной устойчивой скорости n_{min} , максимальную величину коэффициента наполнения и характер его изменения в зависимости от скоростного режима, механический КПД двигателя и другие показатели. Важным оценочным параметром является коэффициент запаса крутящего момента:

$$K = \frac{M_{\text{max}} - M_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}}. \quad (7)$$

Чем больше коэффициент запаса крутящего момента, тем выше способность двигателя сохранять постоянную скорость вращения коленчатого вала при изменении внешних сил сопротивления.

3. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Скоростная характеристика снимается при постоянном положении дроссельной заслонки. Перед проведением испытаний двигатель прогревают на малой нагрузке, затем устанавливают дроссельную заслонку карбюратора в фиксированное положение, при котором разрешено снимать характеристику.

Тормозом устанавливают нагрузочный режим двигателя, соответствующий минимальной устойчивой скорости двигателя. Это первая точка характеристики. После стабилизации теплового режима проводят замеры необходимых параметров работы двигателя, которые записывают в протокол испытаний.

Далее, изменяя регулировку тормоза, устанавливают следующий скоростной режим двигателя, при котором после стабилизации теплового режима производят замеры параметров работы

двигателя на второй точке характеристики и т. д. до скоростного режима, соответствующего $n = 1,1n_{\text{ном}}$.

Для построения скоростной характеристики двигателя число скоростных режимов, при которых проводятся измерения, должно быть 6-8, то есть достаточным, чтобы выявить форму и характер кривых во всём диапазоне обследуемых режимов. Обычно скоростные режимы устанавливаются кратными 100 об/мин.

Замер каждой точки характеристики включает измерение следующих параметров работы двигателя: скорости вращения коленчатого вала n , усилия на весах тормоза P , времени расхода t заданной порции топлива ΔG , расхода воздуха G_B .

По результатам измерений рассчитываются следующие показатели: M_e , N_e , G_t , g_e , G_B , η_v , α . По результатам вычислений строятся графики.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчет должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $M_e(n)$, $N_e(n)$, $G_t(n)$, $g_e(n)$, $\eta_v(n)$, $\alpha(n)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{Pn}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Крутящий момент

$$M_e = P \cdot 7,162 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч},$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с.} \cdot \text{ч)},$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_L n \rho_B},$$

где $V_L = 1,478$ л – литраж двигателя; ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха

$$\rho_B = 0,4645 \frac{P_B}{273 + t_B} \text{ кг/м}^3,$$

где P_B – атмосферное давление, мм рт. ст.; t_B – температура воздуха, °С.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что называется скоростной характеристикой двигателя?
2. Чем отличается внешняя скоростная характеристика от частичной?
3. Какие показатели можно определить по внешней скоростной характеристике?
4. Объясните характер изменения по внешней скоростной

характеристике следующих показателей рабочего процесса: M_e , N_e , G_t , g_e , G_B , η_v , α .

5. Что такое коэффициент запаса крутящего момента?
6. Что такое максимальная и номинальная мощность?
7. Чем определяется минимальная и максимальная скорость вращения коленчатого вала?

Лабораторная работа 5

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное исследование влияния нагрузки двигателя на показатели его рабочего процесса.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель, выводят его на заданный преподавателем скоростной режим и измеряют необходимые для построения нагрузочной характеристики показатели двигателя. По результатам измерений и расчётов оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нагрузочной характеристикой называется зависимость показателей рабочего процесса двигателя (G_t , g_e , α , η_v и др.) от нагрузки при постоянной скорости вращения коленчатого вала.

Автомобильный карбюраторный двигатель в эксплуатации сравнительно редко развивает полную мощность (режим разгона, движение в тяжёлых дорожных условиях или с максимальной скоростью) и подавляющую часть времени работает при неполных (частичных) нагрузках.

В карбюраторном двигателе уменьшение мощности при постоянном скоростном режиме осуществляется прикрытием дрос-

сельной заслонки карбюратора – дросселированием. При этом уменьшаются плотность, а следовательно, и вес свежего заряда, поступающего в цилиндр. Кроме того, при различных положениях дроссельной заслонки дозирующие системы карбюратора приготавливают топливовоздушную смесь с различным составом. Такой способ регулирования мощности двигателя (изменением количества и качества смеси) называется смешанным.

Серия нагрузочных характеристик двигателя, полученная для различных скоростей вращения коленчатого вала, позволяет:

- оценить экономичность работы двигателя на различных нагрузках и сопоставить её с экономичностью других двигателей;

- провести проверку и анализ установленных регулировок систем питания и зажигания (в сравнении с регулировочными характеристиками);

- выбрать наиболее выгодные эксплуатационные режимы работы двигателя.

При построении таких характеристик изменение нагрузки двигателя наносится по оси абсцисс либо в абсолютных значениях величин P_e , (M_e) или N_e , либо в относительных – в процентах от значений M_e (P_e) или N_e , соответствующих полному открытию дросселя. Примерный характер изменения основных показателей рабочего процесса двигателя по нагрузочной характеристике приведен на рисунке.

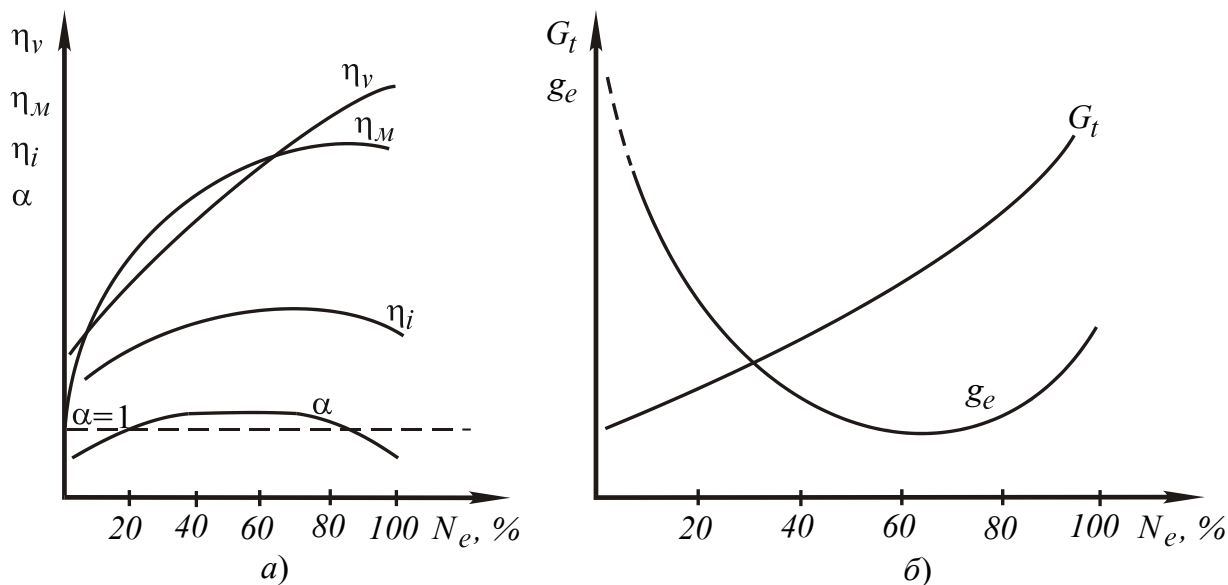


Рисунок 1 – Зависимость основных показателей двигателя от нагрузки:

а – КПД и коэффициент избытка воздуха; б – часовой и удельный эффективный расходы топлива

Для анализа характера изменения по нагрузочной характеристике часового расхода топлива G_t и удельного эффективного расхода топлива g_e воспользуемся аналитическими зависимостями, известными из теории рабочих процессов ДВС:

$$g_e = A \frac{1}{\eta_i \eta_M}; \quad (1)$$

$$G_t = B \frac{\eta_v}{\alpha} n, \quad (2)$$

где A и B – константы.

Изменение часового расхода топлива по нагрузочной характеристике карбюраторного двигателя определяется, как следует из формулы (2), значением коэффициента наполнения и составом смеси α ($n = \text{const}$).

Характер изменения α по нагрузочной характеристике в основном определяется характеристиками дозирующих систем карбюратора. Максимальная мощность двигателя может быть получена при работе его на обогащённой смеси $\alpha = 0,85 \div 0,9$. Такой состав смеси называется мощностным, его обеспечивают главная дозирующая система и экономайзер, включающийся при откры-

тии дроссельной заслонки, на режиме, близком к максимальному. Однако при этом из-за неполного сгорания топлива индикаторный КПД заметно уменьшается (см. рис. 1).

На средних нагрузочных режимах необходимость в обогащении смеси отпадает, поэтому экономайзер отключается, а главная дозирующая система приготавливает обеднённую экономичную смесь $\alpha = 1,15 \div 1,20$. Это приводит к увеличению индикаторного КПД.

На малых нагрузочных режимах и холостом ходу приходится вновь обогащать смесь до $\alpha = 0,6 \div 0,8$. Это вызвано тем, что при дросселировании снижаются давление и температура конца сжатия, а также увеличивается относительное количество остаточных газов (γ_r) в смеси. Такая смесь плохо воспламеняется, и период задержки её воспламенения увеличивается. Для обеспечения устойчивой работы двигателя на таких режимах система холостого хода обогащает смесь, что приводит к уменьшению индикаторного КПД.

Второй фактор, влияющий на величину часового расхода топлива, – коэффициент наполнения (см. формулу (2)). По мере открытия дроссельной заслонки гидравлическое сопротивление системы впуска уменьшается, коэффициент наполнения увеличивается и пропорционально ему увеличивается часовой расход топлива.

Как следует из формулы (1), удельный эффективный расход топлива определяется величиной, обратной произведению $\eta_i \eta_m$. Характер и причины изменения индикаторного КПД были рассмотрены выше. Механический КПД двигателя определяется по формуле

$$\eta_m = 1 - \frac{P_M}{P_i} \quad (3)$$

и достигает наибольших значений при полностью открытой дроссельной заслонке. По мере прикрытия заслонки механический КПД быстро уменьшается. Это вызвано тем, что с прикрытием дросселя резко уменьшается среднее индикаторное давление, величина же среднего давления механических потерь остаётся приблизительно постоянной, так как $n = \text{const}$.

Таким образом, относительные потери, затрачиваемые на трение в двигателе, по мере уменьшения нагрузки всё время возрастают.

На режиме холостого хода, когда вся индикаторная работа затрачивается только на преодоление сил трения ($P_i = P_M$), механический КПД двигателя становится равным нулю.

Наименьший удельный эффективный расход топлива по нагрузочной характеристике достигается при максимальном значении произведения $\eta_i \eta_M$ на режимах, близких к полному открытию дросселя, но до включения экономайзера, когда карбюратор подаёт в двигатель обеднённую смесь. При переходе к полным нагрузкам, несмотря на увеличение η_M , удельный эффективный расход топлива увеличивается вследствие снижения η_i , вызванного обогащением смеси.

При прикрытии дросселя удельный эффективный расход топлива возрастает от значения $g_{e_{\min}}$ и по мере приближения к режиму холостого хода стремится к бесконечности. В этом случае основной причиной ухудшения экономичной работы двигателя при снижении нагрузки является уменьшение η_M ; снижению экономичности на малых нагрузках способствует также и уменьшение индикаторного КПД.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После прогрева двигателя на малой нагрузке полностью открывают дроссельную заслонку. Одновременно регулировкой тормоза устанавливают скорость вращения коленчатого вала, при которой намечено снимать характеристику. После стабилизации теплового режима измеряют следующие величины: показание весов тормоза P , время τ расхода двигателем порции топлива ΔG , часовой расход воздуха G_B (показания дифференциального манометра h). После записи измеренных параметров устанавливают следующий режим работы двигателя, для чего несколько уменьшают угол открытия дроссельной заслонки карбюратора. Скорость вращения коленчатого вала двигателя поддерживают постоянным посредством тормозной нагрузки после стабилизации

скоростного и теплового режимов работы двигателя на установленной нагрузке производят замеры. Таким образом, изменяя нагрузку двигателя до режима холостого хода, получают 6-8 точек по нагрузочной характеристике. С целью наиболее точного выявления режима, при котором наблюдается наилучшая экономичность работы двигателя, в области нагрузок от $N_{e_{\max}}$ до 50 % $N_{e_{\max}}$ число нагрузочных режимов увеличивают.

По результатам испытаний после обработки опытных данных по соответствующим формулам строят графические зависимости изменения часового, удельного эффективного расхода топлива, коэффициента избытка воздуха и коэффициента наполнения от нагрузки двигателя.

При построении нагрузочной характеристики двигателя должны быть выявлены следующие характерные точки:

- 1) минимальный удельный эффективный расход топлива g_{\min} ;
- 2) часовой расход топлива при полном открытии дроссельной заслонки карбюратора $G_{t_{\max}}$;
- 3) часовой расход топлива на режиме холостого хода $G_{t_{\min}}$;
- 4) коэффициенты избытка воздуха, соответствующие работе при полностью открытом дросселе, при минимальном удельном эффективном расходе топлива и на холостом ходу.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $G_t(N_e)$, $g_e(N_e)$, $\eta_v(N_e)$, $\alpha(N_e)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P n}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч,}$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч,}$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с. \cdot ч).}$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_L n \rho_B},$$

где $V_L = 1,478$ л – литраж двигателя; ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха

$$\rho_B = 0,4645 \cdot \frac{P_B}{273 + t_B} \text{ кг/м}^3,$$

где P_B – атмосферное давление, мм рт. ст.; t_B – температура воздуха, °С.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется нагрузочной характеристикой?
2. Объясните характер изменения показателей рабочего процесса двигателя по нагрузочной характеристике (рис. 1).
3. Какие данные можно получить из нагрузочной характеристики?
4. Какие дозирующие системы имеются в карбюраторе и на каких нагрузочных режимах они работают?
5. Почему экономайзер, служащий для обогащения смеси, получил название от слова «экономия»?
6. Что такое мощностной и экономичный состав смеси?
7. Что такое смешанное регулирование мощности двигателя, качественное регулирование, количественное регулирование? В каких двигателях применяются эти способы регулирования?

Лабораторная работа 6

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление лекционного материала по теории рабочих процессов автомобильных двигателей и экспериментальное построение нагрузочной характеристики дизеля.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель и после прогрева на малой нагрузке выводят его на заданный преподавателем скоростной режим. Замеряют показатели рабочего процесса, необходимые для построения нагрузочной характеристики. По результатам испытаний оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нагрузочной характеристикой дизеля называется зависимость показателей рабочего процесса (G_t , g_e , α , η_v и др.) от

нагрузки при постоянной скорости вращения коленчатого вала.

По нагрузочной характеристике можно определить наиболее экономичный режим работы двигателя под нагрузкой, часовой расход топлива на холостом ходу и режиме максимальной мощности. Кроме того, по нескольким нагрузочным характеристикам для разных скоростных режимов можно построить скоростную характеристику.

В силу особенностей способа смесеобразования, сгорания и качественного регулирования мощности, нагрузочные характеристики дизелей отличаются от аналогичных характеристик карбюраторных двигателей.

У дизелей образование топливовоздушной смеси происходит непосредственно в цилиндре в весьма короткие промежутки времени, измеряемые тысячными долями секунды. При этом коэффициент избытка воздуха α является средней величиной для количества топлива и воздуха, участвующих в данном цикле. В действительности, впрыскиваемое топливо распределяется по объему камеры сгорания неравномерно, образуя зоны с различной концентрацией топлива и воздуха, т. е. с различными истинными значениями α . Вследствие этого в дизеле возможно значительное обеднение смеси до $\alpha = 4 \div 6$, что позволяет осуществлять так называемое качественное регулирование мощности вплоть до холостого хода.

При качественном регулировании, т. е. при изменении состава смеси изменение мощности двигателя при $n = \text{const}$ происходит за счет увеличения или уменьшения только количества топлива, впрыскиваемого за цикл при почти неизменном количестве воздуха. Практически это осуществляется изменением положения рейки топливного насоса высокого давления. При этом коэффициент наполнения η_v , определяющий количество поступающего воздуха в цилиндр, с изменением нагрузки остается почти постоянным и лишь несколько уменьшается с увеличением мощности, вследствие увеличивающегося подогрева заряда (рисунок 1).

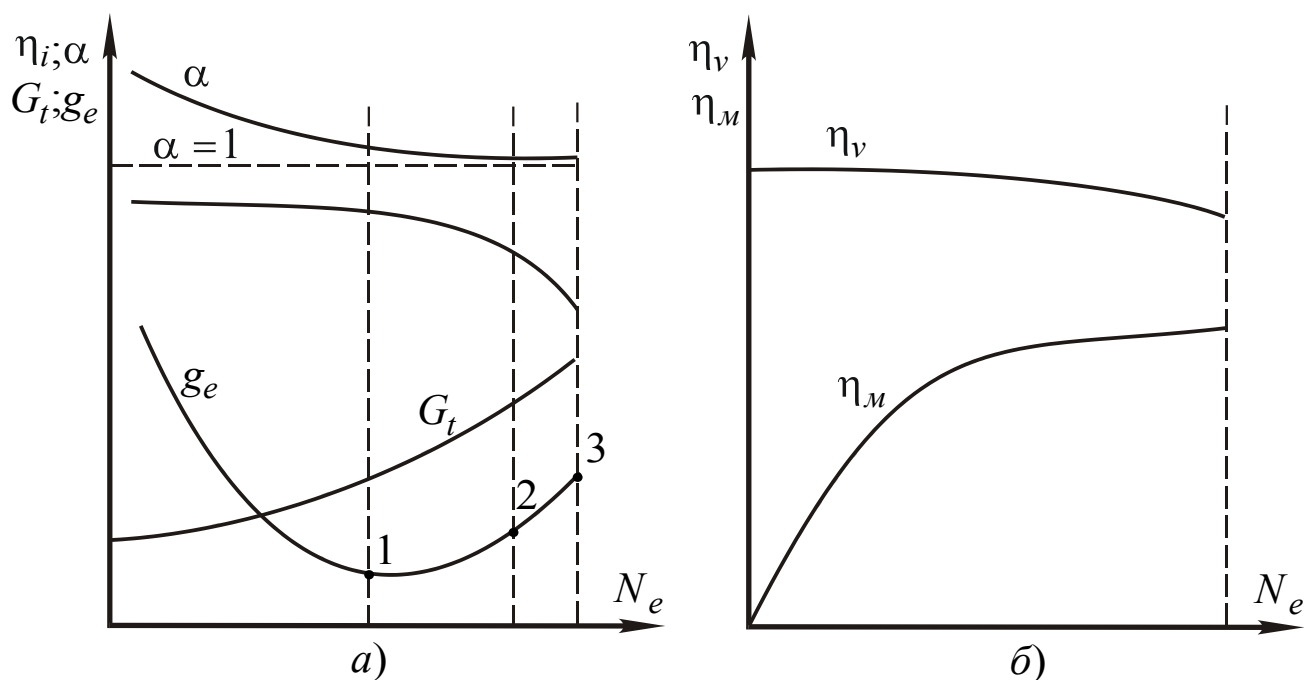


Рисунок 1 – Изменение основных показателей дизеля от нагрузки:

а – расход топлива, коэффициент избытка воздуха и индикаторный КПД; б – коэффициент наполнения и механический КПД

Поэтому с уменьшением нагрузки коэффициент избытка воздуха, как это видно из формулы

$$\alpha = \frac{G_B}{\ell_0 G_t}, \quad (1)$$

будет зависеть в основном от изменения часового расхода топлива. Например, с уменьшением G_t мощность уменьшается, а α возрастает.

У дизелей с увеличением α до значений 4,5÷6,0 индикаторный КПД возрастает в основном вследствие увеличения η_t из-за уменьшения теплоемкостей продуктов сгорания. С уменьшением α (при увеличении нагрузки) индикаторный КПД понижается и особенно резко при значениях α , приближающихся к единице. Наибольшая мощность двигателей по нагрузочной характеристике получается при максимальном значении величины η_i/α , определяющей качество протекания рабочего процесса. У дизелей $N_{e_{\max}}$ достигается при значении α , несколько большем единицы ($\alpha = 1,05 \div 1,10$). Однако уже при уменьшении коэффициен-

та избытка воздуха ниже значения $\alpha_{\min} = 1,25 \div 1,6$, зависящих от типа камеры сгорания, способа смесеобразования, сгорание ухудшается, вследствие резко возрастающей неоднородности смеси и недостатка воздуха в отдельных зонах камеры.

Ухудшение процесса горения наглядно проявляется в увеличении дымности отработавших газов, сопровождается резким ухудшением экономичности, перегревом двигателя и нагарообразованием. Вследствие этого длительная работа дизелей на режимах, близких к режиму максимальной мощности, т. е. при $(\eta_i / \alpha)_{\max}$, не допустима. Для предотвращения чрезмерного обогащения смеси максимальную цикловую подачу топлива ограничивают установкой специальных упоров рейки, так как топливные насосы изготавливаются обычно с запасом по производительности.

Качественное регулирование мощности дизелей (отсутствие дросселирования на впуске в отличие от карбюраторных двигателей), возможность работы на бедных смесях и высокие степени сжатия определяют существенно бóльшую экономичность рабочего процесса дизелей, особенно на режимах частичных нагрузок (до 20 ÷ 30 %), в сравнении с карбюраторными двигателями.

Примерный характер изменения основных показателей дизеля по нагрузочной характеристике показан на рисунке.

Характер изменения кривой удельного эффективного расхода топлива определяется величиной, обратной произведению $\eta_i \eta_M$:

$$g_e = \frac{632 \cdot 10^3}{H u \eta_i \eta_M} \quad \text{или} \quad g_e = C \frac{1}{\eta_i \eta_M}. \quad (2)$$

В связи с этим кратко рассмотрим зависимости и от нагрузки. Увеличение количества подаваемого топлива с увеличением нагрузки, а также некоторые снижения η_v приводят к уменьшению α и, следовательно, снижению индикаторного КПД. Некоторое увеличение η_i с увеличением N_e возможно лишь в области весьма малых нагрузок, т. е. при очень бедных смесях.

Механический КПД двигателя:

$$\eta_M = 1 - \frac{N_M}{N_i} \quad (3)$$

с увеличением нагрузки возрастает, так как абсолютная величина индикаторной мощности N_M , затрачиваемой на механические потери, изменяется незначительно, её относительная величина – N_M / N_i по мере увеличения N_i снижается.

Рассматривая изменения удельного эффективного расхода топлива (см. рисунок), можно увидеть, что резкое уменьшение при переходе от холостого хода к малым нагрузкам обусловлено в начале одновременным увеличением механического и индикаторного КПД.

Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к уменьшению η_i , но более резкое возрастание механического КПД продолжает обеспечивать плавное снижение удельного расхода топлива. Очевидно значение $g_{e_{\min}}$ (точка 1 на рисунке) будет получено при нагрузке, когда произведение $\eta_i \eta_M$ станет максимальным: величина α при этом находится в пределах $1,6 \div 1,8$. При увеличении нагрузки от точки 1 удельный расход топлива на участке 1–2 плавно возрастает, вследствие более значительного уменьшения α и, следовательно, ухудшения условий смесеобразования и сгорания. Это приводит к возрастающей неполноте сгорания, увеличению догорания на линии расширения и увеличению дыма в отработавших газах. Точка 2 характеристики называется предельной по началу дымления и соответствует достижению минимально допустимого значения коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1,2 \div 1,5$, при котором дымление находится в допустимых пределах (отработавшие газы прозрачны).

Дальнейшая форсировка дизеля от точки 2 (участка 2–3) путём увеличения подачи топлива хотя и приводит к некоторому увеличению мощности, но сопровождается резким падением экономичности, перегревом двигателя, появлением чёрного дыма в отработавших газах, что является следствием резкого ухудшения процесса сгорания при уменьшении α ниже допустимых минимальных пределов α_{\min} . Точка 3 соответствует достижению максимальной мощности на данном скоростном режиме, т. е. усло-

вию, когда фактор η_i / α имеет максимальное значение и величина α близка к единице. Длительная эксплуатация дизеля на этом режиме, вследствие отмеченных ранее причин, невозможна без снижения долговечности и надежности работы. По этому предельно допустимая нагрузка ($N_{e_{\text{ном}}}$) ограничивается точкой начала дымления (точка 2), которая ориентировочно может быть определена по нагрузочной характеристике путём касания луча, проведённого из начала координат кривой g_e . В точке 2 отношение g_e / N_e или g_e / P_e достигает минимума.

Следует отметить, что получение участка 2–3 характеристики на серийных двигателях невозможно из-за наличия упора рейки.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После прогрева двигателя одновременным плавным регулированием подачи топлива (перемещением рейки) и скорости (регулировкой тормоза) выводят двигатель на максимальное значение крутящего момента при выбранном скоростном режиме. Полученный режим работы будет соответствовать максимальной мощности двигателя при заданной скорости.

Через некоторое время, достаточное для стабилизации теплового состояния и скоростного режима двигателя, производят замеры усилия на весах тормоза P , времени t расхода заданной дозы топлива ΔG , часового расхода воздуха G_B (показания дифференциального манометра). Далее переходят к следующему режиму, уменьшая цикловую подачу топлива перемещением рейки топливного насоса и одновременно поддерживая регулировкой тормоза прежнюю заданную скорость. После стабилизации теплового состояния и скоростного режима производят необходимые замеры. Так, последовательно уменьшая цикловую подачу топлива и сохраняя постоянной заданную скорость двигателя, получают 6–8 точек характеристики. В области нагрузок от $N_{e_{\text{max}}}$ до 60 % N_e замеры следует производить более часто, т. е. при небольшом интервале изменения мощности, с целью более

точного выявления зоны минимального удельного расхода топлива. Минимальные нагрузки обычно ограничиваются 15–20 % мощности на данном скоростном режиме.

По результатам измерений вычисляют основные показатели рабочего процесса и строят нагрузочную характеристику, на которой определяют характерные точки: $g_{e_{\min}}$, $G_{t_{x.x}}$, $G_{t_{\max}}$.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $G_t(N_e)$, $g_e(N_e)$, $\eta_v(N_e)$, $\alpha(N_e)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{Pn}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч},$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с. \cdot ч)}.$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_L n \rho_B},$$

где $V_{л} = 1,478$ л – литраж двигателя; $\rho_{в}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха

$$\rho_{в} = 0,4645 \cdot \frac{P_{в}}{273 + t_{в}} \text{ кг/м}^3,$$

где $P_{в}$ – атмосферное давление, мм рт. ст.; $t_{в}$ – температура воздуха, °С.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_{в}}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют нагрузочной характеристикой дизеля? Какие характерные точки можно отметить на этой характеристике?
2. Что такое качественное регулирование мощности, как оно осуществляется?
3. Каковы пределы изменения α у дизелей по нагрузке?
4. Объясните характер изменения основных показателей рабочего процесса (G_t , g_e , α , η_v , η_i , η_m) по нагрузочной характеристике.
5. Что такое предел дымления и как он может быть определён по нагрузочной характеристике? Каковы при этом значения α_{\min} ?
6. Чем объясняется резкое ухудшение экономичности дизеля (повышение g_e) в области малых нагрузок?
7. Чем объясняется лучшая экономичность дизелей по сравнению с карбюраторными двигателями?
8. Какова методика снятия нагрузочной характеристики дизеля на стенде?

Лабораторная работа 7

ВНЕШНЯЯ СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ С РЕГУЛЯТОРНОЙ ВЕТВЬЮ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное построение и анализ скоростной характеристики дизеля. После изучения теоретических положений изложенных ниже, запускают дизель. После прогрева на малой нагрузке устанавливают нагрузочный режим по указанию преподавателя и проводят измерения, необходимые для построения скоростной характеристики. По результатам испытаний оформляют отчет.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Скоростные характеристики дизеля

Скоростной характеристикой дизеля называется зависимость показателей рабочего процесса (N_e , M_e , G_t , g_e и др.) от скорости вращения коленчатого вала при постоянном положении рейки топливного насоса высокого давления.

Скоростная характеристика, соответствующая максимальной мощности на каждом скоростном режиме, называется внешней характеристикой. Такая характеристика является паспортом двигателя.

Внешняя характеристика карбюраторных двигателей получается при полностью открытой дроссельной заслонке. Понятие внешней характеристики дизелей вследствие особенностей дизельного процесса будет зависеть от регулировки подачи топлива на номинальных оборотах, т. е. от установки рейки, топливного насоса высокого давления. В связи с этим различают следующие внешние характеристики дизеля.

Если при снятии характеристики положение рейки на номинальных оборотах соответствует оптимальному регулированию, то есть подобранному по пределу дымления (точка 2 на нагрузочной характеристике), а на остальных скоростных режимах остается постоянным, то такая внешняя характеристика называется нормальной (рис. 1, кривая 1) или эксплуатационной внешней характеристикой. Следует отметить, что по нормальной характеристике на скоростных режимах, меньших номинального, предел дымления обычно не достигается вследствие некоторого уменьшения цикловой подачи топлива и увеличения наполнения уменьшением оборотов, то есть увеличения α . Это приводит к относительному снижению располагаемой мощности по мере уменьшения скорости.

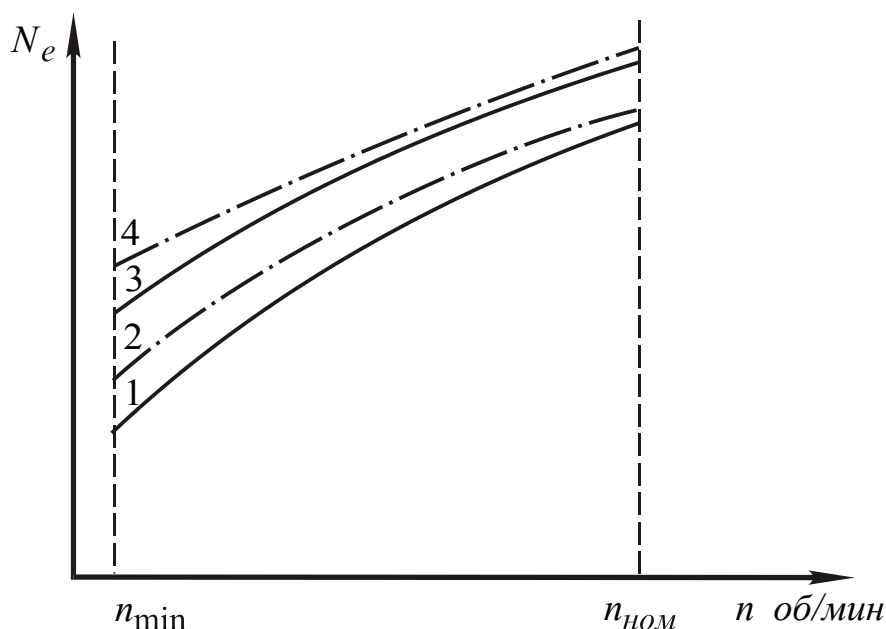


Рисунок 1 – Внешняя скоростная характеристика дизеля

Внешняя характеристика называется предельной по началу дымления, или оптимальной (рис. 1, кривая 2), если все точки её соответствуют нагрузкам, полученным по пределу дымления. Кривая 3 (рис. 1) представляет собой внешнюю характеристику, полученную при таком положении рейки, которое соответствует максимальной мощности при номинальном числе оборотов (точка 3 на нагрузочной характеристике). Такую характеристику называют внешней характеристикой максимальной мощности.

Возможно получить так называемую абсолютную внешнюю

характеристику (кривая 4, рис. 1) при условии, что все точки её будут соответствовать максимально достижимой мощности. Длительная эксплуатация дизелей в обычных условиях по характеристикам 3 и 4 не допустима, так как из-за недостатка воздуха ($\alpha \approx 1,1$) работа сопровождается, как отмечалось, резким ухудшением экономичности, образованием дыма на выхлопе и перегревом двигателя. В связи с этим максимальную подачу топлива ограничивают установкой специального упора перемещения рейки так, чтобы на номинальных оборотах достигался предел дымления (эксплуатационная внешняя характеристика). Специальным корректированием (исправлением) характера изменения цикловой подачи с уменьшением оборотов, о чем будет сказано ниже, эксплуатационную внешнюю характеристику приближают к предельной по началу дымления.

Примерный характер изменения основных показателей рабочего процесса по внешней эксплуатационной характеристике дизеля показан на рис. 2, а, б сплошными линиями; пунктиром показано протекание кривых при корректировании цикловой подачи топлива.

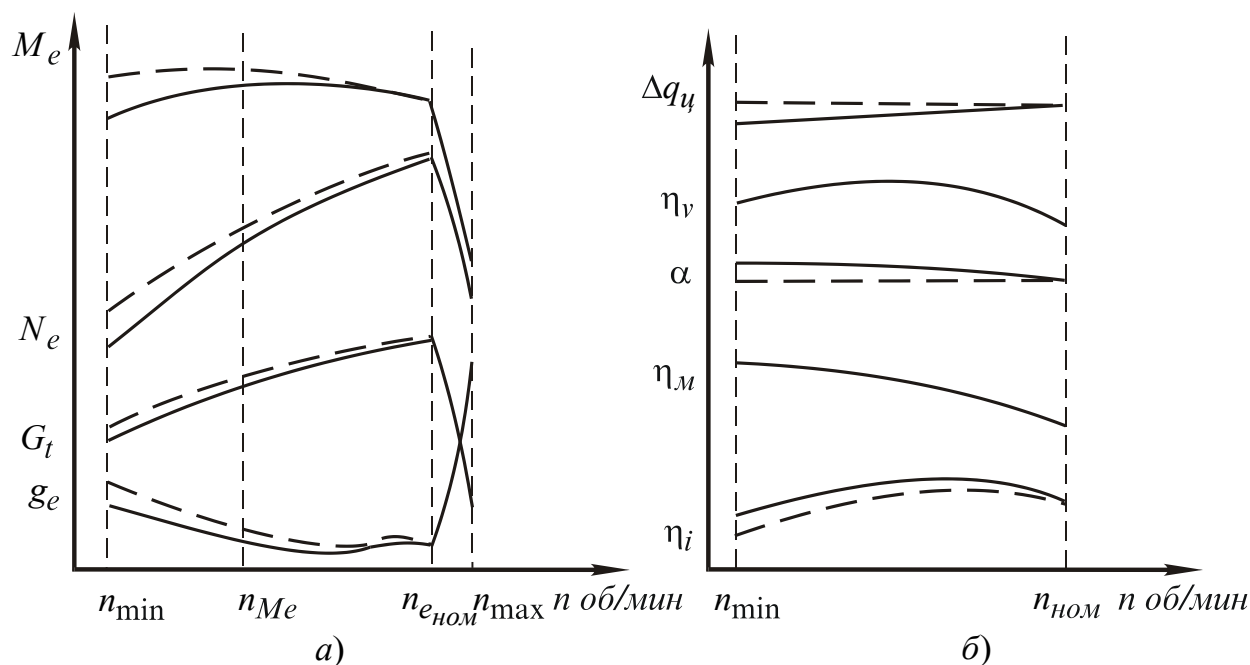


Рисунок 2 – Зависимость основных показателей двигателя от оборотов коленчатого вала:

a – момент, мощность и расход топлива; b – цикловая подача топлива, КПД, коэффициенты наполнения и избытка воздуха

Для выяснения причин, влияющих на характер изменения кривых M_e и N_e по внешней характеристике, воспользуемся уравнениями, известными из теории рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания:

$$M_e = B \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \eta_M \quad \text{или} \quad M_e = B_1 \Delta q_{\text{ц}} \eta_v \eta_M, \quad (1)$$

$$N_e = A \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \eta_M n, \quad (2)$$

где B , B_1 , A – постоянные для каждого двигателя величины, учитывающие литраж, тактность, состояние воздуха на впуске и физико-химические свойства топлива.

Из уравнений (1) и (2) видно, что на характер изменения крутящего момента дизеля влияют цикловая подача топлива $\Delta q_{\text{ц}}$, коэффициент наполнения η_v , индикаторный η_i и механический η_M КПД двигателя. Типичные зависимости $\Delta q_{\text{ц}}$, η_v , η_i , η_M от скоростного режима двигателя приведены на рис. 2, б.

С увеличением скоростного режима двигателя увеличиваются, как известно, гидравлические потери в системах впуска и выпуска. Вследствие этого, коэффициент наполнения дизеля от значения $\eta_{v_{\text{max}}}$ уменьшается с увеличением оборотов. Уменьшение наполнения от $\eta_{v_{\text{max}}}$ с понижением оборотов объясняется увеличением оборотов выброса, то есть влиянием фаз газораспределения, оптимальное значение которых подбирается для скоростного режима, соответствующего примерно $(0,4 \div 0,6)n_{\text{ном}}$.

С увеличением оборотов дизеля мощность, затрачиваемая на преодоление механических потерь, возрастает, и механический КПД соответственно уменьшается. Отмеченное изменение η_v и η_M , как это видно из уравнения (1) и графиков (рис. 2), вызывает уменьшение крутящего момента или среднего эффективного давления с увеличением скоростного режима, причем только в области максимальных оборотов может наблюдаться некоторое уве-

личение M_e , обусловленное соответствующим увеличением наполнения.

Цикловая подача топлива у дизелей, снабженных аппаратурой разделенного типа, с увеличением оборотов несколько возрастает при неизменном положении рейки или в некоторых случаях остается постоянной.

Индикаторный КПД в большинстве случаев с увеличением числа оборотов возрастает лишь до определенного скоростного режима.

В результате суммарного воздействия рассмотренных факторов ($\Delta q_{ц}$, η_v , η_i , η_m) изменение M_e или P_e с увеличением оборотов от числа соответствующего $M_{e_{max}}$ до минимальных происходит полого, то есть в относительно небольших пределах. Пологая характеристика протекания M_e обуславливается у дизелей меньшим, чем у карбюраторных двигателей, коэффициентом запаса крутящего момента:

$$K = \frac{M_{e_{max}} - M_{e_{ном}}}{M_{e_{ном}}}, \quad (3)$$

где $M_{e_{ном}}$ – крутящий момент двигателя при номинальном числе оборотов.

Для увеличения коэффициента K (значение K у дизелей без коррекции 0,03–0,005; при корректировке подачи 0,10–0,15; для карбюраторных двигателей 0,20–0,25), то есть увеличения крутизны графика крутящего момента, а также с целью некоторого повышения мощности при оборотах, меньших, чем номинальные, изменяют характеристику $\Delta q_{ц} = f(n)$ путём установки специальных приспособлений – корректоров топливоподачи. С помощью корректора цикловую подачу увеличивают по мере уменьшения скорости примерно на 10–15 % и тем самым добиваются лучшего согласования подачи топлива и воздуха.

На рис. 2, а, б пунктиром показаны характеристики дизеля при использовании корректора. Увеличение цикловой подачи топлива с уменьшением скорости вызывает, как это показано на графиках, обогащение смеси, что, естественно, несколько уменьшает индикаторный КПД. Но при этом во всём диапазоне оборо-

тов характеристика приближается к предельной по началу дымления и происходит увеличение M_e и N_e .

Характер изменения мощности в зависимости от скорости вращения коленчатого вала находит свое объяснение из анализа уравнения (2). Мощность возрастает по мере повышения скоростного режима до тех пор, пока влияние n оказывается в большей степени, чем уменьшение η_v и η_M . Так как с некоторого значения числа оборотов ($n > n_{\text{НОМ}}$) наполнение и механический КПД начинают уменьшаться тем быстрее, чем больше n , то возможно достижение скоростного режима, при котором мощность будет максимальна и дальнейшее увеличение оборотов приведёт лишь к снижению её.

Характер изменения удельного эффективного расхода топлива от скоростного режима можно проанализировать, воспользовавшись уравнением

$$g_e = C \frac{1}{\eta_i \eta_M}, \quad (4)$$

где $C = \frac{632}{N_u} \cdot 10^3$ – постоянная величина.

Как видно, удельный эффективный расход топлива определяется величиной, обратной произведению $\eta_i \eta_M$. Увеличение g_e от минимального его значения с увеличением оборотов происходит, главным образом, вследствие уменьшения механического КПД, и возможного в области максимальных оборотов снижения η_i . Увеличение g_e в области малых оборотов объясняется снижением η_i из-за увеличения тепловых потерь в стенки и ухудшения распыливания топлива.

Характерными режимами внешней характеристики дизеля (см. рис 2, а) являются:

$n_{\text{НОМ}}$ – режим, соответствующий номинальной мощности $N_{\text{НОМ}}$;

n_{M_e} – режим, соответствующий максимальному крутящему моменту $M_{e_{\text{max}}}$;

- n_{ge} – режим, соответствующий минимальному удельному эффективному расходу топлива;
- n_{max} – максимальная скорость холостого хода, ограничиваемая регулятором.
- n_{min} – минимально устойчивая скорость при полной нагрузке, ограничиваемая регулятором.

2.2. Регулирование скоростного режима и регуляторная характеристика дизелей

Режим работы двигателя внутреннего сгорания характеризуется его нагрузкой и скоростью. Для каждого двигателя обе характеристики режима могут изменяться в определенных пределах.

Тот или иной установившийся скоростной режим работы двигателя в рассматриваемый отрезок времени возможен тогда, когда момент, развиваемый двигателем, и момент, создаваемый внешней нагрузкой, равны.

В отличие от карбюраторных двигателей, дизели обладают значительно меньшей устойчивостью установившегося режима, то есть способностью к саморегулированию скорости при изменении внешней нагрузки. Это объясняется, главным образом, отмеченным ранее пологим характером изменения крутящего момента по скоростной характеристике.

Зависимость крутящего момента от скорости – для дизеля сплошными линиями и карбюраторного двигателя пунктирными – показана на рис. 3, а при различных положениях органа, регулирующего подачу топлива.

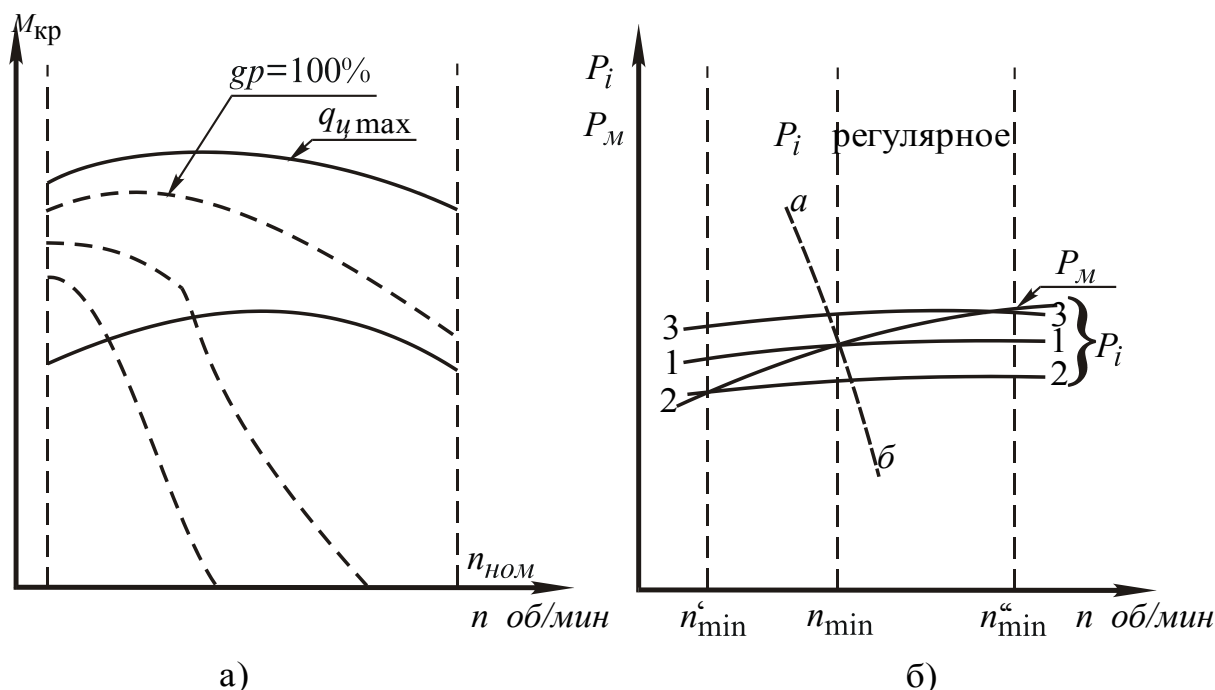


Рисунок 3 – Скоростные характеристики двигателей:
 а – крутящий момент; б – индикаторное и механическое давление

В случае карбюраторного двигателя при малом открытии дроссельной заслонки и резком снижении нагрузки до нуля, число оборотов не превышает номинальное, то есть не опасно (рис. 3, а). При полном открытии дроссельной заслонки разноосное число оборотов хотя и может превысить номинальное, но также не опасно, так как допустима кратковременная работа карбюраторного двигателя с числом оборотов, на 30–50 % бóльшим номинального.

Для дизелей, как видно из рис. 3, а (сплошные линии), при всех положениях органа управления возможно достижение числа оборотов значительно выше номинального (допускаемого), то есть дизели могут разгоняться в случаях резкого уменьшения нагрузки при любой подаче топлива. При полной подаче топлива превышение номинальных чисел оборотов ограничивается у дизелей не только условиями прочности, но и резким ухудшением качества рабочего процесса в связи с заметным снижением α , поэтому дизели, независимо от типа и условий эксплуатации, снабжаются регуляторами, ограничивающими максимальную

скорость вращения коленчатого вала, что в большинстве случаев не обязательно для карбюраторных двигателей.

Существенное значение для транспортных двигателей имеет устойчивость режима холостого хода при малых оборотах (прогрев, переключение передач, кратковременные стоянки). Устойчивость режима холостого хода зависит от характера изменения среднего индикаторного давления P_i и среднего давления трения P_M в зависимости от скорости, а обороты холостого хода определяются их равенством. В случае дизеля с насосом золотникового типа сочетание изменений P_i и P_M получается таким, при котором режим работы неустойчив. Действительно, небольшое изменение среднего давления P_i (линия 2–2 или 3–3) приведет к значительному увеличению скорости n_{\min} или остановке двигателя. Поэтому на дизелях установка регуляторов минимальных оборотов необходима.

Регулятор должен резко увеличивать или уменьшать цикловую подачу топлива в соответствии с изменениями n_{\min} так, чтобы обеспечивалось изменение P_i по кривой $a - б$. При этом будет обеспечена устойчивая работа дизеля. Аналогичная зависимость P_i от n_{\min} , имеющая место у карбюраторных двигателей без регулятора, обеспечивает им устойчивость работы на режиме холостого хода.

Таким образом, дизели должны быть снабжены, как минимум, двухрежимным регулятором, который, воздействуя на рейку топливного насоса, должен обеспечивать устойчивые минимальные обороты холостого хода и ограничивать максимальные обороты.

Как правило, двухрежимный регулятор лишь ограничивает минимальные и максимальные обороты, и регуляторная ветвь характеристики не является рабочей.

Для увеличения устойчивости работы дизелей во всем диапазоне изменения оборотов и при любых нагрузках (положениях рейки топливного насоса высокого давления) применяют так называемые всережимные регуляторы.

Пример характеристики дизеля при использовании всережимного регулятора показан на рис. 4.

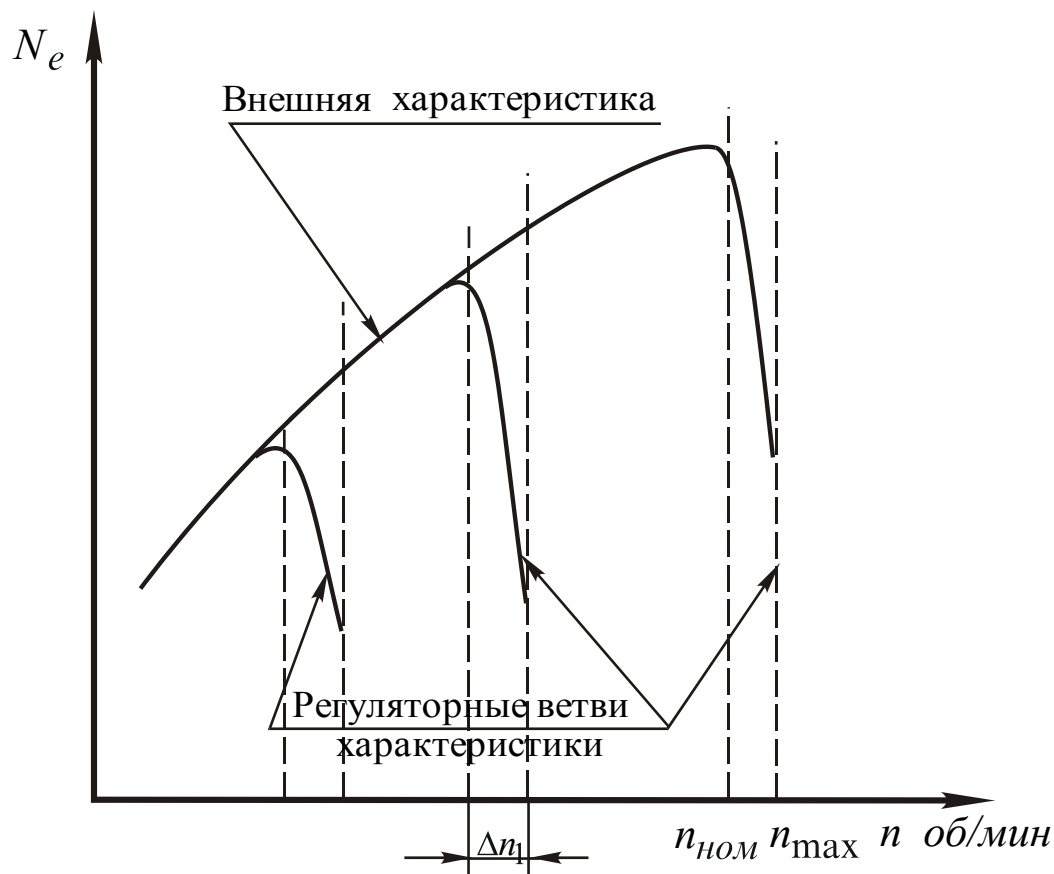


Рисунок 4 – Внешняя скоростная характеристика дизеля с регуляторными ветвями

Основное назначение такого регулятора состоит в том, чтобы поддерживать любой задаваемый скоростной режим двигателя практически постоянным (в пределах неравномерности работы регулятора $\Delta n = 30 \div 70$ об/мин) при изменении нагрузки от холостого хода до нагрузки, соответствующей внешней характеристике. Величина Δn на разных скоростях режима различна и зависит от конструктивных особенностей регулятора. Всережимные регуляторы резко увеличивают устойчивость работы дизелей на частичных нагрузках.

Как видно из рис. 4, по регуляторным ветвям происходит резкое изменение мощности и других показателей рабочего процесса, что затрудняет их анализ. Поэтому характеристику работы двигателя с регулятором удобнее представить в виде так называемой регуляторной характеристики, показанной на рис. 5.

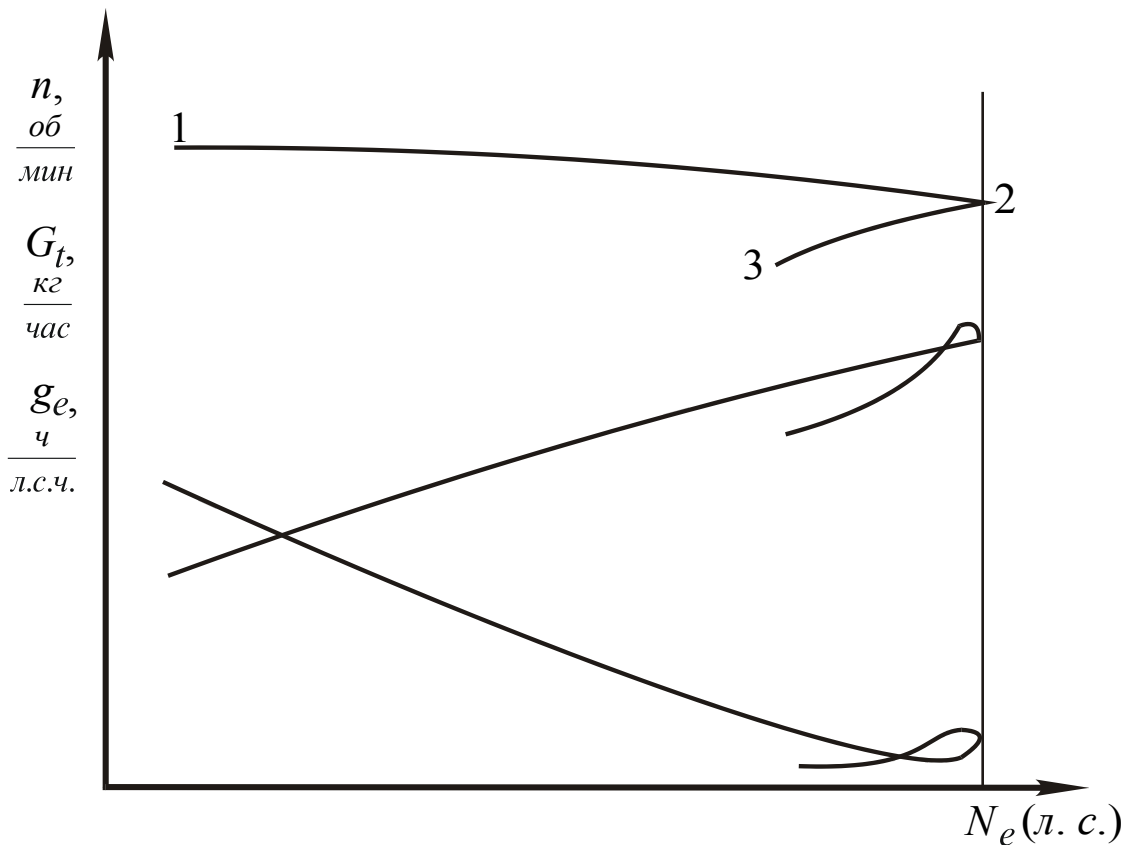


Рисунок 5 – Регуляторные ветви

Участки характеристики 1–2 соответствуют работе «на регуляторе», а участки 2–3 – внешней характеристике. Работа двигателя по регуляторной характеристике (участок 1–2) примерно соответствует работе по нагрузочной характеристике, так как происходит при почти постоянном числе оборотов с изменением нагрузки от холостого хода до максимальных возможностей.

Регуляторные режимы работы особенно характерны для тракторных дизелей, большинства двигателей строительно-дорожных машин и стационарных установок.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После запуска двигателя и прогрева на малой нагрузке устанавливают рейку топливного насоса высокого давления в положение, соответствующее максимальной цикловой подаче, и одновременно регулировкой тормоза устанавливают режим n_{\min} . После стабилизации теплового состояния измеряют усилие на весах

тормоза P , время τ расхода порции топлива ΔG , часовой расход воздуха (показания дифференциального манометра).

Далее устанавливают следующий скоростной режим, оставляя неизменным положение рейки топливного насоса и увеличивая скорость двигателя изменением регулировки тормоза. Интервалы по скоростному режиму выбирают кратным 100 об/мин и повторяют замеры. Начиная с режима, близкого к номинальному числу оборотов $n_{e_{ном}}$, т. е. с момента начала работы регулятора, замеры производят через 20÷30 оборотов до почти полной разгрузки двигателя. На регуляторной ветви характеристики необходимо произвести не менее 4-5 замеров.

После обработки экспериментальных данных по соответствующим формулам должны быть построены необходимые графики, примерный вид которых показан на рис. 5 и рис. 6.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $M_e(n)$, $N_e(n)$, $G_t(n)$, $g_e(n)$, $\eta_v(n)$, $\alpha(n)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{Pn}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин.

Крутящий момент

$$M_e = P \cdot 7,162 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

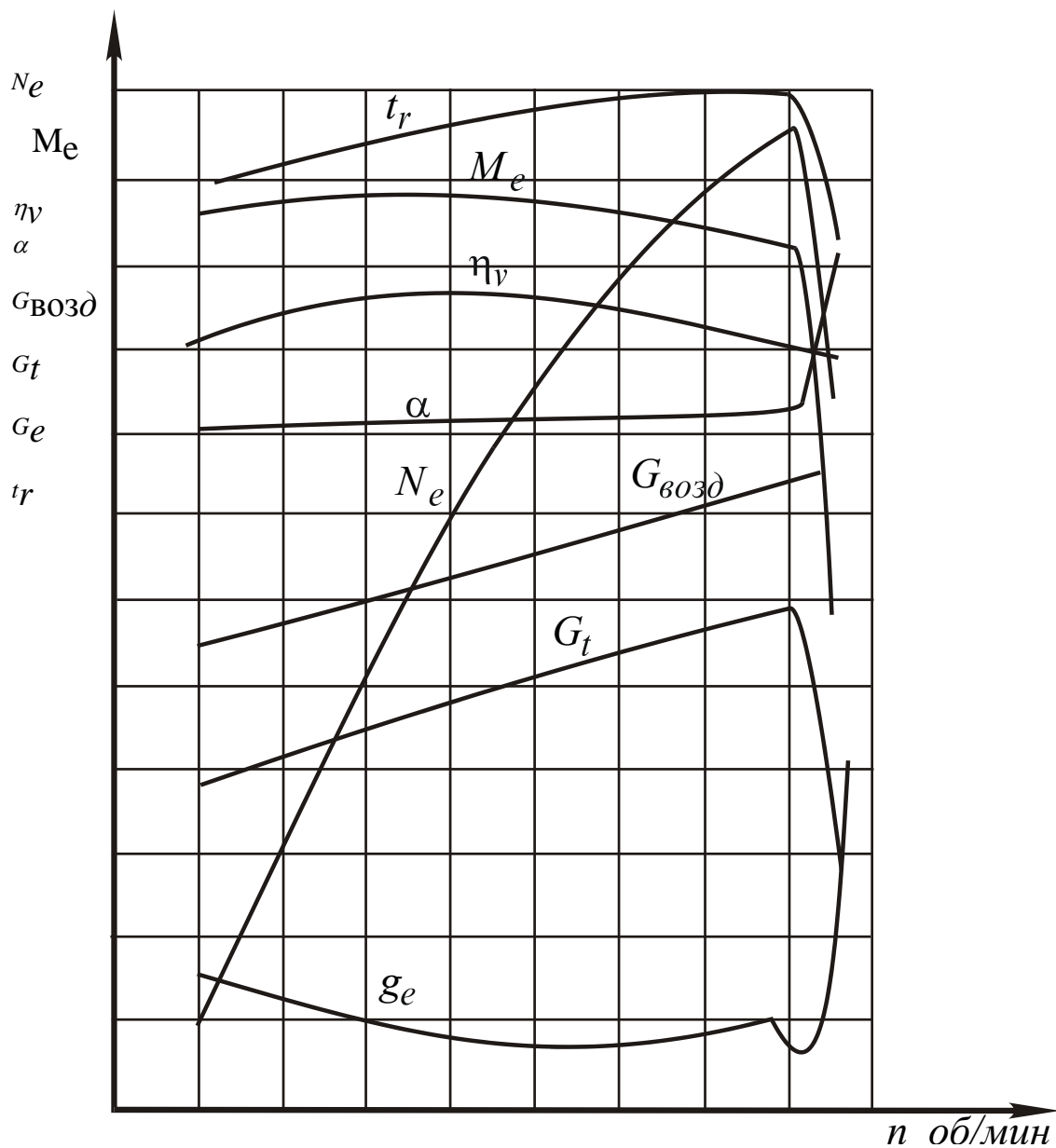


Рисунок 6 – Внешняя скоростная характеристика дизеля

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч,}$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с. \cdot ч).}$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{33,3G_B}{V_{\text{л}} n \rho_B},$$

где $V_{\text{л}} = 1,478$ л – литраж двигателя; ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха

$$\rho_B = 0,4645 \cdot \frac{P_B}{273 + t_B} \text{ кг/м}^3,$$

где P_B – атмосферное давление, мм рт. ст.; t_B – температура воздуха, °С.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности определения внешней характеристики дизеля и что такое эксплуатационная внешняя характеристика?
2. Назовите характерные режимы внешней характеристики?
3. Объясните характер изменения по скоростной характеристике следующих параметров: α , η_v , η_i , η_M .
4. От каких факторов зависит характер изменения M_e и P_e по скоростной характеристике?
5. Что такое коэффициент запаса крутящего момента, каковы ориентировочные значения его у дизеля и карбюраторных двигателей?
6. Чем объясняется характер изменения кривых N_e и g_e по скоростной характеристике?
7. Для чего осуществляется корректировка подачи топлива по скорости и как при этом происходит изменение основных показателей рабочего процесса?

8. Почему на дизелях необходимо устанавливать регуляторы числа оборотов?

9. Каково назначение двухрежимного и всережимного регулятора?

10. Какова методика снятия скорости характеристики на стенде?

Лабораторная работа 8

РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО УГЛУ ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное построение регулировочной характеристики карбюраторного двигателя по углу опережения зажигания и характеристики центробежного регулятора угла опережения зажигания.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель, прогревают на малой нагрузке и устанавливают нагрузочный режим по указанию преподавателя. Затем, изменяя регулировку тормоза, снимают серию регулировочных характеристик, по которым строят характеристику центробежного регулятора угла опережения зажигания. По результатам испытаний оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для получения наибольшей мощности и наилучшей топливной экономичности двигателя необходимо обеспечить эффективное протекание процесса сгорания.

Известно, что теоретически в поршневом двигателе внутреннего сгорания наиболее полное превращение тепла в работу возможно, если тепло подводить мгновенно при положении поршня в верхней мертвой точке (ВМТ). Практически, однако, на

осуществление процесса сгорания требуется определенное время, за которое поршень успевает пройти некоторый путь. Обычно процесс выделения тепла начинается несколько раньше ВМТ и заканчивается после ВМТ в процессе расширения. Тепло, выделяющееся в двигателе в процессе сжатия, когда поршень еще не дошел до ВМТ, точно так же, как и тепло, выделяющееся в процессе расширения, когда поршень уже прошёл ВМТ, не может быть использованы с той же полнотой, как тепло, выделившееся при положении поршня в ВМТ, так как уменьшается степень расширения. Для уменьшения потерь, связанных с неполным использованием выделяющегося тепла в цилиндре, желательно, чтобы процесс выделения тепла происходил как можно ближе к ВМТ.

Весь процесс сгорания в карбюраторном двигателе условно принято разбивать на три фазы (рис. 1).

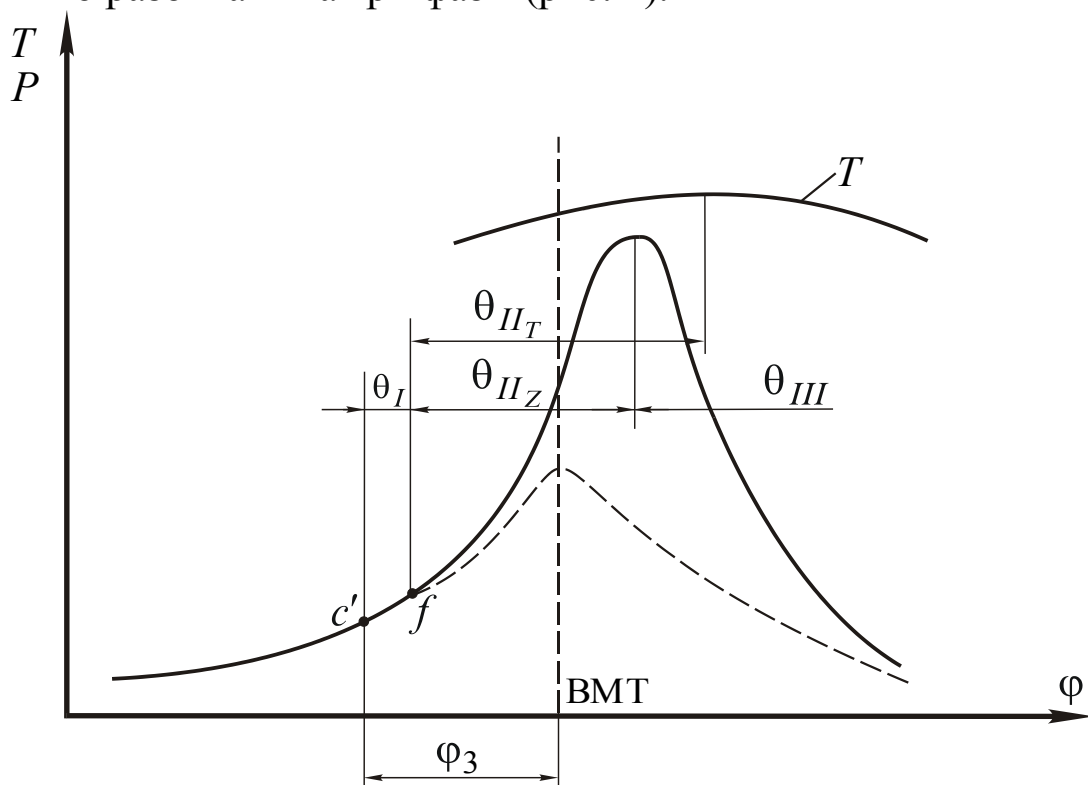


Рисунок 1 – Развернутая индикаторная диаграмма двигателя

После появления искры между электродами свечи зажигания начинается первая фаза горения θ_I . В течение этого периода происходят формирование и развитие очага горения. Хотя объем, охваченный пламенем, к концу первой фазы значителен, количе-

ство сгоревшей смеси, а следовательно, выделившегося тепла невелико. Поэтому на индикаторной диаграмме нет видимого повышения давления за счет сгорания над давлением от сжатия. За конец первой фазы обычно принимают точку заметного повышения давления в цилиндре за счет сгорания над давлением сжатия. Первую фазу называют также периодом задержки воспламенения.

После этого начинается вторая фаза горения, в течение которой выделяется основная доля тепла. За конец второй фазы принимают либо момент достижения максимума давления в цилиндре (φ_Z), либо момент достижения максимальной температуры цикла (φ_t). Соответственно, длительность второй фазы сгорания обозначается θ_{II_Z} или θ_{II_T} . В третьей фазе θ_{III} происходит догорание смеси в пристеночных слоях. Окончание третьей фазы строго не определено и во многом зависит от режима работы двигателя. Очевидно, что для лучшего использования тепла важно расположить вторую фазу горения, во время которой сгорает основная часть смеси, как можно ближе к ВМТ. Этого можно достигнуть, выбрав правильно момент воспламенения заряда, или, как говорят, установить оптимальный угол опережения зажигания. При оптимальном угле опережения зажигания вторая (основная) фаза горения располагается симметрично относительно верхней мертвой точки. При этом потери тепла в стенки цилиндра минимальны.

Углом опережения зажигания φ_3 называется угол в градусах поворота коленчатого вала от момента искрового разряда в свече зажигания до ВМТ. Оптимальный угол опережения в первую очередь зависит от длительности первой и второй фаз горения. С изменением режима работы двигателя (состава смеси, числа оборотов, нагрузки, теплового состояния) условия изменяются, и поэтому изменяется и оптимальный угол опережения зажигания.

В зависимости от конструктивных особенностей двигателя это изменение может быть различным. Поэтому для каждого двигателя и при разных режимах его работы приходится экспериментально определять наивыгоднейшие значения угла опережения зажигания.

Определение наивыгоднейшего угла опережения зажигания производится путем снятия регулировочных характеристик по углу опережения зажигания.

Регулировочной характеристикой по углу опережения зажигания называется зависимость показателей рабочего процесса (N_e , G_t , g_e) от угла опережения зажигания при постоянной скорости вращения коленчатого вала и постоянном положении дроссельной заслонки. Регулировочные характеристики по углу опережения зажигания позволяют:

- 1) установить наивыгоднейшее значение угла опережения зажигания для исследуемого нагрузочного и скоростного режима работы двигателя;

- 2) определить предельные мощностные и экономические показатели двигателя для всех режимов при данной регулировке карбюратора;

- 3) определить изменение мощностных и экономических показателей двигателя при установке опережения зажигания, отличающегося от оптимального.

Эти данные необходимы для выбора и оценки регуляторов опережения зажигания (центробежного и вакуумного) при определении требований двигателя к октановому числу топлива во время проведения детонационных испытаний и при исследованиях процесса сгорания в двигателе.

На рис. 2 показана типичная регулировочная характеристика по углу опережения зажигания. Зависимость N_e имеет максимум при угле опережения зажигания $\varphi_{3\text{опт}}$.

При снятии регулировочной характеристики положение заслонок в карбюраторе неизменно. Неизменна и скорость вращения коленчатого вала. Оба фактора являются причиной постоянства часового расхода воздуха. Таким образом, при снятии регулировочной характеристики условия в смесительной камере карбюратора неизменны, неизменна скорость истечения топлива из распылителей всех дозирующих систем. Поэтому часовой расход топлива по регулировочной характеристике не изменяется.

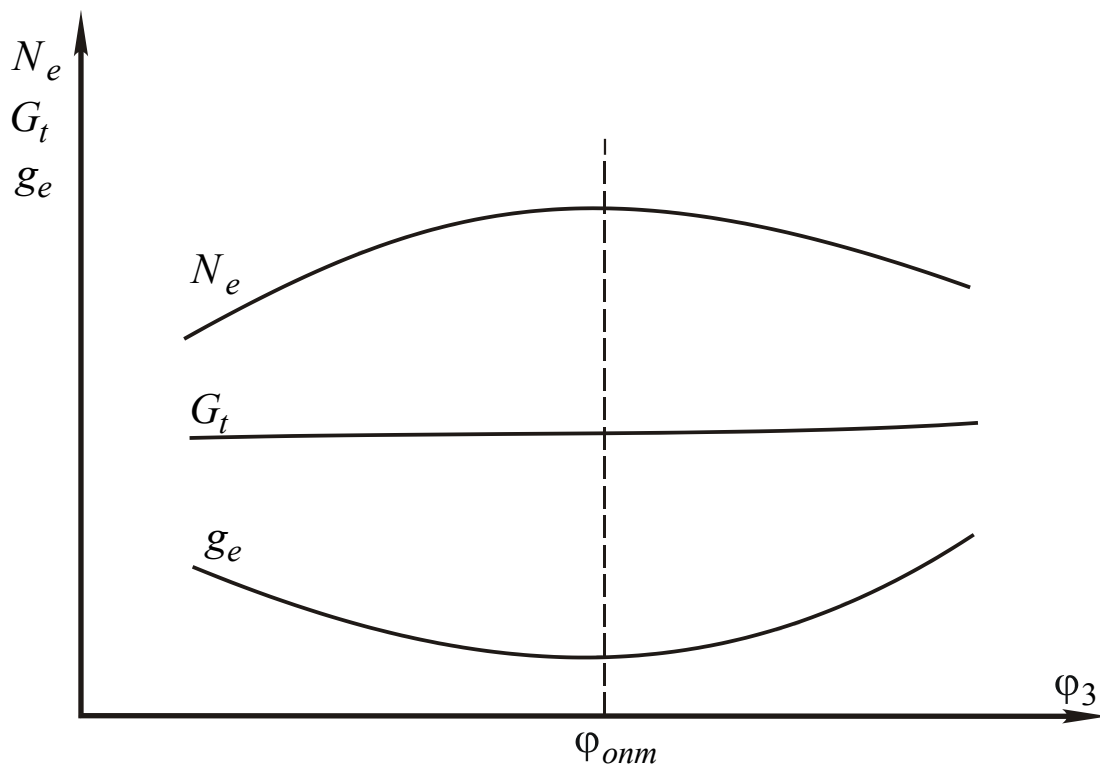


Рисунок 2 – Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по углу опережения зажигания

Поскольку часовой расход топлива остается постоянным, зависимость удельного расхода топлива $g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e}$ от угла опережения зажигания носит характер обратной зависимости $N_e = f(\varphi_3)$. Следовательно, угол опережения зажигания, обеспечивающий наибольшую мощность двигателя, одновременно будет обеспечивать и наименьший удельный расход топлива. Этот угол и называется наивыгоднейшим или оптимальным углом опережения зажигания.

Изменение показателей двигателя при установке опережения, отличающегося от оптимального, объясняется следующим.

При уменьшении угла опережения зажигания, по сравнению с оптимальным (позднее зажигание), сгорание будет происходить слишком поздно (в слишком большом объеме) на линии расширения, использование тепла ухудшается, мощность двигателя уменьшается, а удельный расход топлива возрастает. В этом случае большая часть тепла уносится с отработавшими газами (увеличивается температура отработавших газов) и перегревается си-

стема выпуска отработавших газов: выпускной клапан, приемная труба, глушитель. Поэтому слишком позднее зажигание может приводить к прогоранию этих деталей.

При увеличении угла зажигания, по сравнению с оптимальным (ранее зажигание), максимальное давление газов в цилиндре возрастает, как это видно на рис. 3, где показаны индикаторные диаграммы в координатах $P-\varphi$ и $P-V$ для трех различных углов опережения.

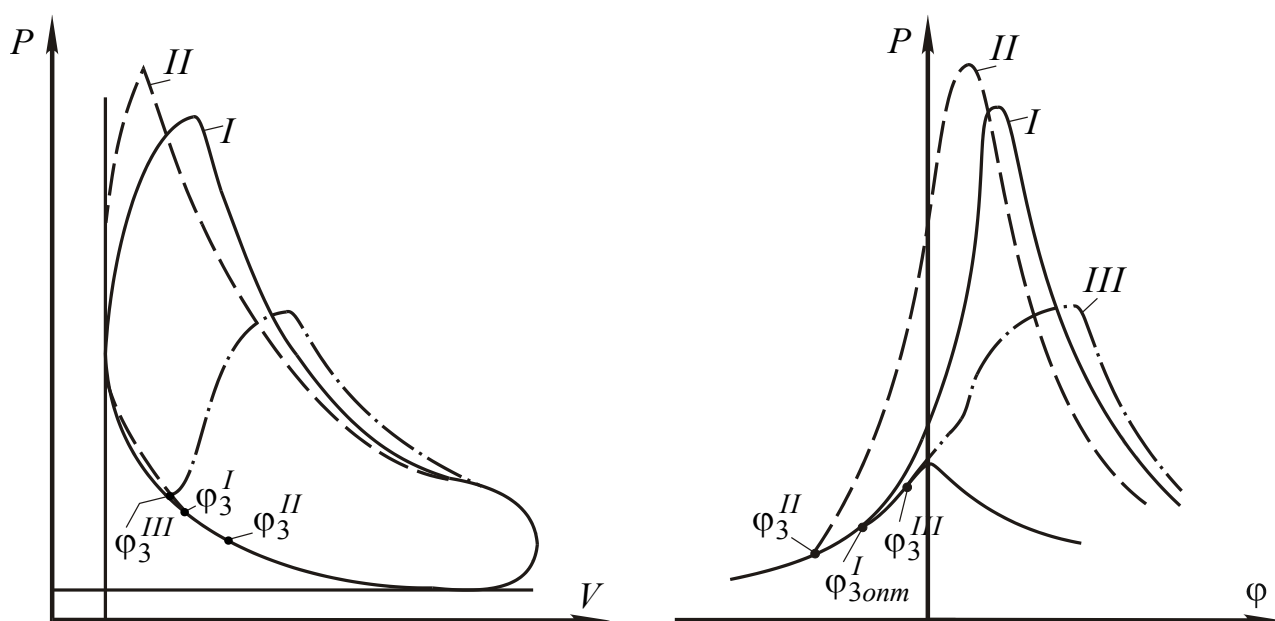


Рисунок 3 – Индикаторные диаграммы двигателей для трех различных углов опережения зажигания

Вместе с этим увеличивается и максимальная температура цикла. Увеличение давления и температуры вызывает появление детонации, что неизбежно приводит к повышенным динамическим нагрузкам на детали двигателя. В результате выходят из строя поршни, шатуны, вкладыши и другие детали двигателя. При детонации мощность двигателя падает, поскольку, хотя максимальное давление в цилиндре двигателя и повышается, однако среднее индикаторное давление уменьшается.

На величину оптимального угла опережения зажигания большое влияние оказывает режим работы двигателя. С увеличением скорости вращения коленчатого вала длительность основной фазы горения в градусах поворота коленчатого вала (φ п.к.в.)

остаётся почти постоянной, так как благодаря увеличению турбулентности заряда скорость горения увеличивается примерно пропорционально числу оборотов. Длительность первой фазы горения с ростом числа оборотов, как правило, несколько увеличивается, поэтому наивыгоднейший угол опережения зажигания увеличивается с ростом числа оборотов вала двигателя. Для того чтобы в эксплуатации обеспечить изменение опережения зажигания с повышением скоростного режима, применяют центробежный автомат опережения зажигания.

Оптимальный угол опережения зажигания зависит и от состава горючей смеси. При бедных смесях ($\alpha > 1$) процесс сгорания происходит медленнее, и такую смесь надо раньше воспламенить, чтобы основная доля тепла успела выделиться, пока поршень находится вблизи ВМТ, то же можно сказать и о сильно переобогащённых смесях.

Оптимальный угол опережения зажигания изменяется также в зависимости от нагрузки двигателя. При прикрытии дросселя уменьшается давление в цилиндре в момент воспламенения, снижается турбулентность заряда и увеличивается разбавление горючей смеси остаточными газами. Все эти факторы приводят к увеличению длительности фаз сгорания, и поэтому наивыгоднейший угол опережения зажигания с прикрытием дроссельной заслонки увеличивается. Кроме того, при прикрытии дроссельной заслонки изменяется состав смеси, подаваемой карбюратором. При полных нагрузках состав смеси близок к $\alpha = 0,9$. При переходе к средним нагрузкам состав смеси обедняется, и лишь при очень сильном дросселировании смесь вновь начинает обогащаться. Изменение состава смеси при изменении нагрузки, также влияет на величину оптимального угла опережения зажигания.

Для обеспечения изменения угла опережения зажигания с изменением нагрузки на многих двигателях устанавливается вакуумный автомат опережения зажигания.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом испытаний двигатель прогревают и затем устанавливают необходимый режим работы (число оборотов, по-

ложение дроссельной заслонки). Поворачивая корпус прерывателя-распределителя, примерно подбирают угол опережения зажигания, обеспечивающий наибольшее для данного режима показание весов тормоза. Затем корпус прерывателя-распределителя смещают в сторону уменьшения угла опережения зажигания до тех пор, пока показания весов тормоза не снизятся на 10–15 %, и производят необходимую коррекцию нагрузки, создаваемой тормозом, с тем, чтобы установить точно заданное число оборотов. После стабилизации теплового режима производят измерения усилий на весах тормоза, расхода воздуха и топлива, угла опережения зажигания.

Затем переходят к определению следующей точки характеристики, увеличив угол опережения зажигания на $2\div 4^\circ$ поворота коленчатого вала. Измерения производят после корректировки нагрузки и стабилизации теплового режима двигателя. По мере увеличения угла опережения зажигания, мощность двигателя (показания весов тормоза) будет сначала возрастать, а затем уменьшаться. Испытания прекращают, когда показание весов вновь уменьшится на 2–3 %. Желательно, чтобы после максимума мощности на кривой при ранних углах опережения зажигания было определено не менее двух экспериментальных точек.

При ранних углах опережения зажигания в двигателе может возникнуть детонация. В этом случае дальнейшее увеличение опережения зажигания прекращают, а в протоколе испытаний отмечают появление детонации.

Чтобы избежать детонации при определении характеристики по углу опережения зажигания, как правило, применяют топливо с заведомо большим октановым числом, чем это необходимо при обычной работе двигателя.

Таким образом, получается регулировочная характеристика для одного режима работы двигателя. Для получения характеристики центробежного регулятора необходимо построить серию регулировочных характеристик для нескольких скоростей вращения коленчатого вала, но при неизменном положении дроссельной заслонки.

Затем, выбирая из каждой регулировочной характеристики $\varphi_{3\text{опт}}$ и соответствующую ему скорость, строят характеристику центробежного регулятора угла опережения зажигания (рис. 4).

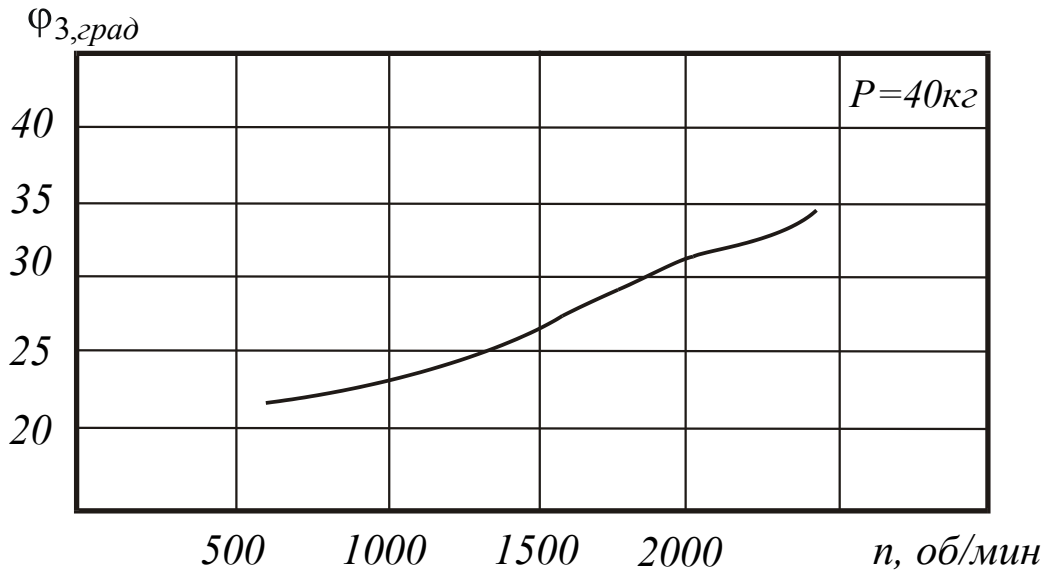


Рисунок 4 – Характеристика центробежного регулятора угла опережения зажигания

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $N_e(\varphi_3)$, $G_t(\varphi_3)$, $g_e(\varphi_3)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P n}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с.} \cdot \text{ч)}.$$

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется углом опережения зажигания ?
2. Что называется регулировочной характеристикой по углу опережения зажигания?
3. Сколько и какие фазы горения различают в карбюраторном двигателе?
4. Как должны располагаться фазы горения относительно ВМТ?
5. Как изменяются максимальные давления и температура цикла при изменении угла опережения зажигания?
6. Как влияет режим работы двигателя (скорость, нагрузка) на величину оптимального угла опережения зажигания?
7. Как осуществляется на двигателе автоматическая коррекция угла опережения зажигания при изменении режима работы?
8. Какова методика снятия регулировочной характеристики по углу опережения зажигания?
9. Как получить характеристики центробежного и вакуумного регуляторов?

Лабораторная работа 9

РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО СОСТАВУ СМЕСИ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное построение регулировочной характеристики карбюраторного двигателя по составу смеси.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель, прогревают на малой нагрузке и устанавливают режим работы по указанию преподавателя. Затем изменяют состав смеси и для различных значений α измеряют необходимые для построения регулировочной характеристики значения показателей рабочего процесса двигателя. По результатам испытаний оформляют отчет.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Показатели работы двигателя в значительной мере зависят от состава горючей смеси, т. е. от соотношения топлива и воздуха в смеси, поступающей в цилиндр двигателя. Состав горючей смеси принято оценивать по величине коэффициента избытка воздуха α , представляющего отношение действительного количества воздуха в смеси к тому количеству, которое теоретически необходимо для полного сгорания всего поданного топлива:

$$\alpha = \frac{G_B}{\ell_0 G_t}, \quad (1)$$

где G_B – часовой расход воздуха, кг/ч; G_t – часовой расход топлива, кг/ч; ℓ_0 – количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива. Для бензина обычного состава $\ell_0 = 14,9$ кг воздуха/кг топлива.

Если топливовоздушная смесь содержит такое количество воздуха, которое теоретически необходимо для полного сгорания содержащегося в смеси топлива, то такая смесь называется нормальной или стехиометрической ($\alpha = 1$). Если имеет место недостаток воздуха, то такая смесь называется богатой ($\alpha < 1$). Если воздух в избытке – смесь бедная ($\alpha > 1$). Иногда при небольших отличиях α от 1 пользуются терминами «обогащенная» или «обедненная» смесь. Если α намного больше или меньше единицы, то пользуются терминами «переобеднённая» или «переобогащённая» смесь.

Следует отметить, что при $\alpha \geq 1$ может иметь место неполнота сгорания топлива. Причина – низкое качество смесеобразования, т. е. топливо плохо распылено и испарилось не полностью. Такая неполнота сгорания называется физической. При $\alpha < 1$ полное сгорание невозможно в принципе, насколько полным бы ни было испарение топлива. Такая неполнота сгорания называется химической.

Продукты сгорания бедных смесей состоят в основном из углекислого газа, паров воды, азота и избыточного кислорода. Продукты сгорания богатых смесей содержат углекислый газ, окись углерода, пары воды, водород, азот. Кроме того, продукты сгорания могут содержать в небольших количествах окислы азота, альдегиды, углеводороды и др.

При обогащении смеси вследствие неполноты сгорания индикаторный КПД двигателя снижается (рис. 1).

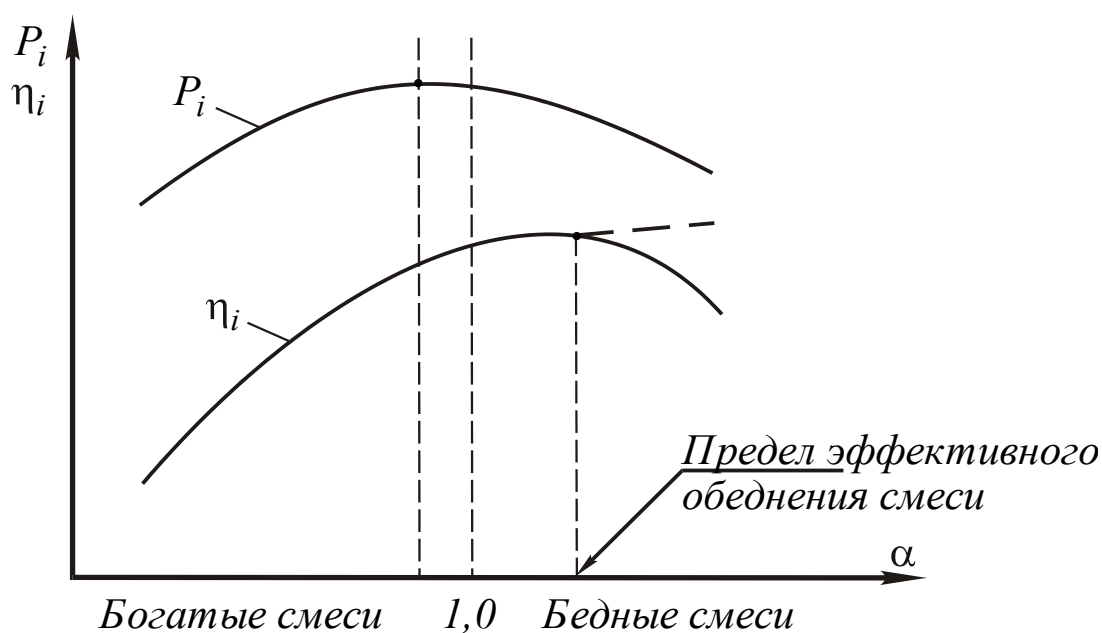


Рисунок 1 – Зависимость индикаторного давления и КПД от коэффициента избытка воздуха

Теоретически при $\alpha = 1,0$ должно происходить полное сгорание топлива. Однако из-за недостаточной однородности рабочей смеси, а также в результате диссоциации продуктов сгорания, неполное сгорание возможно и при несколько обедненных смесях. Поэтому окись углерода и водород могут наблюдаться в от-

работавших газах вплоть до $\alpha = 1,05 \div 1,1$. Это является одной из причин заметного увеличения индикаторного КПД при некотором обеднении смеси выше $\alpha = 1,0$. Индикаторный КПД теоретически должен непрерывно, хотя и не очень, увеличиваться (пунктирная линия на рис. 1), так как из-за уменьшения температуры в процессах сгорания, расширения и снижения теплоёмкости продуктов сгорания уменьшается доля теплоты, отводимой с отработавшими газами, а также сокращаются потери тепла из-за диссоциации продуктов сгорания.

Однако вследствие ухудшения протекания воспламенения и сгорания бедных смесей, начиная с определенного значения α , которое называется пределом эффективного обеднения смеси, индикаторный КПД начинает быстро падать.

Рассмотрим влияние состава смеси на среднее индикаторное давление. Казалось бы, что наибольшее среднее индикаторное давление должно быть при стехиометрическом составе смеси ($\alpha = 1,0$). При обеднении смеси среднее индикаторное давление должно падать, так как в цилиндр подается всё меньше и меньше топлива и, следовательно, уменьшается количество выделившегося тепла. При обогащении смеси среднее индикаторное давление также должно уменьшаться, так как топлива вводится больше, но из-за недостатка кислорода в смеси происходит неполное сгорание топлива и в конечном счете количество выделяемого тепла уменьшается. В действительности наибольшее значение среднего индикаторного давления P_i , а следовательно, и наибольшее при данном числе оборотов значение мощности двигателя достигаются не при стехиометрическом составе смеси, а при несколько обогащенных смесях ($\alpha = 0,85 \div 0,95$). При обеднении смеси и обогащении её от этого предела среднее индикаторное давление уменьшается (см. рис. 1). Смещение максимума в сторону обогащенных смесей объясняется следующими основными причинами:

1) при некотором обогащении смеси количество тепла, выделяющегося в цилиндре, достигает максимума, так как из-за неидеального перемешивания смеси полное использование воздуха возможно лишь при определенном избытке топлива. Большому

выделению тепла способствует и уменьшение потерь тепла, связанных с диссоциацией продуктов сгорания;

2) наибольшая скорость горения, а следовательно, и наиболее полное превращение тепла в работу наблюдаются при несколько обогащенных смесях;

3) по мере обогащения смеси от $\alpha = 1,0$ увеличивается коэффициент молекулярного изменения смеси при сгорании.

Коэффициент избытка воздуха, при котором достигаются максимум мощности и максимум экономичности двигателя, не является постоянной величиной. Его значение зависит от конструктивных особенностей двигателя, определяющих совершенство процессов смесеобразования и сгорания, а также от режима работы двигателя. Для каждого двигателя эти пределы определяются экспериментально, на основании регулировочных характеристик по составу смеси.

Регулировочной характеристикой двигателя по составу смеси называется зависимость показателей рабочего процесса двигателя (N_e , M_e , G_t , g_e и др.) от состава смеси при постоянной скорости вращения коленчатого вала и постоянном положении дроссельной заслонки.

Регулировочные характеристики позволяют:

1) определить предельные мощностные и экономические показатели для каждого положения дроссельной заслонки на данном скоростном режиме;

2) выбрать или оценить регулировку топливной аппаратуры;

3) по значениям коэффициента избытка воздуха при максимуме мощности и при минимуме удельного расхода топлива в первом приближении оценить степень совершенства процессов смесеобразования и сгорания.

На рис. 2 показана регулировочная характеристика двигателя, снятая при полном открытии дросселя и $n = \text{const}$.

Максимум мощности в данном случае достигается при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{\text{мощ}} = 0,82$, который называется мощностным составом смеси, что соответствует пределу эффективного обогащения смеси. Минимум удельного эффективного расхода топлива достигается при $\alpha = 1,07$, который называется экономичным составом смеси, что соответствует пределу эффек-

тивного обеднения смеси. Как уже отмечалось, ухудшение мощности и экономичности двигателя при обогащении смеси ниже $\alpha_{\text{мощ}}$ обусловлено в первую очередь увеличением потерь тепла из-за химической неполноты сгорания топлива. При обеднении смеси более $\alpha = 1$ мощность уменьшается, так как всё меньше и меньше топлива вводится в цилиндры двигателя (в тот же объём воздуха), а топливная экономичность двигателя улучшается из-за более полного использования выделившегося тепла. При составах смеси беднее $\alpha_{\text{ЭК}}$ начинается быстрое увеличение удельного расхода топлива, так как при обедненных смесях ухудшается (замедляется) протекание процесса воспламенения и сгорания смеси в двигателе. При сильном обеднении смеси работа двигателя становится неустойчивой вплоть до появления перебоев (т. е. прекращения сгорания) в некоторых цилиндрах.

Из сказанного следует, что реальные регулировки карбюратора должны находиться всегда между $\alpha_{\text{мощ}}$ и $\alpha_{\text{ЭК}}$, т. е. внутри зоны регулирования, показанной на рис. 2.

При полном открытии дросселя необходимо получить от двигателя наибольшую мощность. Однако обычно при этом не устанавливают мощностной регулировки. Нормальную регулировку карбюратора при полном открытии дросселя выбирают несколько беднее мощностного состава, но так, чтобы мощность не снижалась больше чем на 1–2 %. При частичном открытии дросселя, когда важно обеспечить экономичную работу двигателя, регулировка карбюратора должна устанавливаться вблизи от экономичного состава смеси, оставаясь всё же несколько богаче этого предела. Это связано с тем, что при эксплуатации из-за осмоления жиклеров, а также в процессе разгона автомобиля возможно обеднение смеси, подаваемой в двигатель. Обеднение же смеси выше предела эффективного обеднения ведет к быстрому ухудшению экономичности и стабильности работы двигателя.

При изменении скоростного или нагрузочного режима работы двигателя пределы регулирования изменяются. Особенно заметно с уменьшением нагрузки снижается предел эффективного обеднения смеси, так как при прикрытии дросселя резко ухудшаются условия воспламенения и сгорания смеси.

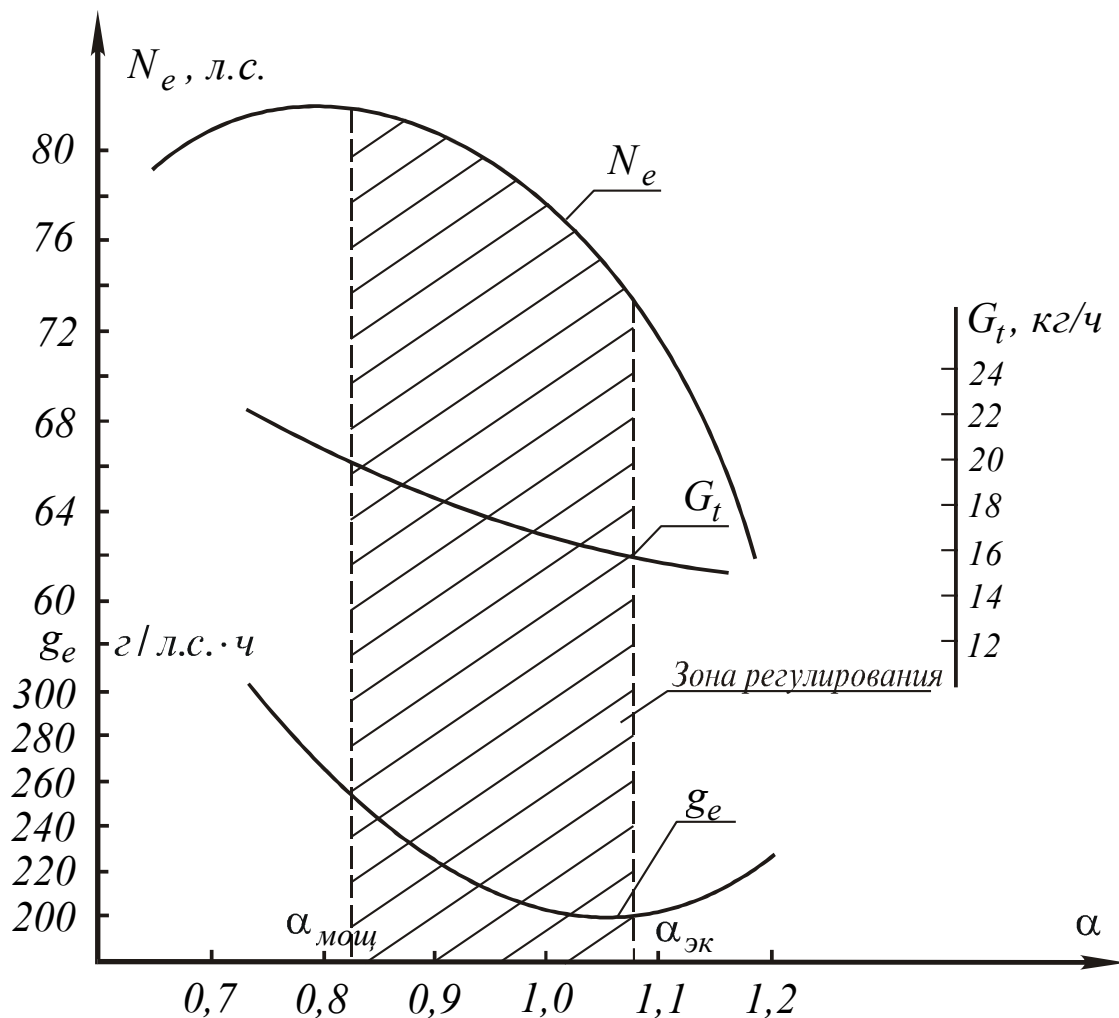


Рисунок 2 – Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по составу смеси

Основными причинами ухудшения воспламенения и уменьшения скорости сгорания при дросселировании являются:

- а) уменьшение плотности и температуры заряда в момент воспламенения;
- б) уменьшение энергии искрового разряда, которая зависит от плотности смеси;
- в) уменьшение концентрации топлива в рабочей смеси, так как горючая смесь, поступающая в цилиндр, в большей степени разбавляется остаточными газами;
- г) уменьшение турбулентности смеси в цилиндре.

Практически у современных карбюраторных двигателей предел эффективного обеднения смеси при полностью открытом

дросселе соответствует $\alpha = 1,1 \div 1,25$ и уменьшается по мере прикрытия дросселя до $\alpha = 0,7 \div 1,0$.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Определение регулировочной характеристики карбюраторного двигателя производится при постоянном положении дроссельной заслонки и постоянном числе оборотов путём изменения количества подаваемого топлива.

Определение характеристики начинают с переобогащённых смесей. Затем, постепенно уменьшая расход топлива, обедняют смесь вплоть до прекращения устойчивой работы двигателя. Постоянство числа оборотов при всех значениях расхода топлива обеспечивается регулированием нагрузки, создаваемой тормозом.

Как правило, при каждом расходе топлива подбирается свой наивыгоднейший угол опережения зажигания по максимуму показаний весов тормоза.

После прогрева двигателя устанавливают режим работы по указанию преподавателя. Затем обогащают смесь до появления перебоев в работе двигателя. Корректируют тормозом скорость вращения коленчатого вала и измеряют усилие на весах тормоза, время расхода порции топлива, часовой расход воздуха (показания дифференциального манометра).

Затем, обедняя смесь и корректируя скорость, повторяют перечисленные измерения до появления перебоев в работе двигателя, связанных с переобеднением смеси.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчет должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также графические зависимости $N_e(\alpha)$, $G_t(\alpha)$, $g_e(\alpha)$ на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления произвести по следующим формулам.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{Pn}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч,}$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч,}$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{G_t \cdot 10^3}{N_e} \text{ г/(л. с. \cdot ч).}$$

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15$ кг/кг – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют коэффициентом избытка воздуха? Какие смеси называются богатыми, бедными и стехиометрическими?

2. Почему мощность и экономичность двигателя изменяются при изменении коэффициента избытка воздуха?

3. Какие продукты сгорания содержатся в отработавших газах при работе двигателя на богатых и на бедных смесях?

4. Что называют пределом эффективного обеднения смеси? Что ограничивает его величину в карбюраторном двигателе?

5. Почему наибольшее значение P_i и мощности двигателя достигается при обогащенной смеси ($\alpha = 0,85 \div 0,95$), а не при стехиометрическом составе?

6. Что называется регулировочной характеристикой по составу смеси? Для чего она определяется?

7. Каков порядок испытаний при определении регулировочной характеристики по составу смеси? Каким образом регулируется подача топлива при снятии характеристики?

8. Что такое зона регулирования, мощностной и экономический составы смеси и каковы их значения в современных двигателях?

9. Как на основании регулировочной характеристики по составу смеси выбрать регулировку карбюратора при работе с полностью открытым дросселем и при частных нагрузках?

10. Почему при прикрытии дросселя уменьшается коэффициент избытка воздуха, соответствующий экономическому составу смеси?

Лабораторная работа 10

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ДВИГАТЕЛЯ

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное определение механических потерь карбюраторного двигателя.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель и после прогрева устанавливают скоростной и нагрузочный режим по указанию преподавателя. Методом отключения цилиндров определяют мощность механических потерь и механический КПД двигателя. По результатам испытаний оформляют отчет.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механические потери двигателей внутреннего сгорания (условно включающие затраты мощности на привод вспомога-

тельных агрегатов и насосные потери) значительны и на номинальном режиме работы составляют 15–25 % индикаторной мощности. Сложность причин, приводящих к возникновению механических потерь, не дает возможности получить исчерпывающее аналитическое решение вопроса по определению мощности потерь, и все имеющиеся методы расчета их являются ориентировочными.

Существующие методы экспериментального определения механических потерь в двигателях могут быть разделены на следующие группы:

1. Определение суммарной мощности механических потерь или механического КПД двигателя.
2. Выделение и исследование отдельных составляющих мощности механических потерь.

Методы определения суммарной мощности механических потерь и механического КПД можно разделить на косвенные и прямые. При косвенных методах механические потери или механически КПД определяются по величинам индикаторной и эффективной мощности двигателя, а при прямых – проворачиванием коленчатого вала двигателя посторонним источником энергии, выключением отдельных цилиндров, работающего двигателя или выбегом двигателя с определенного режима работы.

2.1. Метод сопоставления индикаторной и эффективной мощности

Этот метод можно считать наиболее старым и известным. Широкому применению этого метода препятствуют чисто технические трудности, связанные с необходимостью индицирования всех цилиндров многоцилиндрового двигателя. Применяемое, как паллиатив, индицирование одного «среднего» по показателям цилиндра, вследствие неравномерности работы цилиндров, приводит к большим погрешностям.

Если предположить для простоты вычислений, что индикаторные мощности всех цилиндров двигателя одинаковы и равны $N_{iц}$ и притом определены с одинаковой абсолютной погрешностью $\Delta N_{iц}$, то будем иметь следующие соотношения:

$$N_i = iN_{iц}; \quad N_{iц} = \frac{N_i}{i}; \quad \Delta N_i = i\Delta N_{iц}. \quad (1)$$

Относительная погрешность определения индикаторной мощности

$$\delta N_i = \frac{\Delta N_i}{N_i} = \frac{i\Delta N_{iц}}{N_i} = \frac{\Delta N_{iц}}{N_{iц}} = \delta N_{iц}. \quad (2)$$

Таким образом, при сделанных предположениях (которые на практике реализовать почти невозможно) относительная погрешность определения индикаторной мощности δN_i практически тождественна относительной погрешности определения индикаторной мощности одного цилиндра $\delta N_{iц}$.

Если эффективная мощность двигателя равна N_e , то абсолютная величина мощности механических потерь:

$$N_M = N_i - N_e, \quad (3)$$

а относительная погрешность ее измерения:

$$\begin{aligned} \delta N_M &= \frac{\Delta N_M}{N_M} = \frac{\Delta N_i + \Delta N_e}{N_M} = \frac{\frac{\Delta N_i}{N_i} + \frac{\Delta N_e}{N_e} \frac{N_e}{N_i}}{\frac{N_M}{N_i}} = \\ &= \frac{\delta N_{iц}}{1 - \eta_M} + \frac{\eta_M}{1 - \eta_M} \cdot \delta N_e, \end{aligned} \quad (4)$$

где δN_e – относительная погрешность измерения эффективной мощности двигателя; η_M – механический КПД двигателя.

Так как механический КПД двигателя довольно низок ($\eta_M = 0,75 \div 0,85$), то погрешность определения мощности механических потерь δN_M будет высока даже при самом тщательном индицировании и определении эффективной мощности двигателя. Приняв $\delta N_{iц} = \pm 2\%$ и $\delta N_e = \pm 1\%$, что близко к практически достижимому минимуму, для указанных выше пределов значения η_M будем иметь $\delta N_M = \pm(11 \div 18)\%$. Следовательно, для определения абсолютной величины мощности механических потерь данный метод, использующий разность двух близких величин, непригоден.

Более точно определяется этим методом механический КПД двигателя. Так как механический КПД двигателя

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i}, \quad (5)$$

то относительная погрешность его определения:

$$\delta\eta_M = \delta N_e + \delta N_i = \delta N_e + \delta N_{iц}. \quad (6)$$

Отсюда $\delta\eta_M = \pm 3\%$. В связи с этим абсолютную мощность механических потерь целесообразно определять, пользуясь величиной механического КПД двигателя и результатами его индирования:

$$N_M = (1 - \eta_M)N_i, \quad (7)$$

что даёт погрешность

$$\delta N_M = \delta\eta_M + \delta N_i = \delta\eta_M + \delta N_{iц}. \quad (8)$$

Таким образом, погрешность $\delta N_M = \pm 5\%$. Несмотря на некоторое усложнение обработки результатов измерений, их точность в данном случае будет вдвое-втрое выше, чем в предыдущем методе. К сожалению, технические трудности индирования многоцилиндрового двигателя препятствуют широкому применению этого метода.

2.2. Метод выключения цилиндров

Данный метод наиболее прост и широко применяется при определении механических потерь карбюраторных двигателей и дизелей с насос-форсунками. Применительно к дизелям с топливоподающей аппаратурой разделенного типа при использовании метода выключения цилиндров требуется изготавливать специальные приспособления. В связи с этим для таких дизелей мощность механических потерь обычно определяется проворачиванием вала двигателя от постороннего источника.

Метод определения мощности потерь выключением цилиндров крайне прост и состоит в том, что индикаторная мощность отключенного цилиндра

$$N_{ix} = N_{e(i)} - N_{e(i-1)}, \quad (9)$$

где $N_{e(i)}$ и $N_{e(i-1)}$ – эффективные мощности соответственно при i и $(i - 1)$ работающих цилиндрах, определяемые по динамометру тормозного стенда; i – число цилиндров двигателя.

Следует заметить, что это выражение представляет собой разность двух близких величин, поэтому, несмотря на высокую точность измерения индикаторной мощности отдельных цилиндров методом их отключения, погрешность будет значительной. Допуская, что

$$\Delta N_{ix} = \Delta N_{e(i)} + \Delta N_{e(i-1)} \approx 2\Delta N_{e(i)}, \quad (10)$$

а индикаторные мощности всех цилиндров будут одинаковыми, получим, что погрешность определения индикаторной мощности отдельного цилиндра

$$\delta N_{ix} = \frac{\Delta N_{ix}}{N_i} \cdot \frac{\eta_M}{i} = 2i\eta_M \frac{\Delta N_{e(i)}}{N_{e(i)}} = 2i\eta_M \delta N_{e(i)}. \quad (11)$$

Данное выражение показывает, что погрешность δN_{ix} будет пропорциональна числу цилиндров. Принимая для современных двигателей $i = 4 \div 12$, $\eta_M = 0,75 \div 0,85$ и $\delta N_{e(i)} = \pm 1\%$, будем иметь $\delta N_{ix} = \pm(6 \div 20)\%$, т. е. много выше, чем при всяком индицировании.

Так как абсолютная величина мощности механических потерь при использовании метода отключения цилиндров

$$N_M = \sum_1^i N_{ix} - N_{(e)i}, \quad (12)$$

то данный метод эквивалентен рассмотренному выше, с той разницей, что не требуется индицирования отдельных цилиндров двигателя. Но тогда погрешность определения мощности механических потерь будет определяться выражением, аналогичным для рассмотренного выше метода, т. е.

$$\delta N_M = \frac{\delta N_{ix}}{1 - \eta_M} + \frac{\eta_M}{1 - \eta_M} \delta N_{e(i)}, \quad (13)$$

которое для принятых выше значений $\delta N_{e(i)}\eta_M$ дает $\delta N_M = \pm(27 \div 147)\%$. Следовательно, точность метода выключения цилиндров, в котором дважды используется разность двух близких величин, крайне неудовлетворительна. Но следует также учесть и влияние довольно грубых допущений, положенных в основу метода выключения цилиндров. Предполагается, во-первых, что индикаторная мощность каждого из работающих цилиндров двигателя не изменяется при выключении одного из них; во-вторых, что мощность механических потерь каждого цилиндра не меняется при его выключении. Что касается первого допущения, то оно является сомнительным в связи с тем, что на режиме работы с выключенным одним цилиндром существенно изменяется наполнение действующих цилиндров. При этом как у дизелей (особенно на режимах работы, близких к номинальному), так в особенности у двигателей с внешним смесеобразованием индикаторная мощность работающих цилиндров изменяется настолько, что в некоторых случаях условная мощность механических потерь, определяемая методом выключения цилиндров, получается отрицательной.

Поэтому данный метод не может быть рекомендован для широкого применения.

2.3. Метод проворачивания коленчатого вала двигателя от постороннего источника энергии

Данный метод является наиболее употребительным методом определения суммарных механических потерь. Технически этот метод прост и сводится к тому, что коленчатый вал двигателя, работавшего на определенном режиме, сразу после выключения подачи топлива или зажигания прокручивается балансирной электромашинной с той же скоростью. Измеренная по показаниям динамометра и тахометра мощность, затрачиваемая на проворачивание вала, отождествляется с мощностью механических потерь.

Температурное состояние трущихся деталей двигателя заметно влияет на работу трения и мощность механических потерь, поэтому при проворачивании вала двигателя (и других способах

определения механических потерь) особую важность приобретает поддержание определённого температурного режима двигателя. Обычно температурный режим двигателя контролируется по температуре охлаждающей жидкости (или воздуха), а также масла. Несоблюдение этого условия может привести к грубым погрешностям измерений.

При использовании метода проворачивания коленчатого вала погрешности определения механических потерь возникают вследствие изменения:

- режима работы и потребления мощности у некоторых из агрегатов двигателя (топливного насоса высокого давления; отчасти механизма газораспределения и т. п.);

- работы насосных ходов;

- режима и мощности трения трущихся деталей.

Погрешности, вносимые первым источником, являются незначительными, так как работа большинства агрегатов и систем двигателя при переходе от рабочего режима на проворачивание не изменяется и мощность этих агрегатов составляет незначительную часть мощности механических потерь. Следовательно, эти погрешности могут не приниматься во внимание.

Погрешности от второго и третьего источника более значительны, ибо как характер протекания насосных ходов, так и режим трения некоторых деталей двигателя существенно изменяется.

Изменение характера протекания насосных ходов вызывается тем, что при проворачивании отсутствует свободный выпуск газов, и поэтому в процессе выпуска участвует значительно (в 3–4 раза) большее количество рабочего тела, чем при нормальном рабочем процессе. Поэтому мощность насосных потерь при проворачивании гораздо (до 15–20 %) выше, чем при нормальном рабочем процессе.

Однако из этого не следует, что суммарная мощность механических потерь, определенная при проворачивании, выше действительной, поскольку переход к проворачиванию сопровождается уменьшением мощности трения юбок поршней и поршневых колец. Мгновенные силы трения этих деталей прямо пропорциональны давлению газов в цилиндрах. Так как оно во время расширения при проворачивании в 1,5–3 раза ниже действительного,

то при неизменном числе оборотов уменьшение сил трения приведет к разному снижению мощностей трения поршней и поршневых колец.

Доля мощности трения этих деталей в суммарной мощности трения (45–55 %) значительно выше, чем мощности насосных потерь (порядка 10 %), поэтому уменьшение мощности трения поршней и поршневых колец, являющееся следствием перехода от рабочего режима к проворачиванию, должно компенсировать прирост мощности насосных потерь, и общая мощность механических потерь при проворачивании заметно ниже против действительной.

Этот вывод может оказаться неверным для высокооборотных дизелей с аномально высокой мощностью насосных потерь и незначительным уменьшением мощности трения поршней при переходе к прокручиванию. Для таких дизелей можно получить значения мощности, определенной проворачиванием, больше мощности механических потерь N_M .

Следовательно, проворачивание действительно является чисто условным, абсолютная точность его совершенно недостаточная, и единственная возможная область этого метода – сравнительные заводские испытания одной и той же модели двигателя. В соответствии с вышеизложенным даже сравнение условных механических потерь разных двигателей по результатам их проворачивания довольно рискованно.

2.4. Метод одиночного выбега

По существу своему этот метод, как впрочем и метод отключения цилиндров, является разновидностью метода проворачивания с той разницей, что при отключении подачи топлива или выключении зажигания коленчатый вал двигателя прокручивается за счет запаса кинетической энергии его движущихся деталей. Эта энергия затрачивается на преодоление механических потерь (если выбег производится с режима холостого хода) или на преодоление механических потерь и внешней нагрузки (если выбег производится с рабочего режима).

Мощность, развиваемая двигателем за счет запаса кинетической энергии, равна

$$N = \frac{J\omega}{75} \frac{d\omega}{d\tau}, \quad (14)$$

где J – приведенный момент инерции подвижных деталей;
 ω – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя;
 $\frac{d\omega}{d\tau}$ – угловое ускорение (замедление) коленчатого вала.

Если выбег производится с режима холостого хода, то эта мощность затрачивается на преодоление механических потерь, и тогда

$$N_M = \frac{J\omega}{75} \left(\frac{d\omega}{d\tau} \right)_{\text{х.х.}}. \quad (15)$$

При данном методе не только возникают трудности, связанные с необходимостью достаточно точного определения приведенного момента энергии двигателя J , но и появляются те же погрешности, что и при методе проворачивания, поэтому мощность, определенная по указанной формуле, также будет условной. Погрешность при одиночном выбеге будет даже больше, чем при проворачивании, ибо кроме погрешностей, связанных с нарушением рабочего процесса и условий трения, появятся дополнительные погрешности при определении момента инерции, угловой скорости и ускорения. Этот метод вообще нельзя считать перспективным.

2.5. Метод двойного выбега

Значительно более перспективным представляется использование для определения механического КПД двигателя метода выбега, разработанного в ЦНИДИ.

Метод двойного выбега состоит в том, что с одного и того же скоростного режима выбег производится дважды, но в различных условиях: один выбег без отключения внешней нагрузки (тормоза), а второй – с режима холостого хода.

Выражение мощности, развиваемой двигателем за счет запаса кинетической энергии (см. формулу 14) в этом случае можно привести к виду

$$N = \frac{R^2}{75} Jn \frac{dn}{d\tau}, \quad (16)$$

где $R = \frac{\pi}{30} = \text{const}$.

Тогда применительно к первому и второму выбегам можно записать:

$$N_1 = N_e + N_M = N_i = \frac{R^2}{75} Jn \left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{\text{н.}}; \quad (17)$$

$$N_2 = N_M = \frac{R^2}{75} Jn \left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{\text{х.х.}}, \quad (18)$$

где индексы «н.» и «х.х.» означают, что выбег производится соответственно без снятия внешней нагрузки и с режима холостого хода.

В результате получаем

$$\eta_M = \frac{N_i - N_M}{N_i} = \frac{\left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{\text{н.}} - \left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{\text{х.х.}}}{\left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{\text{н.}}} = \frac{tg\alpha_{\text{н.}} - tg\alpha_{\text{х.х.}}}{tg\alpha_{\text{н.}}}. \quad (19)$$

В этом случае задача сводится к снятию двух тохограмм выбега и замеру на них углов наклона линии числа оборотов $\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{х.х.}}$. Следует иметь в виду, что вычисленный по полученной формуле механический КПД двигателя будет справедлив лишь для того режима, с которого производился выбег.

Так, например, если выбег производился с рабочего режима с нагрузкой P_1 и скоростью n_1 и с режима холостого хода со скоростью n_1 , то вычисленный механический КПД η_M будет соответствовать именно этим условиям ($P_1; n_1$).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запустить двигатель и прогреть на малой нагрузке. Установить скоростной и нагрузочный режим, при котором будут определяться механические потери (по указанию преподавателя).

2. Записать в протокол испытаний скорость вращения коленчатого вала и показания весов тормоза.

3. Выключить из работы первый цилиндр снятием со свечи провода высокого напряжения, тормозом восстановить первоначальную скорость вращения коленчатого вала и записать в протокол испытаний показания весов тормоза. Цилиндр может быть выключен на 15–20 с, не более. Включить цилиндр в работу.

4. Выключить поочередно 2-й, 3-й и т. д. цилиндры, каждый раз повторяя операции п. 3.

5. По результатам измерений вычислить индикаторную и эффективную мощность двигателя, мощность механических потерь и механический КПД (см. формулу (6.9)).

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать протокол испытаний с результатами измерений, результаты расчета на писчей бумаге размером 21×297 мм.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое мощность механических потерь двигателя?
2. Какая существует связь между индикаторной мощностью, эффективной мощностью и мощностью механических потерь двигателя?
3. Что такое механический КПД двигателя?
4. Какие существуют методы определения мощности механических потерь? В чем их достоинства и недостатки?
5. Почему изменяется мощность механических потерь в отключаемом цилиндре?
6. Что такое работа насосных ходов? От чего она зависит?

Лабораторная работа 11

ВНЕШНИЙ ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

1. ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цели работы – закрепление материала лекций по теории рабочих процессов автомобильных двигателей, экспериментальное определение теплового баланса двигателя.

После изучения теоретических положений, изложенных ниже, запускают двигатель, выводят его на заданный преподавателем скоростной режим и измеряют необходимые для определения теплового баланса показатели двигателя. По результатам измерений и расчетов оформляют отчёт.

Работа рассчитана на 2 часа.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В двигателях внутреннего сгорания в эффективную работу превращается лишь 20...40 % выделяемой теплоты от сгорания топливо-воздушной смеси. Остальная часть теплоты в виде различных потерь передается окружающей среде через систему охлаждения, с отработавшими газами и теплопередачей от наружных поверхностей двигателя. Для определения возможных путей снижения тепловых потерь двигателя и, следовательно, увеличения его экономичности, получения необходимых данных для расчёта системы охлаждения, а также для определения теплонапряжённости деталей необходимо знать, как распределяется теплота топлива на отдельные составляющие.

Внешним тепловым балансом двигателя называется распределение тепла, выделяющегося при сгорании топлива, на эффективную работу и различные тепловые потери. Внешний тепловой баланс может быть представлен графически (рис. 1) или в виде уравнения

$$Q_t = Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{Гф}} + Q_{\text{нс}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{ост}}, \quad (1)$$

где Q_t – количество тепла, выделяющегося при сгорании топлива в двигателе, Дж/с; Q_e – теплота, эквивалентная эффективной ра-

боте, Дж/с; $Q_{\text{охл}}$ – теплота, переданная охлаждающей жидкости, Дж/с; $Q_{\text{Гф}}$ – теплота (физическая), уносимая с отработавшими газами, Дж/с; $Q_{\text{НС}}$ – теплота, потерянная вследствие химической неполноты сгорания (при $\alpha < 1$), Дж/с; $Q_{\text{М}}$ – теплота, отводимая в систему смазки, Дж/с; $Q_{\text{ост}}$ – остаточный член теплового баланса, включающий в себя затраты энергии на преодоление сил трения и привод навесных агрегатов, потери тепла при $\alpha \geq 1$ вследствие неполного испарения топлива, потери тепла с наружной поверхности двигателя, Дж/с.

В зависимости от цели, тепловой баланс определяют для различных нагрузок, скоростей, состава смеси и др.

Располагаемая теплота топлива определяется по формуле

$$Q_t = H_u G_t, \quad (2)$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива (для бензина $H_u = 43930$ кДж/кг); G_t – часовой расход топлива, кг/ч.

Теплота, эквивалентная эффективной работе, определяется по формуле

$$Q_e = 1000 N_e, \quad (3)$$

где N_e – эффективная мощность, л. с.

Теплота, переданная охлаждающей жидкости, включает в себя теплоту, переданную через стенки цилиндра, камеры сгорания и выпускные патрубки головки цилиндров от горячих газов, а также большую часть теплоты, образующейся от трения поршня и колец о стенки цилиндра. Остальная часть теплоты от трения и теплопередачи в поршень уносится маслом.

Для определения $Q_{\text{охл}}$ необходимо замерить количество жидкости, циркулирующей в системе охлаждения в единицу времени G_w , и температуру её на входе $t_{w_{\text{вх}}}$ и выходе $t_{w_{\text{вых}}}$ двигателя. Тогда

$$Q_{\text{охл}} = G_w C_v (t_{w_{\text{вых}}} - t_{w_{\text{вх}}}), \quad (4)$$

где C_v – теплоемкость охлаждающей жидкости, кДж/(кг·град) (для воды $C_v = 1,582$); $Q_{\text{Гф}}$ – физическая теплота, уносимая с от-

работавшими газами, может быть определена по уравнению

$$Q_{\text{Гф}} = G_t [M_2(\mu C_p'')t_r - M_1(\mu C_p')t_o]. \quad (5)$$

Для определения $Q_{\text{Гф}}$, как видно из формулы (5), кроме температуры отработавших газов t_r и свежего заряда t_o необходимо знать количество молей и состав продуктов сгорания M_2 , количество свежего заряда M_1 , а также теплоёмкости остаточных газов $\mu C_p''$ и рабочей смеси $\mu C_p'$. Экспериментальное определение состава отработавших газов в зависимости от режимов работы двигателя газовым анализом довольно трудоёмко, поэтому данная формула подходит больше для теоретических расчётов. При испытании $Q_{\text{Гф}}$ обычно определяется при помощи специальных теплообменников, в которых отработавшие газы отдают часть своей теплоты охлаждающей их воде.

Достаточно надёжные результаты при экспериментальных расчётах для карбюраторных двигателей могут быть получены по формуле

$$Q_{\text{Гф}} = \left\{ \left[0,44 + \alpha \left(3,5 + \frac{3,6}{10000} \cdot t_r \right) \right] \cdot t_r - 3,58\alpha t_o \right\} \cdot \frac{G_t}{0,632}, \quad (6)$$

где t_r и t_o – соответственно температура остаточных газов и свежего заряда.

Теплота, потерянная вследствие химической неполноты сгорания ($\alpha < 1$), определяется по формуле

$$Q_{\text{нс}} = 21835(1 - \alpha) \cdot G_t. \quad (7)$$

Теплота, отводимая в систему смазки, может быть определена экспериментально с помощью специального масляного теплообменника. Потери тепла в масло составляют относительно небольшую долю от всего тепла топлива (1,5...3 %), поэтому их либо считают постоянными для любых режимов работы двигателя (например 2 % от Q_t), либо включают в остаточный член теплового баланса.

Остаточный член теплового баланса определяется как

$$Q_{\text{ост}} = Q_t - (Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{Гф}} + Q_{\text{нс}}). \quad (8)$$

Для оценки распределения теплоты более наглядным является уравнение теплового баланса, составленного в процентах от располагаемой теплоты топлива:

$$q_e + q_{\text{охл}} + q_{\text{Гф}} + q_{\text{нс}} + q_{\text{ост}} = 100 \%. \quad (9)$$

Каждый член левой части этого уравнения определяется по формулам вида

$$q_e = \frac{Q_e}{Q_t} \cdot 100 \%; \quad q_{\text{охл}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{Q_t} \cdot 100 \%. \quad (10)$$

Ниже в таблице приведены примерные значения относительных величин внешнего теплового баланса q в процентах.

| Тип двигателя | $q_e = \eta_e$ | $q_{\text{охл}}$ | $q_{\text{Гф}}$ | $q_{\text{нс}}$ | $q_{\text{ост}}$ |
|-----------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| С искровым зажиганием | 21...32 | 15...25 | 30...50 | 0...30 | 5...10 |
| Дизель | 29...40 | 20...35 | 25...40 | 0...5 | 3...8 |

Примерный характер распределения теплоты в относительных единицах q (%) в зависимости от нагрузки при постоянной скорости вращения коленчатого вала для карбюраторного двигателя показан на рисунке. Следует отметить, что каждая модель двигателя имеет свой характерный для нее тепловой баланс и соответственно вид кривых может несколько изменяться.

По мере уменьшения нагрузки (прикрытие дроссельной заслонки) в двигатель поступает все меньшее количество смеси и соответственно сокращается количество выделяемой теплоты, уменьшаются температура, давление газов в цилиндрах. Все это существенно влияет на изменение теплового баланса двигателя. Доля теплоты, превращаемой в полезную работу Q_e , и равная, согласно определению, эффективному КПД двигателя, как видно на рисунке, по мере снижения нагрузки уменьшается. Уменьшение Q_e происходит главным образом вследствие увеличения относительных потерь на трение, относительных потерь тепла в окружающую среду, а также ухудшения (замедления) процесса

сгорания и обогащения смеси на малых нагрузках (потери на химическую неполноту сгорания).

Тепловые потери в охлаждающую среду по абсолютной величине уменьшаются по мере дросселирования, но значительно медленнее, чем расход топлива. Поэтому относительная их величина $q_{охл}$ будет возрастать с уменьшением нагрузки, достигая максимума при холостом ходе.

Физическая теплота $Q_{Гф}$, уносимая с отработавшими газами, по мере дросселирования уменьшается прямолинейно пропорционально подводимой теплоте Q_t , и вследствие этого по относительной величине $q_{Гф}$ изменяется незначительно. В области малых нагрузок в ряде случаев наблюдается увеличение $q_{Гф}$ из-за уменьшения скорости сгорания и угла опережения зажигания.

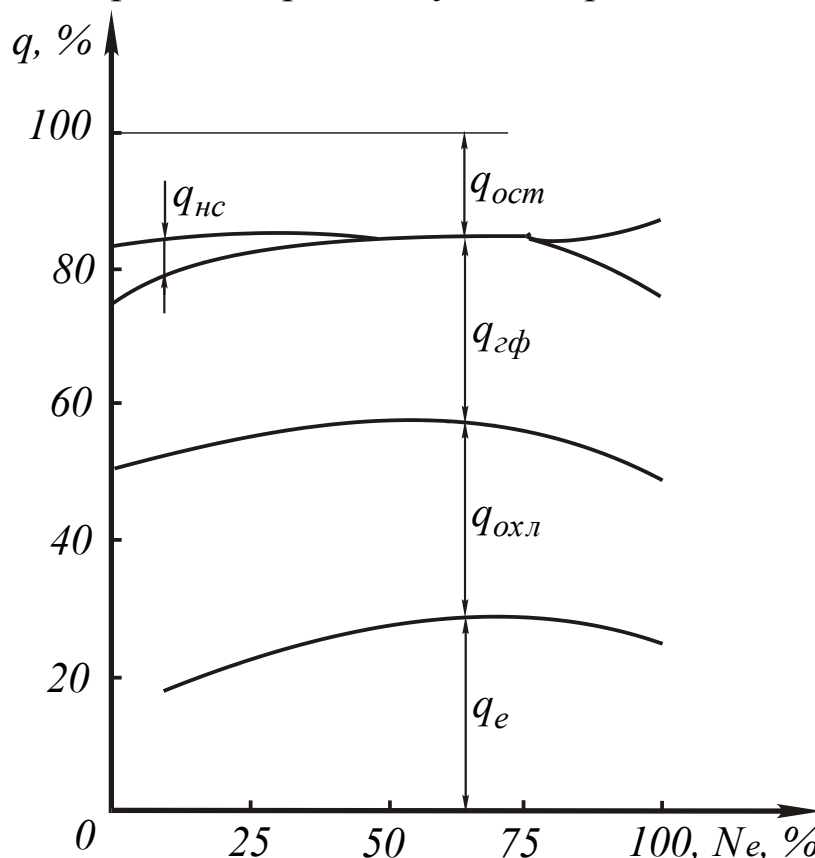


Рисунок 1 – Зависимость относительных теплот сгорания топлива от мощности двигателя

Относительное количество теплоты $q_{нс}$, теряемое вследствие химической неполноты сгорания, как отмечалось, будет наблю-

даться в тех зонах нагрузки, где $\alpha < 1$. Так, с увеличением нагрузки примерно от 80 % и выше смесь обычно делают обогащенной, и потери теплоты $q_{\text{НС}}$ могут достигать здесь значительной величины. В зоне средних нагрузок, где $\alpha = 1,0 \div 1,1$, потери от химической неполноты сгорания будут отсутствовать. При малых нагрузках и особенно при холостом ходе величина $q_{\text{НС}}$ становится наибольшей. Характер изменения $q_{\text{ОСТ}}$ в основном зависит от изменения других видов потерь.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

После прогрева двигателя на малой нагрузке устанавливают заданный преподавателем скоростной режим. Замеры желательно проводить для 5-6 нагрузочных режимов: приблизительно 15 %, 25 %, 50 %, 70 %, 80 % и 100 % максимальной мощности двигателя. На каждом режиме перед замером необходимо добиться стабилизации температуры двигателя и замерить следующие величины: усилие на весах тормоза P , время t расхода порции топлива ΔG , расход жидкости в системе охлаждения G_w , температуру охлаждающей жидкости на входе и выходе из двигателя $t_{w_{\text{ВХ}}}$ и $t_{w_{\text{ВЫХ}}}$, часовой расход воздуха G_B (показания дифференциального манометра h), температуру отработавших газов T_r .

Для перехода на следующий нагрузочный режим одновременно увеличивают подачу топлива и нагрузки так, чтобы скорость вращения коленчатого вала оставалась постоянной.

По результатам измерений вычисляют составляющие теплового баланса в абсолютных и относительных величинах и строят график теплового баланса.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

Отчёт должен содержать протокол испытаний с результатами измерений и вычислений, а также график теплового баланса на миллиметровой бумаге стандартным форматом. Вычисления производятся по формулам, приведенным во втором разделе, од-

нако, чтобы ими воспользоваться, первоначально необходимо рассчитать следующие показатели.

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{Pn}{1000} \text{ л. с.},$$

где P – усилие на весах тормоза, кг; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин;

Часовой расход топлива

$$G_t = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔG – измеряемая порция топлива, г; t – время расхода порции топлива, с.

Часовой расход воздуха

$$G_B = 9,2\sqrt{h} \text{ кг/ч},$$

где h – разность уровней столбиков жидкости в дифференциальном манометре, мм.

Часовой расход охлаждающей жидкости

$$G_W = 3600 \cdot \frac{\Delta V \rho_w}{t} \text{ кг/ч},$$

где ΔV – объём жидкости, прошедшей через расходомер, м³; t – время, за которое прошел данный объём жидкости, с; $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность охлаждающей жидкости.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 G_t},$$

где $l_0 \sim 15 \text{ кг/кг}$ – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое внешний тепловой баланс двигателя?
2. Какие потери тепла включают в себя основные составляющие теплового баланса?
3. Объясните характер изменения основных составляющих теплового баланса в зависимости от нагрузки двигателя.
4. Какие существуют различия во внешнем тепловом ба-

лансе карбюраторного двигателя и дизеля?

5. Работа каких систем двигателя определяет характер изменения $Q_{\text{НС}}$ при изменении нагрузки двигателя?

6. Какие параметры нужно измерить, чтобы определить $Q_t =, Q_e, Q_{\text{охл}}, Q_{\text{Гф}}, Q_{\text{НС}}, Q_{\text{ост}}$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглева. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

2. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / под ред. В. Н. Луканина. – М.: Высш. шк., 1995. – 368 с.

Составители
Цыганков Дмитрий Владимирович
Березин Александр Сергеевич

СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ

Методические указания для лабораторных работ
для студентов направления 23.03.01 (190600.62)
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.06.2015. Формат 64×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 6,7.

Тираж 30 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

КАФЕДРА ИСТОРИИ, ФИЛОСОФИИ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУК

Составитель
Е. В. Кузнецова

СОЦИОЛОГИЯ

**Методические указания к самостоятельной работе
для студентов всех направлений подготовки
заочной формы обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
в качестве электронного издания для самостоятельной работы

Кемерово 2016

Рецензенты:

Г. Е. Логинова – кандидат философских наук, доцент кафедры истории, философии и социальных наук

Н. Р. Барышева – кандидат исторических наук, доцент кафедры истории, философии и социальных наук

Кузнецова Елена Владимировна

Социология: методические указания к самостоятельной работе для студентов всех направлений подготовки [Электронный ресурс] заочной формы обучения / сост. Е. В. Кузнецова; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016.

Представлены варианты контрольных работ, примерный перечень вопросов для промежуточной аттестации и список рекомендуемой литературы.

© КузГТУ, 2016

© Кузнецова Е. В.,
составление, 2016

Социология – одна из ключевых обществоведческих дисциплин, предметом которой являются общие закономерности становления, организации, функционирования и развития общества в целом, составляющих его социальных систем и социальных отношений. Социология изучает основы и механизмы общественного устройства, социальные законы, социальные связи и взаимодействия.

Цель преподавания социологии – ознакомить студентов с многообразными проблемами общественного развития, научить более глубокому пониманию происходящие в стране, в мире социальные процессы и грамотно использовать в своей профессии объективные социальные законы.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Социология как наука об обществе. Объект, предмет и основные категории социологии. Структура социологии. Теоретическая и прикладная социология. Функции социологии. Методы социологических исследований. Место социологии в системе общественных и гуманитарных наук.

История развития социологии. Экономические, социально-политические и научные предпосылки социологии. Социологический проект О. Конта. Исторические этапы становления и развития социологической науки, их особенности. Классический период в западной социологии: основные направления и школы. Современная западная социология. Социологическая мысль в России во второй половине XIX – начале XX вв. Советский период в социологии. Современная российская социология.

Общество как система. Развитие представлений об обществе в истории социальной мысли. Социологические концепции сущности общества. Общество как саморазвивающаяся система. Основные системообразующие признаки общества. Социальная система как совокупность общественных связей. Социальные процессы, социальные отношения, социальные взаимодействия. Типология обществ. Иерархия социальных систем в обществе. Социальные институты. Социальные общности. Социальные группы. Социальные организации.

Теория развития общества. Социальные изменения и социальное развитие. Модели социальных изменений. Модернизация.

Концепции социального прогресса. Основные тенденции современного мирового развития. Процессы глобализации и формирование мировой системы. Место России в мировом сообществе.

Социальная структура и социальная стратификация. Сущность и причины социального неравенства. Понятие социальной структуры общества. Основные социологические подходы к изучению социальной структуры, их особенности. Социальная стратификация. Системы социальной стратификации. Современные концепции социальной стратификации. Социальная стратификация российского общества: особенности, модели, тенденции изменения. Социальная мобильность, ее факторы и типология. Измерение социальной мобильности.

Социология личности. Сущность, обязательные характеристики и структура личности. Личность как деятельный субъект. Личность и общество. Социальный тип личности. Социологические концепции личности. Социальный статус: понятие, виды, элементы. Личность и социальные роли. Социализация личности. Социальный контроль. Отклоняющееся поведение.

Социология культуры. Социологические концепции культуры. Особенности функционирования культуры. Структура духовной культуры: элементы духовной культуры, формы и уровни культуры. Социальные функции культуры. Культура как фактор социальных изменений. Взаимодействие культуры, экономики и социальных отношений.

Социология образования. Образование как социальная система. Социальные функции и цели образования. Образование в современной России: проблемы и тенденции развития.

Этносоциология. Основные категории этносоциологии. Проблемы межэтнических отношений. Современные тенденции развития этносов.

Социология семьи. Социальная сущность семьи. Структура и типология семьи. Функции семьи. Основные проблемы и тенденции развития современной семьи.

Социология управления. Социальная сущность и функции управления. Структура управления. Методы управления.

Социальный конфликт. Причины, субъекты, основные характеристики, этапы развития социального конфликта. Типология социальных конфликтов. Социальные функции конфликтов.

Организация и методика социологического исследования. Предназначение и виды социологических исследований. Про-грамма социологического исследования. Выборка в социологиче-ском исследовании. Методы сбора социологической информации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Самостоятельная работа студентов заочной формы обучения заключается в изучении теоретических вопросов дисциплины в объеме очной формы обучения, выполнении контрольной работы и подготовке к практическим занятиям и промежуточной аттестации.

Тема контрольной работы определяется по таблице. Номер темы соответствует первой букве фамилии студента.

| Первая буква фамилии | Номер темы | Первая буква фамилии | Номер темы |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| А | 1 | П | 11 |
| Б | 7 | Р | 24 |
| В | 14 | С | 19 |
| Г | 12 | Т | 16 |
| Д | 6 | У | 21 |
| Е | 2 | Ф | 22 |
| Ж | 10 | Х | 17 |
| З | 8 | Ц, | 4 |
| И | 3 | Ю | 4 |
| К | 15 | Ч | 13 |
| Л | 20 | Ш | 25 |
| М | 9 | Щ | 26 |
| Н | 18 | Э | 5 |
| О | 23 | Я | 8 |

Прежде чем приступить к выполнению контрольной работы, необходимо ознакомиться с литературой, проанализировать, осмыслить и систематизировать полученную информацию. Помимо рекомендованной литературы студенты могут пользоваться и другой, подобранной самостоятельно.

Контрольная работа включает название темы, план, введение, соответствующее плану содержание, заключение, список использо-

ванной литературы. В тексте контрольной работы должно быть четко указано начало каждого ее раздела (вопроса).

Контрольная работа начинается с введения, в котором обосновывается значение, актуальность темы. Раскрывая содержание основных разделов (вопросов) темы, студентам следует подтверждать теоретические положения конкретными фактическими данными, высказывать свою точку зрения по рассматриваемым проблемам.

В заключении формируются общие выводы по теме. Изложение темы должно носить самостоятельный, творческий характер. Не допускается механическое переписывание материала из научной и учебной литературы. В работе должны быть ссылки на использованную литературу.

На титульном листе контрольной работы указываются вуз, кафедра, предмет, название темы, а также фамилия, имя, отчество студента, курс, группа.

Работу следует аккуратно оформить. Текст набирается шрифтом № 14 пт Times New Roman через 1,5 интервала, без грамматических и стилистических ошибок. Страницы нумеруются, на каждой странице следует оставлять поля (2-3 см) для замечаний преподавателя.

Объем контрольной работы – 15-20 листов формата А-4. Контрольная работа, выполненная без соблюдения указанных требований, к защите не принимается.

Контрольная работа должна быть представлена к проверке не позднее, чем за 10 дней до зачета (экзамена).

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Тема № 1. Социология как наука об обществе

1. Предмет и основные категории социологии.
2. Структура и функции социологии.
3. Место социологии в системе общественных и гуманитарных наук.
4. Роль социологической службы в организациях.

Тема № 2. Организация социологического исследования (прикладная социология)

1. Предназначение и виды социологических исследований.

2. Программа социологического исследования (нормативные требования, принципы построения, структура).
3. Выборка в социологическом исследовании.

Тема № 3. Методы сбора социологической информации (прикладная социология)

1. Наблюдение и эксперимент в социологии.
2. Анализ документов.
3. Опрос в социологическом исследовании.
4. Применение социологических методов исследования в строительной сфере.

Тема № 4. История развития социологии

1. Экономические, социально-политические и научные предпосылки социологии.
2. Позитивистско-натуралистическая социология.
3. Направления и школы субъективистско-психологического характера.

Тема № 5. Современная западная социология

1. Особенности западной социологии XX – нач. XXI вв.
2. Современные социологические теории.

Тема № 6. Развитие социологии в России

1. Становление и особенности российской социологии в XIX – нач. XX вв.
2. Основные направления и школы российской дореволюционной социологии.

Тема № 7. Советский и постсоветский период в развитии социологии

1. Советский период в российской социологии.
2. Современная российская социология: основные проблемы и тенденции развития.

Тема № 8. Социология общества

1. Развитие представлений об обществе в истории социальной мысли.
2. Социологические концепции сущности общества.

3. Типология обществ.

Тема № 9. Теория развития общества

1. Социальные изменения и социальное развитие.
2. Концепции социального прогресса.
3. Процессы глобализации и формирование мировой системы.

Тема № 10. Социальные общности и группы

1. Особенности и виды социальных общностей.
2. Социальные группы: понятие, характерные черты.
3. Классификация социальных групп.

Тема № 11. Социальные институты

1. Происхождение социальных институтов.
2. Институциональные признаки и основные виды социальных институтов.
3. Функции социальных институтов.

Тема № 12. Социология образования (социальный институт)

1. Образование как социальная система.
2. Социальные функции и цели образования.
3. Образование в современной России: проблемы и тенденции развития.

Тема № 13. Социология семьи (социальный институт)

1. Социальная сущность и функции семьи.
2. Типология семьи.
3. Основные проблемы и тенденции развития современной семьи.

Тема № 14. Социальные организации

1. Характерные черты и структура социальных организаций.
2. Типы организаций.
3. Управление в организации.

Тема № 15. Социальная структура и социальная стратификация

1. Сущность и причины социального неравенства.
2. Социальная стратификация: понятие, исторические типы, концепции.

3. Сущность среднего класса.

Тема № 16. Социальная стратификация современного российского общества

1. Особенности, примерная модель.
2. Основные тенденции изменений социальной стратификации российского общества.
3. Социальная мобильность, ее факторы и формы.

Тема № 17. Социология личности

1. Сущность, обязательные характеристики и структура личности.
2. Социологические концепции личности.
3. Социальные типологии личности.

Тема № 18. Социальные статусы и роли

1. Социальные статусы: сущность, виды, элементы.
2. Личность и социальные роли (понятие социальной роли, ролевое напряжение, механизмы снятия ролевого напряжения).

Тема № 19. Отклоняющееся поведение

1. Природа и виды социальных отклонений.
2. Социологические теории девиантного поведения.
3. Функции и дисфункции девиации.

Тема № 20. Социализация личности

1. Сущность, социальные факторы и механизмы социализации.
2. Этапы социализации, их особенности.
3. Десоциализация и ресоциализация.

Тема № 21. Социология культуры

1. Социологические концепции культуры.
2. Закономерности (особенности) функционирования культуры.

Тема № 22. Структура духовной культуры

1. Элементы духовной культуры (знаково-символическая, ценностно-нормативная системы, система образцов поведения).
2. Формы культуры.
3. Уровни культуры.

Тема № 23. Социальный контроль

1. Сущность и элементы социального контроля.
2. Формальный и неформальный контроль.
3. Общественное мнение.

Тема № 24. Этносоциология

1. Предмет и основные категории этносоциологии.
2. Межэтнические отношения.
3. Современные тенденции развития этносов.

Тема № 25. Социология управления

1. Социальная сущность и функции управления.
2. Структура управления.
3. Методы управления.

Тема № 26. Социальный конфликт (социология культуры)

1. Социальный конфликт: основные характеристики, этапы развития.
2. Типология социальных конфликтов.

Примерный перечень вопросов к промежуточной аттестации

1. Объект, предмет и структура социологии.
2. Законы социологии.
3. Функции социологии.
4. Сущность и признаки общества.
5. Общество как система.
6. Типология обществ.
7. Понятие социальной группы и общности.
8. Виды социальных групп.
9. Социальное неравенство. Сущность и причины.
10. Система социальной стратификации.
11. Особенности социальной структуры российского общества.
12. Социальная мобильность, каналы и виды.
13. Понятие социального института. Семья как социальный институт.
14. Функции и типологии семейных структур.
15. Сущность и происхождение культуры.
16. Основные элементы культуры и социокультурный процесс.

17. Функции культуры и культурные универсалии. Формы и уровни культуры.
18. Понятие личности.
19. Социальные функции и статус человека.
20. Социальные роли и ролевые конфликты.
21. Понятие «социальная норма» и ее свойства.
22. Типология и функции социальных норм.
23. Понятие «социальный контроль».
24. Понятие и основные формы девиантного поведения.
25. Методы социологического исследования.

Литература

Основная литература

1. Барышева, Н. Р. Основы социологии: учеб. пособие / Н. Р. Барышева, Е. В. Кузнецова; КузГТУ. – Кемерово, 2015. – 132 с.
2. Кравченко, А. И. Социология : учебник для бакалавров. – 2-е изд., испр. и доп. / А. И. Кравченко. – Москва : Юрайт, 2013. – 525 с.
3. Тощенко, Ж. Т. Социология [электронный ресурс]: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. / Ж. Т. Тощенко. – Москва : Юнити-Дана, 2012. – 608 с. – Режим доступа:
http://www.biblioclub.ru/78511_Sotsiologiya.html

Дополнительная литература

4. Барышева, Н. Р. Социология. Практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов технических университетов всех специальностей и направлений / Н. Р. Барышева, Е. В. Кузнецова; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». – Кемерово, 2013. – 144 с. - Режим доступа:
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90997&type=utchposob:common>
5. Барышева, Н. Р. Социология организаций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. Р. Барышева, Е. В. Кузнецова; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. социологии, полит. отношений и права. – Кемерово, 2012. – 159 с. - Режим доступа:
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90874&type=utchposob:common>
6. Барышева, Н. Р. Социология культуры: учеб. пособие / Н. Р. Барышева, Е. В. Кузнецова; КузГТУ. – Кемерово, 2015. – 76 с.
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91336&type=utchposob:common>

7. Кильмашкина, Т. Н. Конфликтология. Социальные конфликты [электронный ресурс]: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Т. Н. Кильмашкина. – Москва : Юнити-Дана: Закон и право, 2012. – Режим доступа:

http://www.biblioclub.ru/115392_Konfliktologiya_Sotsialnye_konflikty.html

8. Кравченко, А. И. Социология: учебник. – 2-е изд., испр. и доп. / А. И. Кравченко. – Москва : Юрайт, 2013. – 525 с.

9. Мягков, А. Ю. Социология: основы общей теории [электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Ю. Мягков. – Москва : Флинта, 2011. – 255 с. – Режим доступа:

<http://www.biblioclub.ru/book/70385/>

10. Социология: учебник / отв. ред. В. А. Глазырин. – Москва : Юрайт, 2012. – 400 с.

11. Фененко, Ю. В. Социология управления [электронный ресурс]: учебник / Ю. В. Фененко. – Москва : Юнити-Дана, 2012. – 215 с. Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/catalog/182/>

12. Шендрик, А. И. Социология культуры [электронный ресурс]: учеб. пособие / А. И. Шендрик. – Москва : Юнити-Дана, 2012. – 479 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/catalog/182/>

Периодические издания

13. «Журнал социологии и социальной антропологии». Режим доступа:

<http://www.si.ras.ru/index.php?pid=54&lid=1&PHPSESSID=6f44d0397a45e0b75370334744684b7c>

14. «Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены». Режим доступа:

<http://wciom.ru/index.php?id=98>

15. «Регион: экономика и социология». Режим доступа:

<http://www.sibran.ru/res.htm>

16. «Рубеж», альманах социальных исследований. Режим доступа: <http://ecsocman.edu.ru/rubezh/>

17. «Социо-Логос». Режим доступа:

<http://sociologos.net/sociologos>

18. «Социологические исследования» (СоЦис). Режим доступа: <http://www.isras.ru/socis.html>

19. «Социологический журнал» ИС РАН. Режим доступа:

<http://www.nir.ru/socio/scipubl/socjour.htm>

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

И.В. Дворовенко

И.И. Дворовенко

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Теплотехника»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики;
Богомолов А.Р. – д.т.н., председатель учебно-методической комиссии направления подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Дворовенко Игорь Викторович

Дворовенко Инна Ивановна

Сравнение эффективности работы различных теоретических циклов двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения / И.В. Дворовенко, И.И. Дворовенко; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания к выполнению лабораторной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника» и предназначены для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

© КузГТУ, 2016

© Дворовенко И.В.,

Дворовенко И.И., 2016

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является сравнительное исследование эффективности циклов двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок.

В ходе работы студенты выбирают исследуемые циклы, задают значения характеристик одного из них, начальные температуру и давление. Задачей исследования является сравнение эффективности работы различных циклов двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок при одинаковой максимальной температуре или одинаковых максимальных температуре и давлении, или одинаковой подводимой теплоте, или одинаковой отводимой теплоте.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теплосиловые газовые циклы подразделяют на циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинных установок (ГТУ). По способу подвода циклы ДВС, в свою очередь, подразделяют на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля), при постоянном объеме (цикл Отто), с комбинированным подводом теплоты (цикл Тринклера); циклы ГТУ – на циклы с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Брайтона) и при постоянном объеме (цикл Хамфри). Отвод теплоты в ДВС осуществляется по изохоре, в ГТУ – по изобаре, сжатие и расширение газа в ДВС и ГТУ – по адиабате.

В работе рассматриваются обратимые циклы, в которых в качестве рабочего тела используется идеальный газ с постоянной теплоемкостью, имеющий свойства воздуха. Изобарная теплоемкость в циклах равна 1000 Дж/(кг×К), показатель адиабаты – 1,4.

Эффективность работы любого теплосилового цикла определяется значением термического КПД, который рассчитывают по уравнению:

$$\eta_T = 1 - \frac{q_2}{q_1},$$

где q_1 – количество теплоты, подведенной в цикле к рабочему телу, кДж/кг; q_2 – количество отведенной от рабочего тела теплоты, кДж/кг.

2.1. Цикл ДВС с комбинированным подводом теплоты

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2},$$

– степень повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2},$$

– степень предварительного расширения или степень изобарного расширения

$$\rho = \frac{v_4}{v_3},$$

где v_1, v_2, v_3, v_4 – удельный объем газа в характерных точках цикла (рис. 1, а), м³/кг; p_2, p_3 – абсолютное давление в характерных точках цикла, бар.

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3) = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\lambda - 1) + k c_v \lambda \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1),$$

$$q_1 = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 [(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)],$$

количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_v(T_5 - T_1) = c_v T_1 (\rho^k \lambda - 1),$$

где T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 – температуры в характерных точках цикла (рис. 1, б), К; c_v, c_p – изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг×К); k – показатель адиабаты.

Термический КПД цикла Тринклера равен

$$\eta_T = 1 - \frac{\rho^k \lambda - 1}{\varepsilon^{k-1} [(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)]}.$$

Максимальное давление в цикле равно давлению в точках 3 или 4 (рис. 1, а):

$$p_{\max} = \lambda \varepsilon^k p_1,$$

Максимальная температура определяется температурой в точке 4 (рис. 1, б):

$$T_{\max} = \rho \lambda \varepsilon^{k-1} T_1.$$

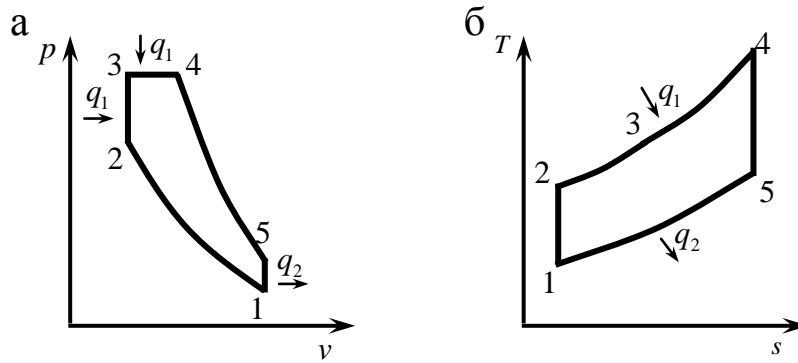


Рис. 1. Диаграммы цикла ДВС с комбинированным подводом теплоты: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

2.2. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{\nu_1}{\nu_2},$$

– степень предварительного расширения или степень изобарного расширения

$$\rho = \frac{\nu_4}{\nu_3},$$

В цикле степень повышения давления $\lambda = 1$, поэтому на диаграммах (рис. 2) точки 2 и 3 совпадают.

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_p \varepsilon^{k-1} T_1 (\rho - 1).$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_v T_1 (\rho^k - 1).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_T = 1 - \frac{\rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} k (\rho - 1)}.$$

Максимальное давление в цикле равно давлению в точках 2 или 4 (рис. 2, а):

$$p_{\max} = \varepsilon^k p_1.$$

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 4 (рис. 2, б):

$$T_{\max} = \rho \varepsilon^{k-1} T_1.$$

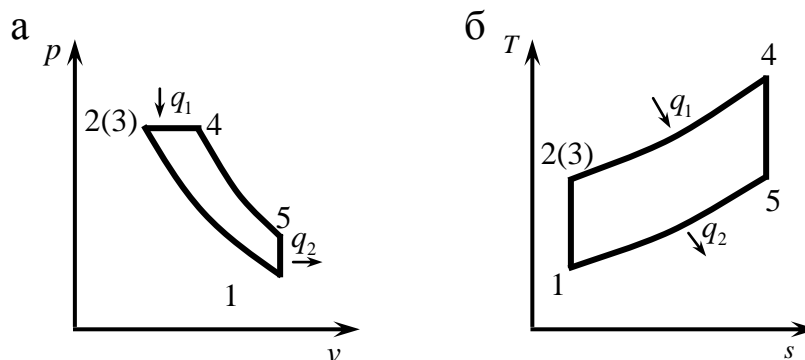


Рис. 2. Диаграммы цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

2.3. Цикл ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме

Основными характеристиками цикла являются:

– степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{\nu_1}{\nu_2},$$

– степень повышения давления

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}.$$

В цикле степень предварительного расширения $\rho = 1$, поэтому на диаграммах (рис. 3) точки 3 и 4 совпадают.

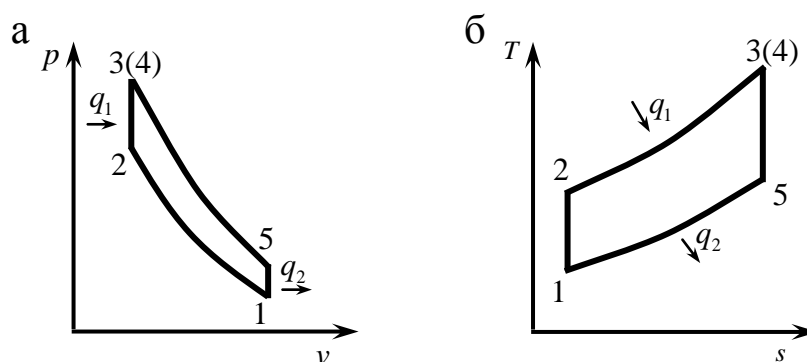


Рис. 3. Диаграммы цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме: а – в $p\nu$ -координатах; б – в Ts -координатах

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_v \varepsilon^{k-1} T_1 (\lambda - 1).$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_v T_1 (\lambda - 1).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 3, а):

$$p_{\max} = \lambda \varepsilon^k p_1.$$

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 3, б):

$$T_{\max} = \lambda \varepsilon^{k-1} T_1.$$

2.4. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень изобарного расширения:

$$\rho = \frac{v_3}{v_2}.$$

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) = c_p \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1 (\rho - 1).$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_p T_1 (\rho - 1).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{k-1}{k}}}.$$

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 4, а):

$$p_{\max} = \beta p_1.$$

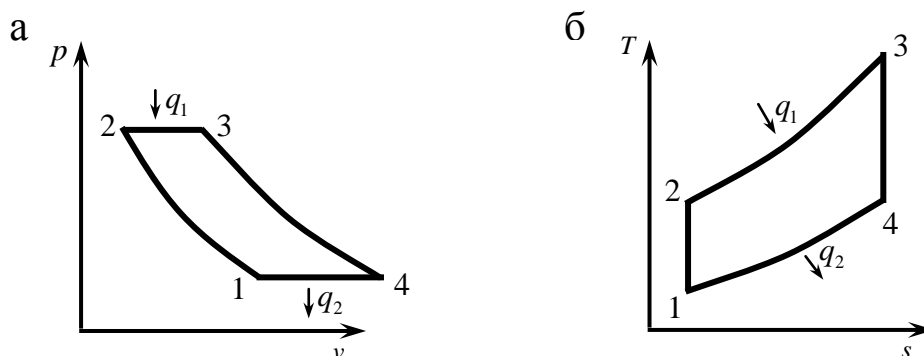


Рис. 4. Диаграммы цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении: а – $p-v$ -координатах, б – в Ts -координатах

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 4, б):

$$T_{\max} = \rho \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1.$$

2.5. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме

Основными характеристиками цикла являются:

– степень повышения давления:

$$\beta = \frac{p_2}{p_1},$$

– степень добавочного повышения давления:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2}.$$

Количество подведенной теплоты:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2) = c_v \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1 (\lambda - 1).$$

Количество отведенной теплоты:

$$q_2 = c_p (T_4 - T_1) = k c_v T_1 (\lambda^{1/k} - 1).$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_T = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{\beta^{\frac{k-1}{k}} (\lambda - 1)}.$$

Максимальное давление в цикле равно давлению в точке 3 (рис. 5, а):

$$p_{\max} = \lambda \beta p_1.$$

Максимальная температура в цикле равна температуре в точке 3 (рис. 5, б):

$$T_{\max} = \lambda \beta^{\frac{k-1}{k}} T_1.$$

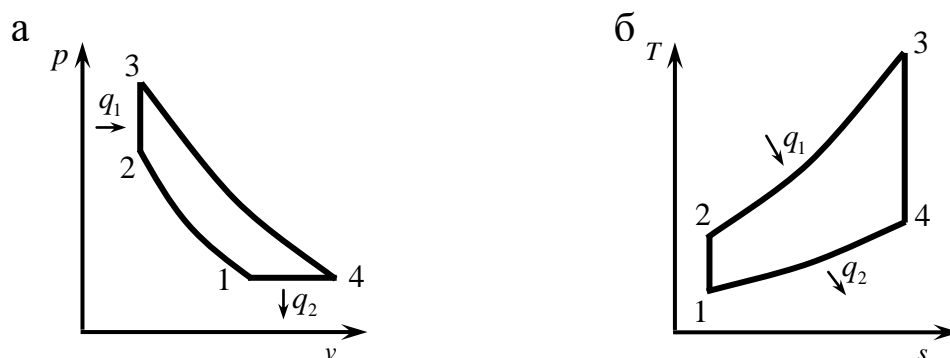


Рис. 5. Диаграммы цикла ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме: а – $p\nu$ -координатах, б – в Ts -координатах

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Основными элементами установки (рис. 6) являются: $p\nu$ - и Ts -диаграммы 2, списки циклов 4, начальных температур 6, начальных давлений 7, степеней сжатия 8, степеней повышения давления 9, степеней предварительного расширения 10, отношений степеней сжатия в цикле Дизеля и цикле Отто 13, кнопки расчета циклов для различных методов сравнения: при одинаковой максимальной температуре 15, при одинаковых максимальных температуре и давлении 14, при одинаковой подведенной теплоте 17, при одинаковой отведенной теплоте 16, вывода данных о цикле в таблицу Excel 11, очистки окон диаграмм и сведений о графиках 12.

В окне 18 задаются значения характеристик цикла ДВС, указанного слева в списке циклов 4, характеристики цикла ГТУ вычисляются программой.

При помощи списка 4 задают исследуемый цикл, в списках 6 и 7 устанавливают начальные температуру и давление. В зависимости от задачи исследования устанавливают значения степеней сжатия, повышения давления и предварительного расширения при помощи

списков 8-10. Для расчета циклов и вывода диаграмм циклов, сравниваемых различными методами, используют кнопки 13-16. При помощи кнопки 11 можно вывести сведения о последнем рассчитанном цикле в таблицу Excel. Для удаления графиков циклов нужно нажать кнопку 12.

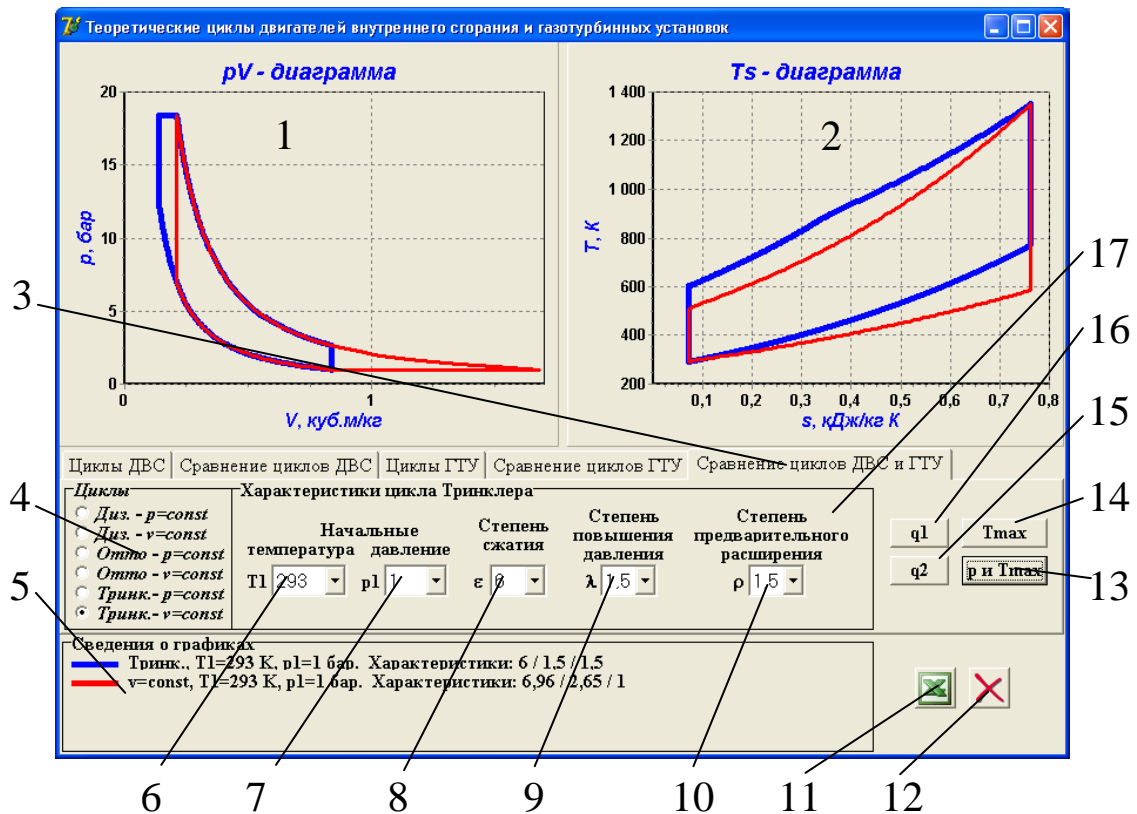


Рис. 6. Интерфейс программы:

- 1 – pV -диаграмма цикла, 2 – Ts -диаграмма цикла,
 3 – страница лабораторной работы, 4 – список циклов, 5 – окно вывода сведений о циклах, 6 – список начальных температур,
 7 – список начальных давлений, 8 – список степеней сжатия,
 9 – список степеней повышения давления, 10 – список степеней предварительного расширения, 11 – кнопка вывода данных о цикле в таблицу Excel, 12 – кнопка очистки окон диаграмм и сведений о графиках, 13 – кнопка сравнения циклов при одинаковых максимальных температуре и давлении, 14 – кнопка максимальной температуре, 15 – кнопка сравнения циклов при одинаковой подводимой теплоте, 16 – кнопка сравнения циклов при одинаковой отводимой теплоте, 17 – окно начальных параметров и характеристик цикла

При сравнении циклов при одинаковых максимальных температуре и давлении степень повышения давления цикла ГТУ вычисляется программой. В остальных случаях принимается, что степень сжатия (степень повышения давления) в обоих исследуемых циклах одинакова.

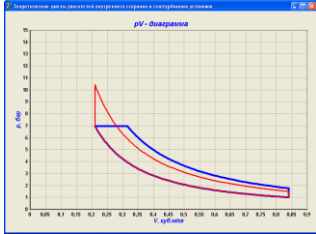


Рис. 7. Вывод диаграммы в размер окна программы

В окнах диаграмм 1 и 2 выводится одновременно два графика рассматриваемых циклов.

Для более подробного ознакомления с диаграммами циклов их размер можно увеличить до размера окна программы (рис. 7), щелкнув мышкой в окне диаграммы. Для восстановления окна диаграммы нужно еще раз щелкнуть по диаграмме.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы студент должен знать теоретические положения исследуемого цикла, изучить устройство лабораторной установки, уметь задавать значения различных параметров и характеристик цикла.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Преподаватель ставит задачу исследования.
2. Запускают приложение «Теоретические циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок» и выбирают страницу «Сравнение циклов ДВС и ГТУ».
3. Выбирают сравниваемые циклы в списке 4 (рис. 3).
4. Задают начальные параметры циклов: температуру и давление.
5. Устанавливают величины характеристик цикла ДВС, значения которых не будут изменяться в ходе работы.
6. Задают значение характеристики, влияние которой при сравнении эффективности циклов изучается.
7. Нажимают кнопку сравнения циклов (13, 14, 15 или 16) в зависимости от задачи исследования.
8. Переносят сведения о цикле в таблицу Excel кнопкой 11.
9. Пункты 6 – 8 повторяют до выполнения задачи исследования.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Рассчитывают подводимую и отводимую теплоту в каждом цикле.
2. Определяют термический КПД цикла.
3. Строят графики зависимости термических КПД циклов от характеристики цикла.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляют на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

- а) титульный лист установленной формы;
- б) краткое изложение теоретических положений;
- в) принципиальную схему установки;
- г) таблицы «Журнал наблюдений и результаты расчетов»;
- д) графики зависимостей;
- е) анализ результатов работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель работы.
2. Принципы работы ДВС и ГТУ.
3. Достоинства и недостатки ДВС и ГТУ.
4. Области применения.
5. Основные характеристики циклов.
6. Как определить максимальные значения температуры и давления в цикле?
7. Выведите формулу для расчета термического КПД цикла.
8. Как влияют характеристики цикла на максимальную температуру в цикле?
9. Что такое индикаторная диаграмма?
10. Рассчитайте приблизительно количество подведенной теплоты по диаграмме цикла, количество отведенной теплоты, полезную работу.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1979. – 512 с.

2. Техническая термодинамика: учеб. для студентов вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.; под ред. В.И. Крутова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.

3. Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Энергообеспечение предприятий". – М.: Абрис, 2012. – 318 с. Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117652/>

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Факультет фундаментальной подготовки

Кафедра физики

ФИЗИКА

ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Методические указания для подготовки к выполнению
лабораторной работы № 234 для студентов всех направлений
и специальностей

Составитель Н. И. Крумликова

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 9 от 21.03.2017
Рекомендованы к изданию
учебно-методической комиссией
направления 20.03.01
Протокол № 10 от 27.04.2017
Электронная версия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2017

ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

1. Цель работы: исследование зависимости периода затухающих электромагнитных колебаний от параметров колебательного контура.

2. Подготовка к работе: изучить теоретические положения, касающиеся данного явления, по литературным источникам, приведённым в конце методических указаний [5.1–5.4]. Для выполнения работы студент должен знать: а) дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение; б) логарифмический декремент затухания, коэффициент затухания; в) период и частоту затухающих колебаний; г) методы определения периода затухающих колебаний, логарифмического декремента затухания и критического сопротивления контура; д) изучить схему лабораторной установки; е) ознакомиться с работой колебательного контура и осциллографа.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторного стенда

На рис. 1 приведена электрическая схема лабораторной установки, состоящая из трансформатора ТР, полупроводникового диода ПД, ключа K , конденсатора C , катушки индуктивности L , резистора R , электронного осциллографа ЭО.

Колебания возникают в колебательном контуре, который представляет собой замкнутую цепь, состоящую из конденсатора C , катушки индуктивности L и резистора R . Так как колебания в реальном контуре являются затухающими из-за потерь энергии, необходимо периодически возбуждать контур импульсами напряжения от сети.

Полупроводниковый диод пропускает ток только в одном направлении. Поэтому в течение одного полупериода переменного тока происходит зарядка конденсатора, а в течение другого полупериода – разрядка. Таким образом, за каждый период переменного тока (0,02 с) в контуре возникает один цуг затухающих колебаний, длительность которого равна 0,01 с.

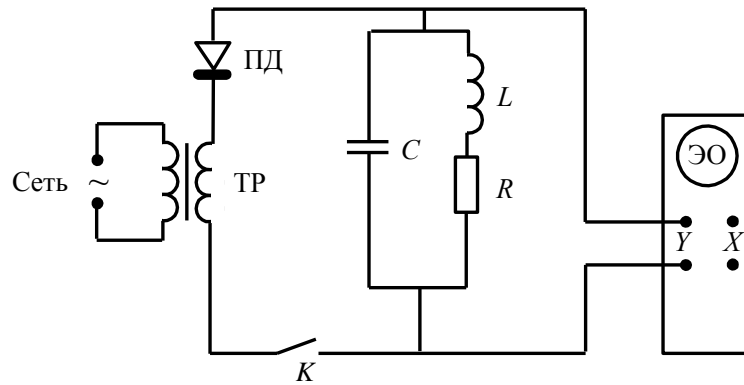


Рис. 1. Схема лабораторной установки для изучения затухающих электромагнитных колебаний

Если подключить на вход $У$ осциллографа клеммы 1–2, то на экране осциллографа будут наблюдаться колебания напряжения на реостате, если клеммы 2–3 – то колебания напряжения на катушке индуктивности, если клеммы 1–3, – то на экране осциллографа будет виден результат сложения колебаний на реостате и катушке индуктивности.

На рис. 2 приведена электрическая схема лабораторной установки, состоящая из трансформатора ТР, звукового генератора ЗГ, реостата R , ключей K_1 и K_2 , электронного осциллографа ЭО.

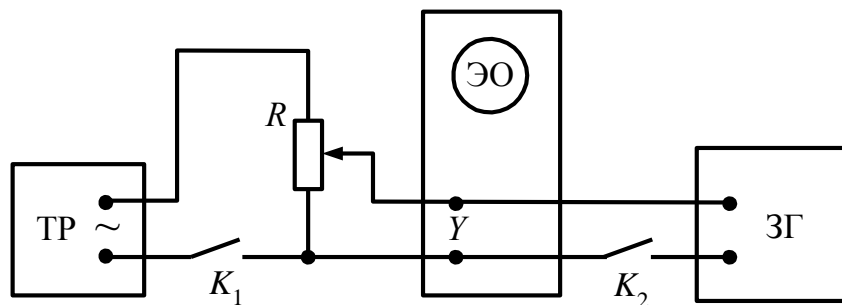


Рис. 2. Схема лабораторной установки для изучения сложения колебаний одного направления с близкими частотами

3.2. Методика измерений и расчёта

При разрядке конденсатора в контуре возникают электромагнитные колебания. Так как в реальном контуре амплитуда колебаний постепенно уменьшается, то колебания являются *затухающими* (рис. 2).

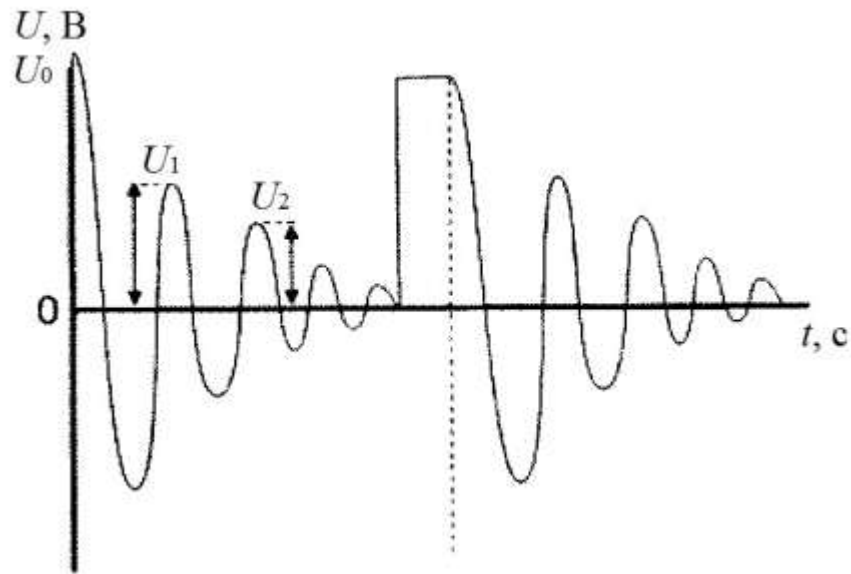


Рис. 2. Затухающие колебания в контуре

Дифференциальное уравнение затухающих колебаний имеет вид:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{LC} U = 0. \quad (1)$$

Его решение

$$U_C = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

где β – коэффициент затухания,

$$\beta = \frac{R}{2L}, \quad (3)$$

ω – циклическая частота затухающих колебаний:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}, \quad (4)$$

при этом $\omega = \frac{2\pi}{T}$, тогда

$$T_{\text{теор}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}, \quad (5)$$

Из уравнения (2) видно, что амплитуда затухающих колебаний уменьшается со временем по экспоненциальному закону. Быстроту затухания колебаний характеризует *логарифмический декремент затухания* Λ , который представляет собой натуральный логарифм отношения двух амплитуд, отстоящих друг от друга по времени на один период. Теоретическое значение логарифмического декремента затухания определяется по формуле

$$\Lambda_{\text{теор}} = \ln\left(\frac{U_1}{U_2}\right) = \beta T = \frac{R}{2L} T_{\text{теор}}. \quad (6)$$

При достаточно большом сопротивлении R контура или малой индуктивности L колебания в контуре не возникают, а происходит так называемый *апериодический разряд* конденсатора. Из формул (4) и (5) следует, что в контуре возможны затухающие колебания лишь в том случае, если

если $\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2$. Если

$\frac{1}{LC} < \left(\frac{R}{2L}\right)^2$, то в этом случае возникает апериодический разряд конденсатора (рис. 3).

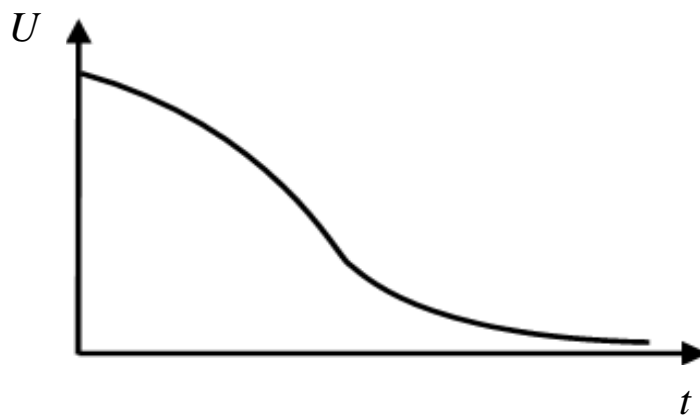


Рис. 3. Апериодический разряд конденсатора

Сопротивление

$$R_{\text{кр}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (7)$$

называется *критическим*.

3.3. Определение периода затухающих колебаний и исследование его зависимости от ёмкости контура

3.3.1. Собрать схему в соответствии с рис. 1.

3.3.2. Включить осциллограф.

3.3.3. Выставить на магазине ёмкостей наименьшую ёмкость. Получить на экране осциллографа устойчивую картину затухающих колебаний в виде цуга, длительность которого составляет 0,01 с.

3.3.4. Зная число полных колебаний n в одном цуге, экспериментальное значение периода затухающих колебаний можно определить по формуле

$$T_{\text{эксп}} = \frac{0,01}{N}. \quad (8)$$

Однако максимумы в конце цуга трудно различимы, поэтому подсчитать точное число полных колебаний n в цуге не удаётся. В этом случае следует:

а) определить число делений N шкалы экрана осциллографа, укладывающихся в длине цуга (в 0,01 с);

б) определить цену одного деления шкалы, как $\frac{0,01}{N}$;

в) выбрать произвольно число полных колебаний m и подсчитать, сколько делений k шкалы они занимают; определить, сколько делений шкалы приходится на одно колебание. Экспериментальное значение периода затухающих колебаний определить как

$$T_{\text{эксп}} = \frac{0,01k}{Nm}. \quad (9)$$

3.3.5. Повторить эксперимент для пяти выбранных ёмкостей. Результат занести в табл. 1.

3.3.6. Определить теоретическое значение периода затухающих колебаний по формуле (5) ($R_k = 14$ Ом, $L = 0,0083$ Гн).

3.3.7. Оценить относительное расхождение между $T_{\text{теор}}$ и $T_{\text{эксп}}$ по формуле

$$\varepsilon = \frac{|T_{\text{теор}} - T_{\text{эксп}}|}{T_{\text{теор}}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

Таблица 1

Определение периода затухающих колебаний

| № | C | N | m | k | $T_{\text{эксп}}$ | $T_{\text{теор}}$ | ε |
|---|-----|------|--------|------|-------------------|-------------------|---------------|
| | мкФ | дел. | колеб. | дел. | с | с | % |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

3.3.8. Построить график зависимости периода колебаний от ёмкости контура $T_{\text{эксп}} = f(C)$.

3.4. Определение логарифмического декремента затухания

3.4.1. Выставить на магазине ёмкостей наименьшую ёмкость C .

3.4.2. Измерить амплитуду U_1 в первом максимуме и амплитуду U_Z в произвольном Z -ом максимуме.

3.4.3. Рассчитать экспериментальное значение логарифмического декремента затухания по формуле

$$\Lambda_{\text{эксп}} = \frac{1}{Z-1} \ln \frac{U_1}{U_Z}. \quad (11)$$

3.4.4. Рассчитать теоретическое значение логарифмического декремента затухания по формуле (6).

3.4.5. Рассчитать расхождения теоретического и экспериментального значения логарифмического декремента затухания по формуле

$$\varepsilon = \frac{|\Lambda_{\text{теор}} - \Lambda_{\text{эксп}}|}{\Lambda_{\text{теор}}} \cdot 100 \%. \quad (12)$$

3.4.6. Эксперимент повторить для пяти выбранных ёмкостей. Результаты занести в табл. 2.

3.4.7. Построить график зависимости логарифмического декремента затухания от периода колебаний $\Lambda_{\text{эксп}} = f(T_{\text{эксп}})$.

Таблица 2

Определение логарифмического декремента затухания

| № | C | U_1 | U_Z | Z | $\Lambda_{\text{эксп}}$ | $\Lambda_{\text{теор}}$ | ε |
|---|-----|-------|-------|-----|-------------------------|-------------------------|---------------|
| | мкФ | мм | мм | | | | % |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

3.5. Исследование зависимости логарифмического декремента затухания от сопротивления контура

3.5.1. Выставить на магазине ёмкостей указанную преподавателем ёмкость. В процессе выполнения этого задания ёмкость контура остаётся неизменной.

3.5.2. Выставить на магазине сопротивлений $R = 5$ Ом. Определить сопротивление контура по формуле

$$R_{\text{конт}} = R + R_k,$$

где R_k – сопротивление катушки индуктивности ($R_k = 14$ Ом).

3.5.3. Измерить амплитуду U_1 в первом максимуме и амплитуду U_Z в произвольном Z -ом максимуме.

3.5.4. Определить логарифмический декремент затухания по формуле (11). Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Исследование зависимости логарифмического декремента от активного сопротивления контура

$$C = 10^{-6} \Phi = \text{const}$$

| № | R | R_k | $R_{\text{конт}}$ | U_1 | U_Z | Z | $\Lambda_{\text{эксп}}$ |
|---|-----|-------|-------------------|-------|-------|-----|-------------------------|
| | Ом | Ом | Ом | мм | мм | | |
| 1 | | 14 | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

3.5.5. Эксперимент повторить для пяти выбранных сопротивлений R контура.

3.5.6. Построить график зависимости логарифмического декремента затухания от сопротивления контура $\Lambda_{\text{эксп}} = f(R_{\text{конт}})$.

3.6. Определение критического сопротивления контура

3.6.1. Выставить в магазине ёмкостей наименьшую ёмкость.

3.6.2. Увеличивая сопротивления контура путём постепенного увеличения сопротивления R на магазине сопротивлений, найти критическое сопротивление $R_{\text{кр}}$, при котором наступает апериодический разряд.

3.6.3. Эксперимент повторить для пяти выбранных ёмкостей. Результаты занести в табл. 4.

Таблица 4

Определение критического сопротивления контура

| № | C | $(R_{\text{кр}})_{\text{теор}}$ | $(R_{\text{кр}})_{\text{эксп}}$ | ε |
|---|-----|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| | мкФ | Ом | Ом | % |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

3.6.4. По формуле (7) определить теоретическое значение критического сопротивления контура.

3.6.5. Рассчитать расхождения теоретического и экспериментального значения критического сопротивления контура по формуле

$$\varepsilon = \frac{|(R_{\text{кр}})_{\text{теор}} - (R_{\text{кр}})_{\text{эксп}}|}{(R_{\text{кр}})_{\text{теор}}} \cdot 100 \%. \quad (12)$$

4. Контрольные вопросы

4.1. Чем отличается реальный колебательный контур от идеального?

- 4.2. Объяснить принцип образования колебаний в контуре.
- 4.3. Записать дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение.
- 4.4. Что называется коэффициентом затухания?
- 4.5. Как определить частоту и период затухающих колебаний, частоту собственных колебаний контура?
- 4.6. Что называется логарифмическим декрементом затухания? Как его определить?
- 4.7. Что называется критическим сопротивлением контура? Как его определить?

5. Список рекомендуемой литературы

- 5.1. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для студентов втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва : Академия, 2007. – 560 с.
- 5.2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для студентов вузов. – В 5-и т. Т. 3. Электричество. – Москва : Физмалит, 2006. – 656 с.
- 5.3. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для студентов втузов. – Москва : Академия, 2007. – 560 с.
- 5.4. Фриш, С. Э. Курс общей физики : учеб. пособие для студентов втузов / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – В 3-х т. Т. 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны. – 12-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2007. – 490 с.

Составитель

Надежда Ивановна Крумликова

ФИЗИКА

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Методические указания для подготовки к выполнению
лабораторной работы № 234 для студентов всех направлений
и специальностей

Рецензент Т. И. Янина

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.07.2017. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 0,5.

Тираж 34 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Полиграфический цех КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

Кафедра физики

ФИЗИКА.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Лабораторный практикум К-304.5 по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Составители В. В. Дырдин
А. А. Мальшин
Т. Л. Ким
И. В. Цвеклинская

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 7 от 09.02.2016
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 20.03.01
Протокол № 8 от 29.02.2016
Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение | 2 |
| Лабораторная работа № 1 «Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса» | 3 |
| Лабораторная работа № 2 «Изучение абсолютно упругого удара» | 9 |
| Лабораторная работа № 3 «Изучение основного закона динамики поступательного движения» | 16 |
| Лабораторная работа № 4 «Определение момента инерции маятника Максвелла»..... | 23 |
| Лабораторная работа № 5 «Определение момента инерции маятника Обербека»..... | 32 |
| Лабораторная работа № 6 «Определение параметров вращательного движения твердых тел»..... | 39 |
| Список рекомендуемой литературы..... | 46 |

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый лабораторный практикум представляет собой необходимый перечень лабораторных работ, предусмотренных ФГОС и рабочими программами курса физики в техническом ВУЗе. Выполнение физического практикума направлено на формирование у студентов *профессиональных* компетенций, готовностью выполнять экспериментальные и лабораторные исследования, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты.

В результате освоения физического практикума по дисциплине «Физика» студент должен: а) *знать* основные физические явления и законы; б) *уметь* выявлять физическую сущность явлений и процессов, выполнять необходимые расчеты; в) *владеть* инструментарием и приборами для проведения необходимых физических измерений и обработкой результатов экспериментальных данных.

Описания лабораторных работ изложены так, чтобы студент смог самостоятельно разобраться в физических закономерностях и технических особенностях установок, на которых выполняются лабораторные работы. На подготовку к выполнению каждой лабораторной работы студент должен затратить 4 часа.

При подготовке к лабораторным работам необходимо внимательно прочесть описание работы, изучить теоретические основы данной работы по литературным источникам, разобраться с принципиальной и монтажной схемами экспериментальной установки и порядком проведения измерений. Составить конспект, содержащий титульный лист определенного образца, рабочие формулы, схему экспериментальной установки и таблицы для записи результатов измерений.

Студент будет допущен к выполнению лабораторной работы после обсуждения с преподавателем цели работы, методики расчета искомых величин и погрешностей их измерений и физической сути проверяемых закономерностей.

По окончании эксперимента нужно обработать полученные результаты, построить соответствующие графики (где это требуется), проанализировать результаты проведенного эксперимента и сделать соответствующий вывод, который должен содержать особенности измерений, расчета и суть физических законов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом Стокса

1. Цель работы: а) изучить особенности методики определения коэффициента внутреннего трения методом Стокса.

2. Подготовка к работе: прочитать в [1] § 10.8 и в [2] §§ 31, 32. Для выполнения работы студент должен: а) знать основное уравнение динамики поступательного движения тела; б) уметь рассчитывать силы, действующие на шарик, движущийся в жидкости; в) знать единицы измерения и физический смысл коэффициента внутреннего трения и его зависимость от температуры жидкости и газа; г) знать связь коэффициентов динамической и кинематической вязкости; е) уметь рассчитывать погрешности измерений.

3. Методика измерений и расчета

В трубках различные слои жидкости движутся с разными скоростями, причем, чем дальше слой от стенки сосуда, тем его скорость больше, т. е. при ламинарном течении наблюдается параболический закон изменения скорости. При этом слой жидкости с большей скоростью увлекает рядом находящийся слой, движущийся с меньшей скоростью. Слой же с меньшей скоростью, в свою очередь, действует на слой, движущийся с большей скоростью, и тормозит его. Это возможно в силу обмена импульсом молекул, входящих в эти слои.

При установившемся движении скорости слоев остаются постоянными.

Силу, с которой один слой жидкости действует на другой, называют силой внутреннего трения.

Величина силы внутреннего трения зависит от разности скоростей движения слоев, расстояния между слоями и площади соприкосновения.

Модуль этой силы выражается формулой Ньютона

$$F = \eta \left| \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta x} \right| \Delta S,$$

где F – сила внутреннего трения; ΔS – площадь, на которую действует сила трения; $\Delta \vec{v}$ – разность скоростей слоев, отстоящих на расстоянии, равном Δx ; η – коэффициент внутреннего трения (динамическая вязкость).

Коэффициент внутреннего трения может быть определен из наблюдений за движением шарика в вязкой среде под действием силы тяжести.

На шарик (рис. 1), движущийся в вязкой среде действуют:

1. Сила тяжести

$$\vec{F}_T = m \vec{g} = \rho V \vec{g} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \vec{g}, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала шарика; V – объем шарика. Сила тяжести направлена вниз (в направлении движения шарика).

2. Выталкивающая сила (сила Архимеда), направленная вверх и равная

$$\vec{F}_A = -m_0 \vec{g} = -\rho_0 V \vec{g} = -\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 \vec{g}, \quad (2)$$

где ρ_0 – плотность жидкости; m_0 – масса вытесненной жидкости; V – объем шарика.

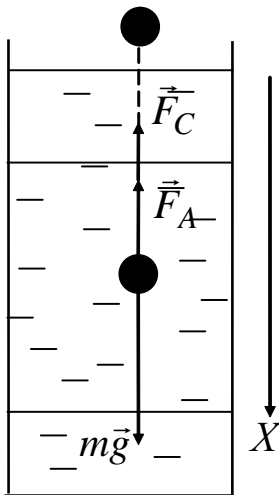


Рис. 1. Схема сил, действующих на движущийся в жидкости шарик

3. Сила сопротивления среды, обусловленная вязкостью жидкости. Согласно формуле, выведенной Стоксом, она пропорциональна скорости v шарика, его радиусу и коэффициенту динамической вязкости (внутреннего трения):

$$F_C = -6 \pi \eta r \vec{v}. \quad (3)$$

Сила сопротивления направлена в сторону, противоположную скорости движения шарика. Эта формула справедлива для твердого шарика, движущегося в жидкости, при условии, что скорость его невелика, а

расстояние до границ жидкости значительно больше диаметра шарика.

Уравнение движения шарика имеет вид

$$\vec{F}_T + \vec{F}_A + \vec{F}_C = m\vec{a}, \quad (4)$$

или в проекции на ось X (см. рис. 1) с учетом равенств (1–4):

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g - 6\pi\eta r v = ma, \quad (5)$$

где a – ускорение на начальном участке движения шарика.

Сила сопротивления $F_C = 6\pi\eta r v$ зависит от скорости и при некотором ее значении движение шарика становится равномерным, т. е. выполняется соотношение

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g - 6\pi\eta r v_0 = 0, \quad (6)$$

здесь v_0 – скорость установившегося равномерного движения, которая определяется по формуле

$$v_0 = \frac{\ell}{t}, \quad (7)$$

где ℓ – расстояние между метками на измерительном цилиндре с маслом; t – время равномерного движения шарика между этими метками.

Из уравнения (6) с учетом (7) находят коэффициент внутреннего трения:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_0)g d^2 t}{18 \ell}, \quad (8)$$

где d – диаметр шарика.

4. Экспериментальная часть

4.1. Измерить диаметр шарика пять раз, результаты измерений занести в табл. 1.

4.2. Определить абсолютную погрешность Δd нахождения истинного значения диаметра шарика. Для этого найти:

а) $\langle d \rangle$ – среднее арифметическое пяти измерений:

$$\langle d \rangle = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_5}{5};$$

б) Δd_i – случайную погрешность i -го измерения:

$$\Delta d_i = |\langle d \rangle - d_i|;$$

в) $\sigma_{\langle d \rangle}$ – среднее квадратичное отклонение от среднего арифметического из n измерений ($n = 5$):

$$\sigma_{\langle d \rangle} = \sqrt{\frac{\sum \Delta d_i^2}{n(n-1)}};$$

г) $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента (для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ при числе измерений $n = 5$, $t_{\alpha, n} = 2,78$);

д) $\Delta d_{\text{сл}}$ – случайную погрешность измеряемой величины:

$$\Delta d_{\text{сл}} = t_{\alpha, n} \sigma_{\langle d \rangle};$$

е) $\Delta d_{\text{пр}}$ – приборную погрешность (для микрометра $\Delta d_{\text{пр}} = 0,01$ мм);

ж) Δd – абсолютную погрешность измерений:

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{пр}}^2 + \Delta d_{\text{сл}}^2};$$

з) ε_d – относительную погрешность измерений:

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{\langle d \rangle} \cdot 100\%.$$

и) записать результат измерений в виде $d = \langle d \rangle \pm \Delta d$.

Результаты расчетов занести в табл. 1.

4.3. Измерить расстояние ℓ между метками на цилиндре (по верхним краям меток).

4.4. Опустить шарик в цилиндр через воронку. Когда шарик окажется на уровне края верхней метки, включить секундомер. Секундомер выключить, когда шарик достигнет верхнего края нижней метки. Следить за тем, чтобы шарик не подходил близко к стенкам сосуда. С помощью магнита извлечь шарик из масла.

4.5. Опыт повторить пять раз. Время движения t_i шарика занести в табл. 2, подобную табл. 1, которую составить самостоятельно. Определить доверительный интервал прямых измерений времени и относительную ошибку ε_t . Записать результат измерений в виде: $t = \langle t \rangle \pm \Delta t$.

Таблица 1

Результаты измерения диаметра шарика
и расчета погрешностей

| № п/ п | d_i | $\langle d \rangle$ | Δd_i | Δd_i^2 | $\sum \Delta d_i^2$ | $\sigma_{\langle d \rangle}$ | $t_{\alpha, n}$ | $\Delta d_{\text{сл}}$ | $\Delta d_{\text{пр}}$ | Δd | ε_d | $\langle d \rangle \pm \Delta d$ | |
|--------------|-------|---------------------|--------------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------|----------------------------------|--|
| | мм | мм | мм | мм ² | мм ² | мм | $a = 0,95$ | мм | мм | мм | % | мм | |
| 1 | | | | | | | 2,78 | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | |

4.6. Вычислить среднее значение коэффициента внутреннего трения по формуле (8), подставив средние значения прямых

измерений диаметра шарика и времени его движения между метками.

4.7. Рассчитать относительную и абсолютную погрешности результата косвенных измерений коэффициента внутреннего трения по формулам:

$$\varepsilon_{\eta} = \sqrt{4\varepsilon_d^2 + \varepsilon_t^2 + \varepsilon_l^2},$$

где $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l}$; Δl – абсолютная погрешность, которая равна цене деления шкалы линейки, с помощью которой измеряется расстояние, пройденное шариком при установившемся движении,

$$\Delta\eta = \langle \eta \rangle \varepsilon_{\eta}.$$

Результат вычислений записать в виде

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm \Delta\eta.$$

4.8. Данные измерений и вычислений занести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерения коэффициента внутреннего трения

| $\langle d \rangle$ | l | $\langle t \rangle$ | ρ | ρ_0 | $\langle \eta \rangle$ | ε_{η} | $\Delta\eta$ |
|---------------------|-----|---------------------|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| м | м | с | кг/м ³ | кг/м ³ | Па · с | % | Па · с |
| | | | | | | | |

4.9. Сравнить полученное значение коэффициента вязкости со справочным значением.

5. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Изучение абсолютно упругого удара шаров

1. Цель работы: изучить способ определения скорости тел до и после удара на основе законов сохранения.

2. Подготовка к работе: прочитать в учебниках [1] §§ 7, 9 и [2] §§ 5.1, 5.2. Для выполнения работы студент должен знать: а) законы Ньютона; б) законы сохранения импульса и энергии; в) применение законов сохранения импульса и энергии для расчета скоростей при центральном упругом ударе; г) понятие неупругого удара, потери энергии при неупругом соударении; д) коэффициент восстановления; е) порядок расчета абсолютных и относительных погрешностей измерений.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Установка для изучения удара шаров (рис. 1) представляет собой основание 1, которое располагается строго горизонтально с помощью регулировочных винтов 2. На основании смонтирована стойка 3 с двумя кронштейнами: верхним 4 и нижним 5. На верхнем кронштейне укреплены подвески 6, к которым на нитях подвешены шары 7. На нижнем кронштейне закреплен электромагнит 8 и две шкалы 9 для измерения углов отклонения шаров. С помощью винта 10 подвески устанавливаются так, чтобы в положении равновесия шары лишь слегка касались друг друга. При этом указатели положения шаров 11 должны находиться над нулевыми делениями шкал, которые можно смещать относительно кронштейна 5. Центральности удара добиваются путем перемещения подвесок нитей вдоль стержней, на которых они укреплены.

Время упругого удара шаров измеряется с помощью микросекундомера.

3.2. Методика расчета скорости шаров

В механике под *ударом* понимают кратковременное взаимодействие тел при их соприкосновении, например, столкновение шаров, удар молота о наковальню или сваю и др.

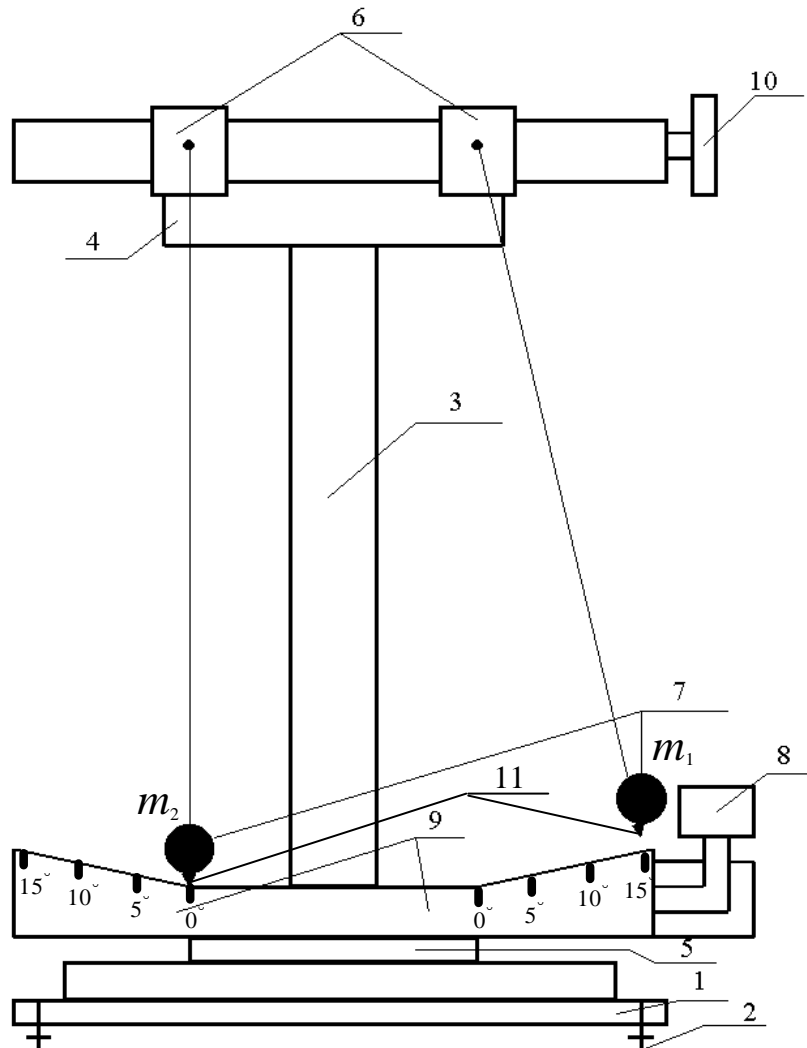


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения упругого удара шаров:

- 1 – основание; 2 – регулировочный винт; 3 – стойка;
 4, 5 – верхний и нижний кронштейны; 6 – подвески;
 7 – шары; 8 – электромагнит; 9 – шкала; 10 – винт;
 11 – указатели положения шаров

Удар называется *абсолютно упругим*, если после удара тела полностью восстанавливают свою первоначальную форму, то есть в телах отсутствует остаточная деформация.

Если правый шар массы m_1 отвести от положения равновесия на угол α (рис. 1) и отпустить его, то проходя через положение равновесия со скоростью v_1 этот шар столкнется с неподвижным шаром массой m_2 .

При взаимодействии шаров массами m_1 и m_2 выполняется закон сохранения импульса, который в проекции на ось X (рис. 2) запишется так:

$$m_1 v_1 = -m_1 u_1 + m_2 u_2, \quad (1)$$

где u_1 и u_2 – скорости шаров после удара.

Закон сохранения механической энергии: кинетическая энергия первого шара перед упругим ударом равна сумме кинетических энергий шаров после упругого удара:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (2)$$

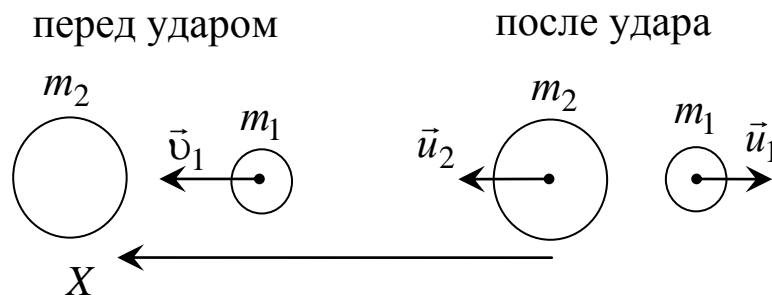


Рис. 2. Схема для расчета скоростей шаров

Решая систему уравнений (1) и (2), можно найти скорости шаров после удара

$$\begin{cases} u_1^T = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1; \\ u_2^T = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1, \end{cases} \quad (3)$$

где u_1^T и u_2^T – теоретические скорости шаров после упругого удара.

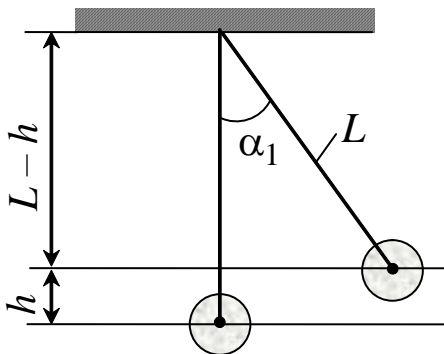
3.3. Расчет скоростей шаров после упругого удара по результатам экспериментальных измерений

Зная максимальный угол отклонения первого шара от положения равновесия до и после удара, можно определить скорость его в момент прохождения положения равновесия перед ударом и после него.

Пусть шар массой m_1 подвешен на нити длиной L и отклонен от положения равновесия на угол α_1 (рис. 3). После удара нить с шаром массой m_1 отклоняется на угол β_1 , а нить с шаром массой m_2 – на угол β_2 .

При отклонении нити на угол α центр масс шара поднимается на высоту h и потенциальная энергия принимает значение $U = mgh = 2mgL \sin^2 \frac{\alpha}{2}$, так как $h = L(1 - \cos \alpha) = 2L \sin^2 \frac{\alpha}{2}$.

При переходе из крайнего правого положения в положение равновесия действуют только консервативные силы, поэтому механическая энергия на высоте h равна механической энергии в положении равновесия:



$$\frac{mv^2}{2} = 2mgL \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}.$$

Тогда скорость шара массой m_1 при прохождении положения равновесия равна:

$$v = 2\sqrt{gL} \sin \frac{\alpha_1}{2}. \quad (4)$$

Рис. 3. Расчетная схема определения высоты подъема шара

Таким образом, определив экспериментально углы отклонения шаров α_1 , β_1 и β_2 , можно рассчитать их скорости по формуле (4). Для расчета необходимо угол α_1 заменить на угол β_1 или β_2 .

3.4. Коэффициент восстановления

Важной характеристикой удара является коэффициент восстановления скорости K , равный отношению относительной скорости тел после удара к их относительной скорости перед ударом

$$K = \frac{|\vec{u}_{\text{отн}}|}{|\vec{v}_{\text{отн}}|}. \quad (5)$$

Но

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 \quad \text{и} \quad \vec{u}_{\text{отн}} = \vec{u}_2 - \vec{u}_1. \quad (6)$$

Тогда

$$K = \frac{u_2 - (-u_1)}{v_1 - v_2} = \frac{u_1 + u_2}{v_1}, \quad (7)$$

т. к. v_2 перед ударом равна нулю.

Для абсолютно упругого удара $K = 1$, а для неупругого удара $K = 0$, так как $\vec{u}_1 = \vec{u}_2$ и $u_{\text{отн}} = 0$.

На практике для всех тел $0 \leq K \leq 1$. Таким образом, расчет коэффициента восстановления в результате реального удара позволяет оценить, насколько удар близок к абсолютно упругому. Например, если $K = 0,95$, то с погрешностью 5 % данный удар можно считать абсолютно упругим.

3.5. Порядок работы на установке

3.5.1. Убедиться в правильности настройки установки:

- а) шары едва касаются друг друга;
- б) центры обоих шаров лежат на одной горизонтальной прямой и в одной плоскости с осью электромагнита;
- в) указатели шаров расположены над нулевыми делениями шкал.

3.5.2. Включить сетевой шнур установки в сеть, нажать клавишу “Сеть” и отклонить шар массой m_1 на угол α_1 . При этом включится электромагнит, который удерживает отклоненный на угол α_1 шар массой m_1 .

3.5.3. Нажать клавишу “Пуск” – электромагнит отключается, шар массой m_1 сталкивается с покоящимся шаром массой m_2 . Время удара фиксируется микросекундомером. Шары после уда-

3.6.4. По формуле (4) рассчитать экспериментальные значения скоростей $u_1^{\text{э}}$ и $u_2^{\text{э}}$ шаров после удара по измеренным значениям β_1 и β_2 .

3.6.5. Сравнить экспериментальные и теоретические скорости шаров после удара.

3.6.6. Найти коэффициент восстановления K по формуле (7):

$$K = \frac{u_1^{\text{э}} + u_2^{\text{э}}}{v_1}.$$

3.6.7. Оценить, насколько удар шаров близок к упругому удару.

3.7. Проверка выполнимости третьего закона Ньютона при упругом ударе шаров

3.7.1. Найти изменение импульсов шаров при ударе в проекции на ось X (рис. 2):

$$\Delta P_1 = -m_1(u_1^{\text{э}} + v_1); \Delta P_2 = m_2 u_2^{\text{э}}.$$

3.7.2. Вычислить среднее значение силы, действующей на каждый из шаров, со стороны другого шара по формулам:

$$\langle F_{12} \rangle = \frac{\Delta P_1}{\langle \tau \rangle} = -\frac{m_1(u_1^{\text{э}} + v_1)}{\langle \tau \rangle}; \langle F_{21} \rangle = \frac{\Delta P_2}{\langle \tau \rangle} = \frac{m_2 u_2^{\text{э}}}{\langle \tau \rangle}.$$

Рассчитайте процентное расхождение данных величин.

3.7.3. Оценить величину механической энергии, перешедшей в другие виды энергии.

$$\Delta W = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \left(\frac{m_1 (u_1^{\text{э}})^2}{2} + \frac{m_2 (u_2^{\text{э}})^2}{2} \right).$$

4. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение основного закона динамики поступательного движения

1. Цель работы: определить параметры поступательного движения связанной системы грузов при равноускоренном и равномерном движении.

2. Подготовка к работе: изучить в учебниках [1] §§ 3, 5–7 и [2] §§ 1.3, 2.1 – 2.5. Для выполнения работы студент должен знать: а) характеристики движения материальной точки (вектор перемещения, скорость, ускорение); б) основные уравнения динамики равномерного и ускоренного движения; в) понятия массы, силы и импульса; г) методику измерений и расчета; д) расчет погрешностей.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Схема установки представлен на рис. 1. Машина Атвуда представляет собой два одинаковых цилиндра 1 массой M каждый, привязанные к концам нити, перекинутой через блок 2.

Если на правый цилиндр, находящийся у верхнего кронштейна 3, положить дополнительный груз 4, масса которого m , то система приходит в ускоренное поступательное движение.

При прохождении правым телом среднего кронштейна 5, снабженного фотоэлектрическим датчиком и кольцом, дополнительный груз снимается с цилиндра и включается миллисекундомер.

Дальнейшее равномерное движение механической системы происходит по инерции, и когда правый цилиндр доходит до нижнего кронштейна 6, тоже снабженного фотоэлектрическим датчиком, миллисекундомер выключается.

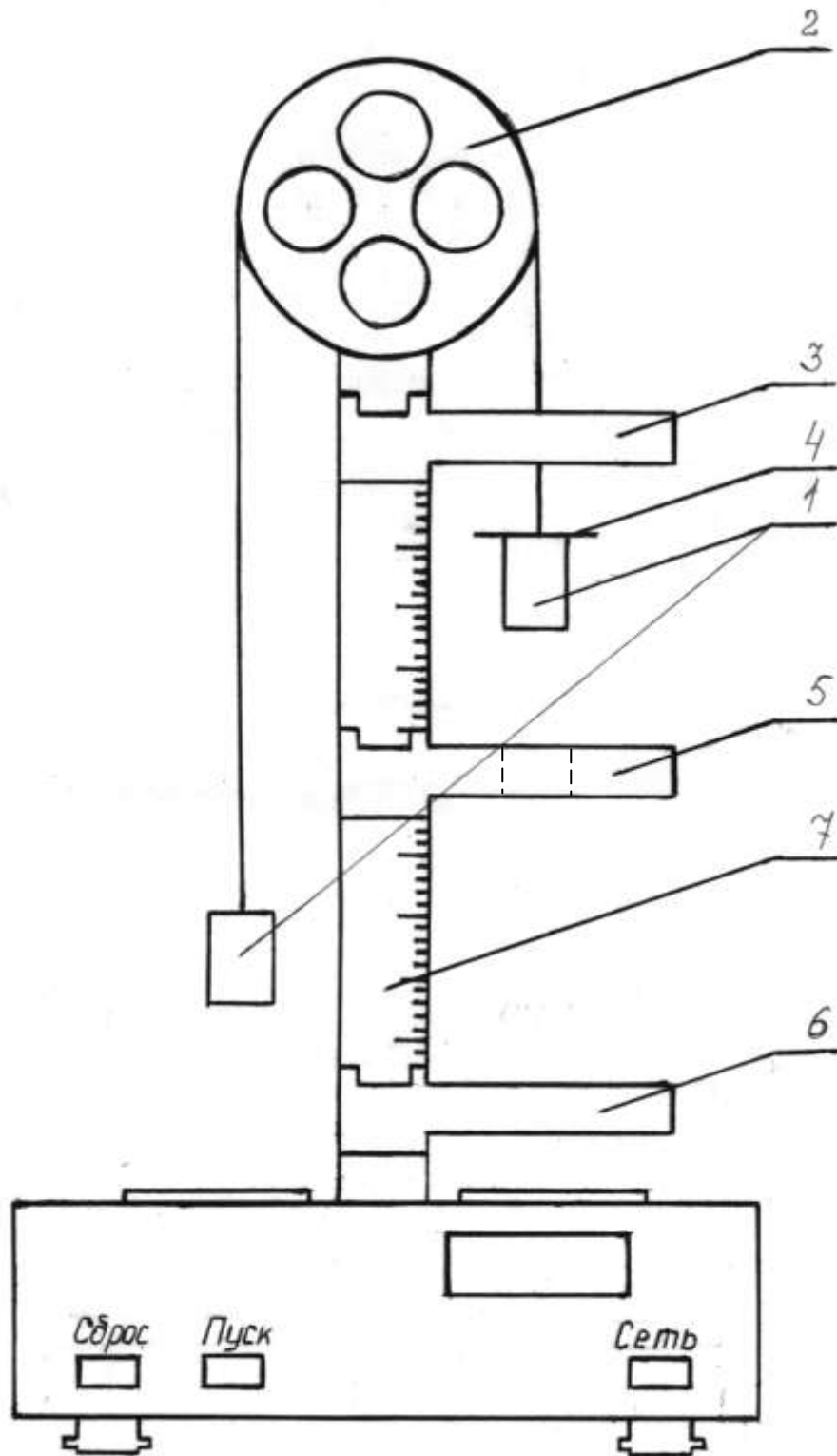


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 1 – цилиндрические грузы; 2 – блок; 3 – верхний кронштейн;
 4 – дополнительный груз; 5 – средний кронштейн; 6 – нижний
 кронштейн; 7 – стойка

Работа нижнего фотодатчика согласована с работой тормозного электромагнита, который с помощью фрикционной муфты удерживает блок и нить с цилиндрами в состоянии покоя. Стойка 7, на которой укреплены блок и кронштейны, снабжена шкалой, начало которой совпадает с положением нижнего кронштейна.

Определив по шкале положение верхнего кронштейна H_2 (рис. 2) и среднего кронштейна H_1 , можно найти путь равноускоренного движения $L = H_2 - H_1$ и путь равномерного движения H_1 .

3.2. Методика измерений и расчета

Рассмотрим силы, действующие на каждое из тел, входящих в систему (рис. 2). На груз массой M действуют со стороны Земли гравитационная сила $M\vec{g}$, со стороны нити – упругая сила натяжения \vec{F}_1 . На тело массой $(M + m)$ действуют силы $(M + m)\vec{g}$ и \vec{F}_2 соответственно. На основании второго закона Ньютона запишем уравнения:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для левого груза: } M\vec{g} + \vec{F}_1 = M\vec{a}; \\ \text{для правого груза: } (M + m)\vec{g} + \vec{F}_2 = (M + m)\vec{a}. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Учитывая, что нить невесома и нерастяжима, а масса блока пренебрежимо мала и трением в блоке можно пренебречь, уравнения (1) в проекциях на ось X примут вид с учетом $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_1'|$, $|\vec{F}_2| = |\vec{F}_2'|$:

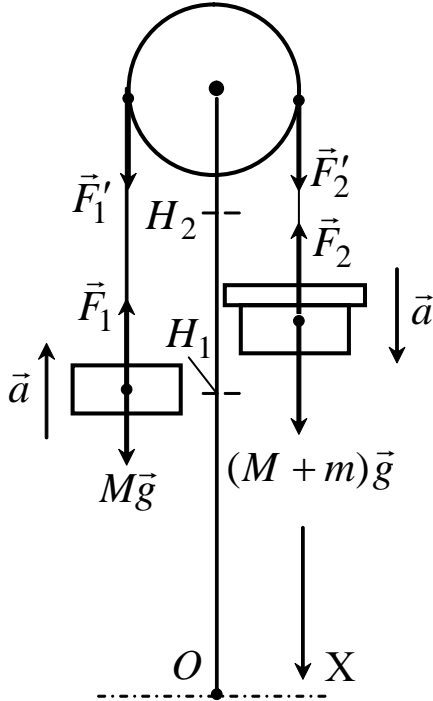
$$\left\{ \begin{array}{l} Mg - F = -Ma; \\ (M + m)g - F = (M + m)a. \end{array} \right. \quad (2)$$

Из полученной системы уравнений найдем «теоретическое» значение ускорения a :

$$a_T = \frac{mg}{2M + m}. \quad (3)$$

Значение скорости в конце участка $(H_2 - H_1)$ определим из кинематических уравнений равноускоренного движения:

$$v = \sqrt{2a(H_2 - H_1)}. \quad (4)$$



После «снятия» дополнительного грузика средним кронштейном движение грузов на участке от среднего до нижнего кронштейна в течение времени t (время, измеряемое электронным секундомером) будет равномерным со скоростью

$$v = \frac{H_1}{t}. \quad (5)$$

Из равенств (4) и (5) находим «экспериментальное» значение ускорения:

$$a_э = \frac{H_1^2}{2(H_2 - H_1)t^2}. \quad (6)$$

3.3. Порядок работы на установке

3.3.1. Установить нижнее основание правого груза на уровне горизонтальной отметки H_2 верхнего кронштейна. Включить сетевой шнур установки в сеть и нажать клавишу «Сеть». При этом включается тормозной электромагнит и тела удерживаются в заданном положении.

3.3.2. Положить на правое цилиндрическое тело дополнительный груз массой m и нажать клавишу «Пуск» – тормозной электромагнит отключается, тела приходят в движение. При пересечении правым телом светового луча в среднем кронштейне начинается отсчет времени равномерного движения, а при пере-

Рис. 2. Расчетная схема:
 \vec{F}'_1, \vec{F}'_2 – силы натяжения нитей

сечении луча света в нижнем кронштейне отсчет времени прекращается, одновременно включается электромагнит.

3.3.3. Нажать на клавишу «Сброс», при этом происходит обнуление показаний миллисекундомера и отключение электромагнита. Вновь привести систему в исходное состояние (п. 3.3.1).

3.3.4. Отжать клавишу «Пуск», при этом включается электромагнит и механическая система фиксируется в исходном состоянии. Далее последовательно повторить пункты 3.3.2–3.3.4.

3.4. Определение ускорения движущегося тела

3.4.1. Провести необходимые измерения времени для пяти разных грузов (грузы используются по одному и в наборе). Опыт с каждым грузом повторить пять раз, вычислить среднее значение времени и использовать его в расчетах. Результаты измерений занести в табл. 1.

3.4.2. Вычислить a_T и a_3 по формулам (3) и (6).

3.4.3. Объяснить расхождение между a_T и a_3 . Найти процентное расхождение ε_a между a_T и a_3 для каждого груза:

$$\varepsilon_a = \frac{|a_T - a_3|}{a_T} \cdot 100\% .$$

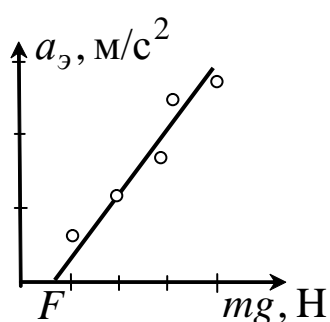


Рис. 3. График зависимости ускорения a_3 от силы тяжести mg

3.4.4. Построить график зависимости ускорения a_3 от силы тяжести mg (рис. 3). Прямая, проведенная через экспериментальные точки, отсекает на оси абсцисс отрезок, равный F , который учитывает силу трения в оси блока, а также различие сил натяжения нитей по обе стороны

3.4.5. Найти погрешность определения a_3 , обусловленную случайными и приборными погрешностями.

Приборная погрешность измерения времени $\Delta t_{\text{пр}} = 0,001 \text{ с}$, а длины $\Delta H_2 = \Delta H_1 = 0,001 \text{ м}$.

Таблица 1

Результаты измерения времени
и расчета ускорения системы

$$H_1 = \quad \text{м}; H_2 = \quad \text{м}; ; M = 61 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

| | $t,$ с | $\langle t \rangle,$ с | $m,$ кг | $a_T,$ м/с ² | $a_{\text{э}},$ м/с ² | $\varepsilon_a,$ % | $g_{\text{э}},$ м/с ² |
|---|-----------|---------------------------|------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

Относительную погрешность косвенных измерений a_3 считать по формуле

$$\varepsilon_{a_3} = \sqrt{4\varepsilon_{H_1}^2 + \varepsilon_{H_2}^2 + 4\varepsilon_t^2}.$$

Абсолютная погрешность $\Delta a_3 = \langle a_3 \rangle \cdot \varepsilon_{a_3}$. Результат записать в виде $a_3 = \langle a_3 \rangle \pm \Delta a_3$.

Таблица 2

Расчет погрешностей при измерении
времени для одного из грузиков

| № п/п | t_i | $\langle t \rangle$ | Δt_i | Δt_i^2 | $\sum \Delta t_i^2$ | $\sigma_{\langle t \rangle}$ | $t_{\alpha, n}$ | $\Delta t_{\text{сл}}$ | $\Delta t_{\text{пр}}$ | Δt | ε_t | ε_a |
|----------|-------|---------------------|--------------|----------------|---------------------|------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------|-----------------|-----------------|
| | с | с | с | с ² | с ² | с | $a = 0,95$ | с | с | с | % | % |
| 1 | | | | | | | 2,78 | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | |

4. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение момента инерции маятника Максвелла

1. Цель работы: освоить метод определения момента инерции маятника Максвелла.

2. Подготовка к работе: прочитать в учебниках [2] §§ 4.1–4.3, 5.3, [1] §§ 4, 16–18. Для выполнения лабораторной работы студент должен знать: а) основные уравнения динамики поступательного и вращательного движения; б) определения момента силы относительно точки и оси и момента инерции тела; в) теорему Штейнера; г) методику измерений штангенциркулем; д) расчет погрешностей измерений.

3. Выполнение работы

3.1. Описание установки

Общий вид установки FPM-03 приведён на рис. 1.

Основание 1 оснащено регулируемыми ножками 2, позволяющими произвести выравнивание прибора. В основании закреплена колонка 3, на которой крепятся два кронштейна: неподвижный верхний 4 и подвижный нижний 5. На верхнем кронштейне находятся электромагнит 6, фотоэлектрический датчик 7 и устройство (вороток) 8, для крепления и регулировки бифилярного подвеса маятника.

Нижний кронштейн, вместе с прикреплённым к нему фотодатчиком 9 можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в любом положении в пределах шкалы колонки 0–420 мм.

Маятник Максвелла – это диск 11, закреплённый на оси 10, подвешенной на бифилярном подвесе. На диск крепится одно из трёх сменных колец 13, для изменения момента инерции маятника. Маятник с кольцом фиксируется в верхнем исходном положении с помощью электромагнита 6.

Миллисекундомер 14 с цифровой индикацией времени жестко закреплён на основании 1. При нажатии клавиши «Сеть» загораются лампочки фотоэлектрических датчиков и высвечива-

ются нули на индикаторе. Клавиша «Сброс» вызывает сброс всех схем миллисекундомера и подготовку его к измерению.

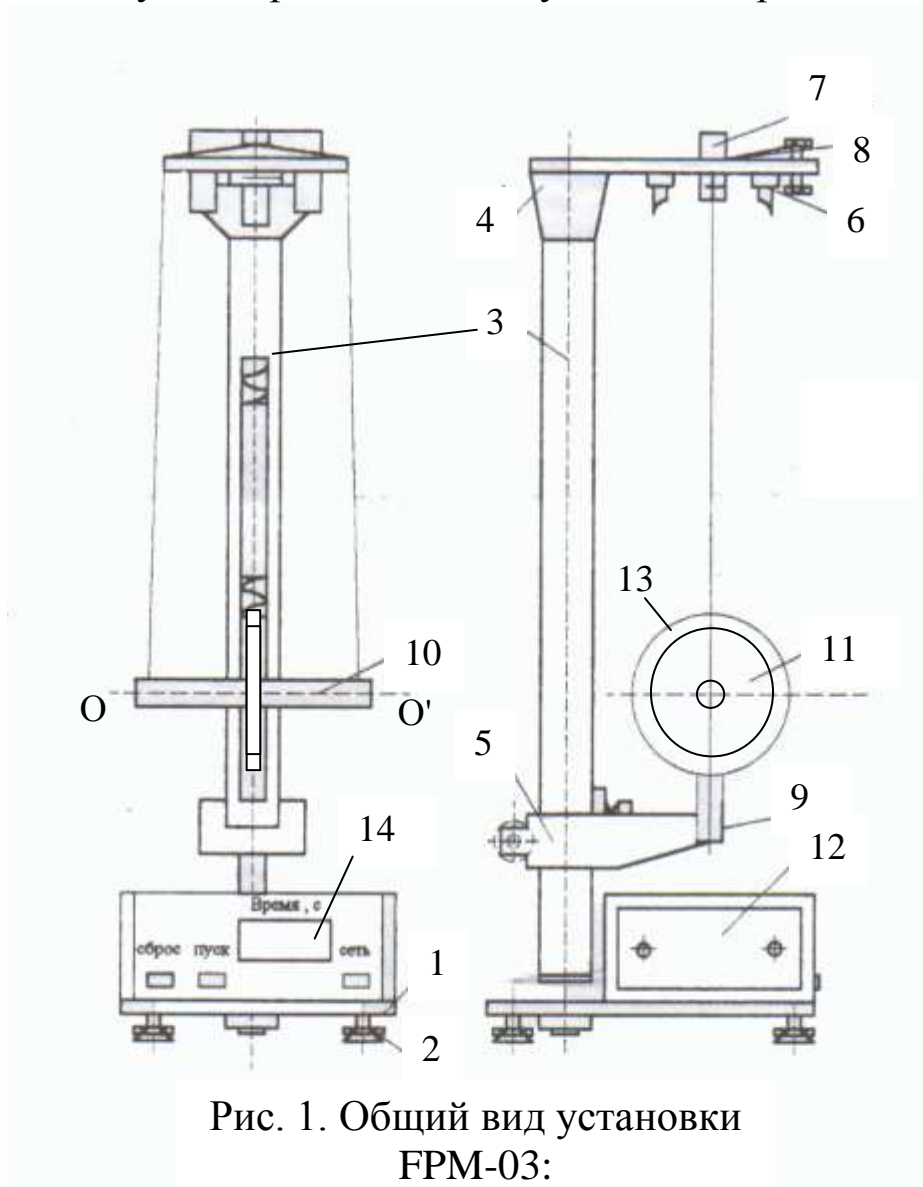


Рис. 1. Общий вид установки
FPM-03:

- 1 – основание установки; 2 – регулируемые ножки; 3 – колонка;
4, 5 – верхний и нижний кронштейны; 6 – электромагнит;
7, 9 – фотоэлектрические датчики; 8 – вороток; 10 – ось;
11 – диск; 12 – корпус прибора; 13 – сменное кольцо;
14 – миллисекундомер; OO' – мгновенная ось вращения

При нажатии клавиши «Пуск» электромагнит обесточивается и маятник, поднятый в верхнее положение, начинает раскручиваться. При пересечении верхнего фотодатчика миллисекундомер производит отсчёт времени. В момент пересечения маят-

ником оптической оси нижнего фотодатчика счёт времени прекращается.

3.2. Методика измерений и расчетов

Маятник Максвелла участвует в 2-х движениях: поступательном движении центра масс и вращательном движении относительно мгновенной оси OO' (см. рис. 2, 3).

3.2.1. Поступательное движение центра масс маятника Максвелла

Поступательное движение центра масс маятника Максвелла происходит под действием силы тяжести $m\vec{g}$ (рис. 2), которая также создает вращающий момент относительно мгновенной оси.

Центр масс маятника, проходя расстояние h (замеряется между верхним 7 и нижним 9 фотодатчиками на рис. 1) за время t , приобретает ускорение

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (1)$$

и максимальную скорость в конце движения

$$v_{\max} = at = \frac{2h}{t}. \quad (2)$$

3.2.2. Вращательное движение маятника Максвелла относительно мгновенной оси OO'

Поскольку момент инерции величина аддитивная, то теоретическое значение момента инерции маятника Максвелла относительно мгновенной оси вращения OO' складывается из моментов инерции диска $J_{\text{д}}$, оси маятника $J_{\text{о}}$ и сменного кольца $J_{\text{к}}$

$$J_{\text{т}} = J_{\text{д}} + J_{\text{о}} + J_{\text{к}}. \quad (3)$$

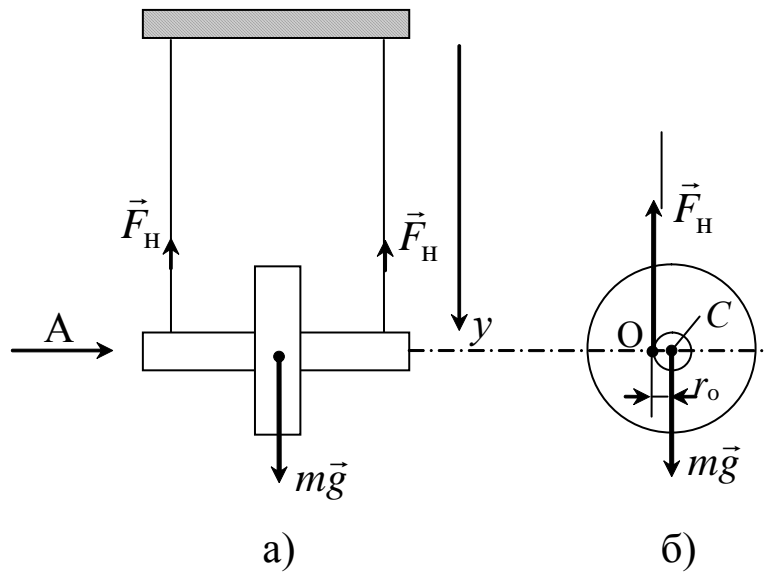


Рис. 2. Схема сил, действующих на маятник Максвелла: а) вид прямо; б) вид А; $m\vec{g}$ – сила тяжести; \vec{F}_H – сила натяжения нити; O – мгновенная ось вращения; C – центр масс маятника; r_o – радиус оси

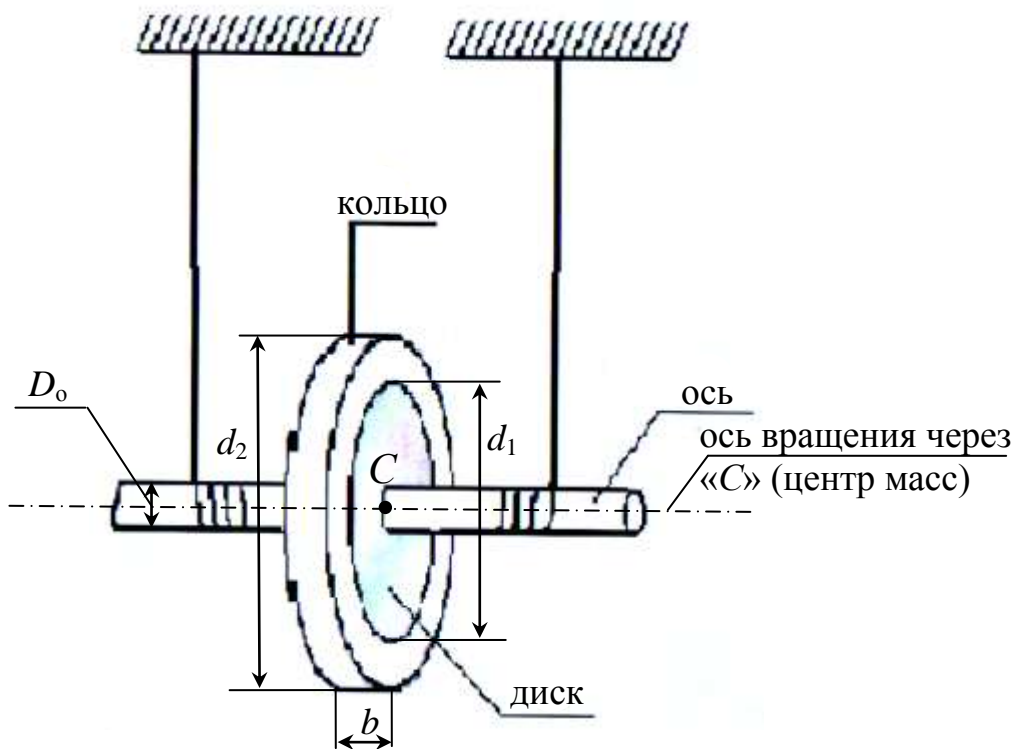


Рис. 3. Схема для расчета моментов инерции оси, диска и кольца

Для каждого элемента маятника:

1) момент инерции диска относительно мгновенной оси вращения OO'

$$J_{\text{д}} = \frac{m_{\text{д}}}{8} d_1^2 + m_{\text{д}} r_0^2, \quad (4)$$

где d_1 – диаметр диска; r_0 – радиус оси вращения;

2) момент инерции оси вращения маятника относительно мгновенной оси OO'

$$J_{\text{о}} = \frac{m_{\text{о}} D_{\text{о}}^2}{8} + \frac{m_{\text{о}} D_{\text{о}}^2}{4} = \frac{3}{8} m_{\text{о}} D_{\text{о}}^2, \quad (5)$$

где $m_{\text{о}}$ – масса оси; $D_{\text{о}}$ – диаметр оси;

3) момент инерции кольца относительно мгновенной оси вращения OO'

$$J_{\text{к}} = J_2 - J_1 + m_{\text{к}} r_0^2, \quad (6)$$

где b , $m_{\text{к}}$ – ширина (см. рис. 3) и масса кольца; J_2 , J_1 – моменты инерции цилиндров диаметрами d_2 и d_1 соответственно.

Здесь

$$J_2 = m_2 \frac{d_2^2}{8} = b \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \rho_{1\text{к}} \cdot \frac{d_2^2}{8};$$

$$J_1 = m_1 \frac{d_1^2}{8} = b \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \rho_{1\text{к}} \cdot \frac{d_1^2}{8},$$

где $\rho_{1\text{к}} = 4,132 \text{ кг/м}^3$ – плотность материала кольца; m_2 , m_1 – массы цилиндров диаметрами d_2 и d_1 соответственно.

Для экспериментального определения момента инерции маятника Максвелла воспользуемся основным законом динамики вращательного движения. При этом имеем ввиду, что происходит чистое вращение относительно мгновенной оси.

Тогда $J_{\text{э}} \varepsilon = mgr_0$, где $J_{\text{э}}$ – экспериментальный момент инерции относительно мгновенной оси; ε – угловое ускорение; mgr_0 – момент силы тяжести маятника относительно мгновенной оси.

Линейное ускорение центра масс можно рассчитать по формуле

$$a = \frac{2h}{t^2}.$$

А угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{a}{r_0} = \frac{2h}{t^2 r_0}, \quad (7)$$

где r_0 – радиус оси вращения маятника.

Момент инерции маятника относительно мгновенной оси вращения можно рассчитать по формуле

$$J_{\varepsilon} = \frac{mgr_0}{\varepsilon} = \frac{mgr_0^2 t^2}{2h}. \quad (8)$$

Масса маятника рассчитывается по формуле

$$m = m_{\text{д}} + m_{\text{о}} + m_{\text{к}},$$

где $m_{\text{д}}$, $m_{\text{о}}$, $m_{\text{к}}$ – масса диска, оси и кольца соответственно.

3.3. Порядок работы на установке

3.3.1. Включите сетевой шнур в сеть и нажмите клавишу «Сеть», при этом включается электромагнит.

3.3.2. Укрепите на диске одно из сменных колец (по указанию преподавателя).

3.3.3. Вращая маятник, приведите его в крайнее верхнее положение (исходное положение), которое зафиксируется электромагнитом.

3.3.4. Нажмите на клавишу «Сброс» и убедитесь в том, что на индикаторе секундомера установлены нули.

3.3.5. Нажмите клавишу «Пуск» и определите время движения маятника Максвелла.

3.4. Определение кинематических характеристик поступательного и вращательного движения центра масс маятника Максвелла

3.4.1. Измерьте высоту h , на которой находится центр масс маятника в крайнем верхнем положении (h остается неизменной).

3.4.2. Рассчитайте массу маятника. Результаты расчета занесите в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета массы маятника

| m_d | m_o | m_k | d_2 | d_1 | m | ρ_{1k} |
|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------------------|
| кг | кг | кг | кг | кг | кг | кг/м ³ |
| | | | | | | 4,132 |

3.4.3. Определите время t движения маятника Максвелла. Опыт повторите 5 раз.

3.4.4. Найдите среднее значение времени $\langle t \rangle$ и вычислите кинематические характеристики: a , v_{\max} , ω_{\max} .

3.4.5. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений времени и расчета кинематических величин

| № п/п | m | t | a | v_{\max} | ω_{\max} |
|----------|-----|-----|------------------|------------|-----------------|
| | кг | с | м/с ² | м/с | рад/с |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

3.5. Расчет момента инерции маятника Максвелла

3.5.1. Измерьте штангенциркулем диаметры диска, оси маятника, кольца.

3.5.2. Рассчитайте момент инерции $J_{\text{э}}$ маятника Максвелла с одним из сменных колец.

Таблица 3

Значения диаметров элементов маятника

| Диаметр диска $D_{\text{д}}$ | Диаметр оси $D_{\text{о}}$ | Внешний диаметр кольца d_2 |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| М | М | М |
| | | |

3.5.3. Рассчитайте теоретическое значение момента инерции $J_{\text{т}}$, учитывая, что моменты инерции диска, оси в виде однородного цилиндра и сменного кольца вычисляются относительно мгновенной оси по теореме Штейнера.

3.5.4. Результаты расчетов занесите в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета момента инерции маятника Максвелла

| № П/П | m | $J_{\text{э}}$ | $\langle J_{\text{э}} \rangle$ | $J_{\text{д}}$ | $J_{\text{о}}$ | $J_{\text{к}}$ | $J_{\text{т}}$ | ε |
|----------|-----|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | КГ | КГ·М ² | КГ·М ² | КГ·М ² | КГ·М ² | КГ·М ² | КГ·М ² | % |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

3.5.5. По формуле $\varepsilon = \frac{|J_{\text{т}} - \langle J_{\text{э}} \rangle|}{J_{\text{т}}} \cdot 100$ % рассчитайте относительное расхождение результатов расчета и эксперимента.

3.5.6. Рассчитайте погрешность эксперимента.

4. Сделайте вывод о зависимости ускорения центра масс и силы натяжения нити подвеса маятника от его момента инерции.

5. Вопросы для самоподготовки

5.1. Какое движение называют поступательным?

5.2. Дайте определение кинематических характеристик поступательно движущегося тела: мгновенной скорости, ускорения; средней скорости, ускорения; среднепутевой скорости; скорости в данный момент времени.

5.3. В чем заключается закон динамики поступательного движения твердого тела?

5.4. Дайте определения кинематических характеристик вращательного движения твердого тела: угловой скорости и углового ускорения. Как определить их направление?

5.5. Приведите уравнения связи угловых и линейных характеристик.

5.6. В чем заключается физический смысл момента инерции твердого тела? Какова размерность момента инерции?

5.7. Изменяется ли момент инерции твердого тела при изменении положения оси вращения?

5.8. В чем смысл теоремы Штейнера?

5.9. Дайте определения вектора момента силы относительно точки и оси вращения.

5.10. Как определить кинетическую энергию вращающегося твердого тела?

5.11. Как определить ускорение при скатывании тела с наклонной плоскости без проскальзывания?

5.12. Сколько существует способов расчета параметров скатывания тела с наклонной плоскости без проскальзывания?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Определение момента инерции маятника Обербека

1. Цель работы: освоить метод определения момента инерции маятника Обербека на основе законов динамики.

2. Подготовка к работе: изучить необходимые теоретические положения по учебникам [1] §§ 2–4, 16, 18; [2] §§ 4.1, 4.3; [3] §§ 31, 32. Для выполнения работы студент должен знать: а) кинематические и динамические параметры поступательного и вращательного движения твердого тела; б) определения момента силы и момента импульса относительно оси и момента инерции тела; в) основные уравнения динамики поступательного и вращательного движения твердого тела; г) методику измерений штангенциркулем; д) порядок расчета погрешностей.

3. Выполнение работы

3.1. Описание установки

Общий вид установки РРМ–06 изображен на рис. 1. Маятник Обербека представляет собой двухступенчатый шкив 1 радиусами r_1 и r_2 с четырьмя взаимно перпендикулярными стержнями, на которых могут быть укреплены симметрично четыре цилиндрических груза 2 массами m_0 . На шкив наматывается нить, которая перебрасывается через блок 3. К свободному концу нити подвешивается груз 4 массой m . Груз 4, двигаясь поступательно, разматывает нить, при этом крестообразный маятник вращается вокруг неподвижной оси. Время опускания груза с высоты h измеряется миллисекундомером 5, включение и выключение которого осуществляется через посредство фотоэлектрических датчиков 6 и 7 при пересечении грузом светового потока, падающего на фотодатчик. Работа датчиков согласована с работой тормозного электромагнита, который удерживает груз в состоянии покоя при его верхнем положении.

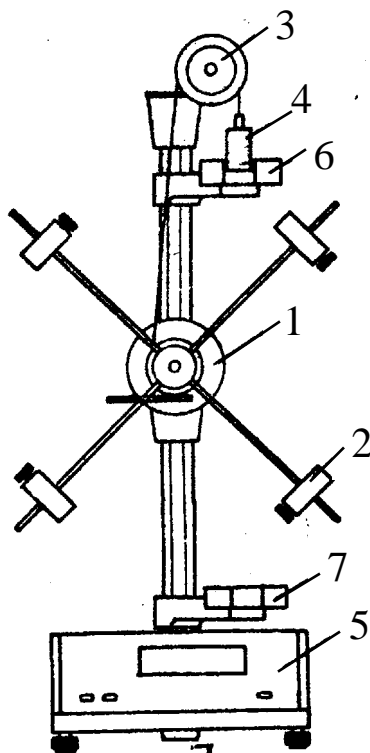


Рис. 1. Схема установки для определения момента инерции маятника Обербека: 1 – двухступенчатый шкив; 2 – грузы; 3 – неподвижный блок; 4 – груз; 5 – миллисекундомер; 6, 7 – фотодатчики

3.2. Методика измерений и расчета

Поступательное движение груза m осуществляется под действием двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и силы натяжения нити \vec{F}_H (рис. 2).

Согласно второму закону Ньютона имеем

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_H \quad (1)$$

и в проекции на ось Oy :

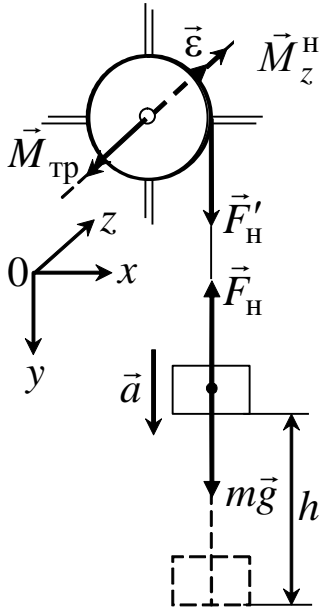
$$ma = mg - F_H.$$

Так как $a = \text{const}$, то движение груза – прямолинейное и равноускоренное.

При равноускоренном движении по измеренным значениям высоты h и времени движения груза t можно рассчитать:

а) ускорение из формулы $h = \frac{at^2}{2}$:

$$a = \frac{2h}{t^2}; \quad (2)$$



б) максимальную скорость, приобретаемую грузом в конце движения

$$v = at = \frac{2h}{t}, \quad (3)$$

где t – время опускания груза до нижнего датчика.

в) силу натяжения нити

$$F_H = m(g - a) = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right). \quad (4)$$

Рис. 2. Схема сил, действующих при движении груза и моментов сил трения и натяжения нити

Вращение крестообразного маятника происходит под действием момента \vec{M}_H силы натяжения нити \vec{F}_H' , направленного вдоль оси вращения по правилу правого винта (см. рис. 2). Действием момента сил трения в оси шкива $\vec{M}_{тр}$ будем пренебрегать. Согласно основному закону динамики вращательного движения абсолютно твердого тела, записанного в проекциях на ось Oz , имеем

$$J_z \varepsilon_z = M_z^H, \quad (5)$$

где J_z – момент инерции маятника относительно оси вращения z ;
 ε – угловое ускорение, которое определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{a_\tau}{r} = \frac{2h}{rt^2}, \quad (6)$$

где r – радиус шкива; a_τ – тангенциальное ускорение точек на ободе шкива ($a_\tau = a$, так как нет проскальзывания нити по поверхности шкива).

Угол поворота маятника за время t равен

$$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{h}{r}. \quad (7)$$

За это время маятник сделает N оборотов

$$N = \frac{\varphi}{2\pi}. \quad (8)$$

Угловая скорость достигнет максимального значения:

$$\omega = \varepsilon t = \frac{2h}{rt}, \quad (12)$$

а частота вращения

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{h}{\pi r t}. \quad (10)$$

Момент силы натяжения нити

$$M_z^H = r \cdot F_H, \quad (11)$$

где r – радиус шкива.

Тогда из основного уравнения динамики вращательного движения $J_z \cdot \varepsilon_z = M_z^H$ можно определить момент инерции маятника Обербека

$$J_z^3 = M_z^H / \varepsilon_z. \quad (12)$$

3.3. Порядок работы на установке

3.3.1. Не включая прибор в сеть, вращением маятника против часовой стрелки намотайте нить на один из шкивов так, чтобы груз находился чуть выше верхнего фотоэлектрического датчика. Включите сетевой шнур установки в сеть и нажмите клавишу «Сеть», при этом включается тормозной электромагнит, удерживающий груз в заданном положении.

3.3.2. Нажмите клавишу «Пуск» – тормозной электромагнит отключается, груз начинает опускаться, миллисекундомер отсчитывает время движения груза. При пересечении грузом светового луча в нижнем фотоэлектрическом датчике отсчет времени прекращается, одновременно включается тормозной электромагнит.

3.3.3. Нажмите клавишу «Сброс», при этом происходит обнуление показаний миллисекундомера и отключение тормозного электромагнита.

3.3.4. Переведите груз в верхнее положение вновь путем вращения маятника против часовой стрелки и отожмите клавишу «Пуск», чтобы вновь заблокировать ось вращения маятника. Далее повторяйте последовательно пункты 3.3.2–3.3.4.

4. Последовательность проведения измерений

4.1. Работа выполняется без грузов m_0 на стержнях маятника

4.1.1. Проведите измерения радиуса r шкива (по указанию преподавателя) и высоты h .

4.1.2. Измерьте время t движения опускающегося груза, имеющего наименьшую массу m_1 . Опыт повторите 5 раз. Результаты измерений занесите в табл. 1.

4.1.3. Замените груз массой m_1 на груз большей массы m_2 и, не изменяя радиуса шкива, измерьте 5 раз время его движения до нижнего датчика.

4.1.4. Используя формулы (4), (11), рассчитайте момент силы натяжения нити M^H , момент инерции J вращающегося маятника по формулам (6) и (12). Результаты расчетов внесите в табл. 1.

4.1.5. Угол поворота φ рассчитайте по формулам (7), а среднее значение возьмите равным $\langle \varphi \rangle = \frac{\langle \varphi_1 \rangle + \langle \varphi_2 \rangle}{2}$. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений времени и расчета характеристик маятника Обербека без грузов на стержнях

| r | m | № | t | v | a | ε | ω | φ_1 | φ_2 | n | N | F_H | M_z^H | I_z | |
|-------|------------------|-----|-----|-----|------------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|------|-----|-------|---------|-------------------|--|
| м | кг | п/п | с | м/с | м/с ² | с ⁻² | с ⁻¹ | рад | рад | сб/с | об | Н | Н·м | кг·м ² | |
| $r =$ | $m_1 =$ | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| | Средние значения | | | | | | | | | | | | | | |
| | $m_2 =$ | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| | Средние значения | | | | | | | | | | | | | | |

4.2. Работа выполняется с грузами m_0 на стержнях маятника

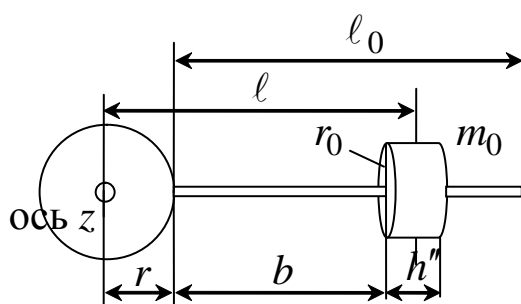


Рис. 3. К расчету момента инерции маятника с грузами массой m_0

4.2.1. На стержнях симметрично укрепите цилиндрические грузы массой m_0 на одинаковых расстояниях b от шкива (рис. 3). Затем намотайте на шкив нить с грузом. Измерьте время движения груза 5 раз. Рассчитайте характеристики маятника Обербека по формулам (2)–(12). Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 2.

Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментальных измерений и расчетов характеристик маятника с грузами на стержнях

| № п/п | b | ℓ | t | ν | a | ε | F_H | M_z^H | I_z^Θ |
|------------------|-----|--------|-----|---------------------|---------------------|-----------------|-------|---------|---------------------|
| | м | м | с | м · с ⁻¹ | м · с ⁻² | с ⁻² | Н | Н · м | кг · м ² |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | | |

4.2.2. Рассчитайте теоретический момент инерции маятника Обербека (рис. 3) по формулам:

$$I_{\text{шк}} = \frac{m_{\text{шк}} \cdot r^2}{2}; \quad I_{\text{ст}} = \frac{m_{\text{ст}} \cdot \ell_0^2}{12} + m_{\text{ст}} \left(\frac{\ell_0}{2} + r \right)^2;$$

$$I_{\text{гр}} = \left(\frac{m_0 \cdot r_0^2}{4} + \frac{m_0 \cdot h''^2}{12} \right) + m_0 \ell^2; \quad \ell = \frac{h''}{2} + b + r;$$

$$I_z^T = I_{\text{шк}} + 4I_{\text{ст}} + 4I_{\text{гр}},$$

где $m_{\text{шк}}$ – масса шкива (если она неизвестна, то ее нужно определить следующим образом: $m_{\text{шк}} = \pi r^2 \cdot h'_{\text{шк}} \cdot \rho$, где $h'_{\text{шк}}$ – длина образующей шкива; ρ – плотность материала шкива); $m_{\text{ст}}$ – масса стержня; m_0 – масса груза (при необходимости они определяются аналогично $m_{\text{шк}}$); r – радиус шкива; ℓ_0 – длина стержня; ℓ – расстояние от центра масс груза до оси вращения.

Результаты расчета параметров маятника Обербека

| $m_{\text{шк}}$ | r | $h'_{\text{шк}}$ | $m_{\text{ст}}$ | ℓ_0 | ℓ | h | b | m_0 |
|-----------------|-----|------------------|-----------------|----------|--------|-----|-----|-------|
| КГ | М | М | КГ | М | М | М | М | КГ |
| | | | | | | | | |

4.2.3. Найдите расхождение теоретического и экспериментального значений момента инерции маятника Обербека относительно горизонтальной оси z :

$$\varepsilon = \frac{|I_z^{\text{T}} - I_z^{\text{Э}}|}{I_z^{\text{T}}} 100 \text{ \%}.$$

4.2.4. Рассчитайте погрешность измерений.

5. Сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Определение параметров вращательного движения твердых тел

1. Цель работы: изучение метода определения момента инерции массивного стержня.

2. Подготовка к работе: прочитать в [2] §§ 4.2, 4.3, 5.2, 5.3, [1] §§ 16–19. Для выполнения лабораторной работы студент должен знать: а) основные кинематические и динамические характеристики вращательного движения; б) законы сохранения момента импульса и механической энергии; в) основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела; г) методику измерений и расчетов; д) расчет погрешностей измерений.

3. Выполнение работы

3.1. Описание экспериментальной установки

Стержень, момент инерции которого надо определить, укреплен на неподвижной горизонтальной оси, проходящей через центр масс стержня. Стальной шарик удерживается электромагнитом на высоте h над одним из концов стержня. При выключении электромагнита шарик, свободно падая с высоты h , приобретает скорость v и упруго ударяется о горизонтально расположенный стержень в точке, отстоящей от оси вращения на расстоянии r (рис. 1). Место удара определяют по небольшой вмятине в тонком слое пластилина, предварительно нанесенном на стержень. Число оборотов N , которое сделает стержень до полной остановки, определяют по насаженному на ось картонному кругу, разделенному на 10 частей.

3.2. Методика измерений и расчета

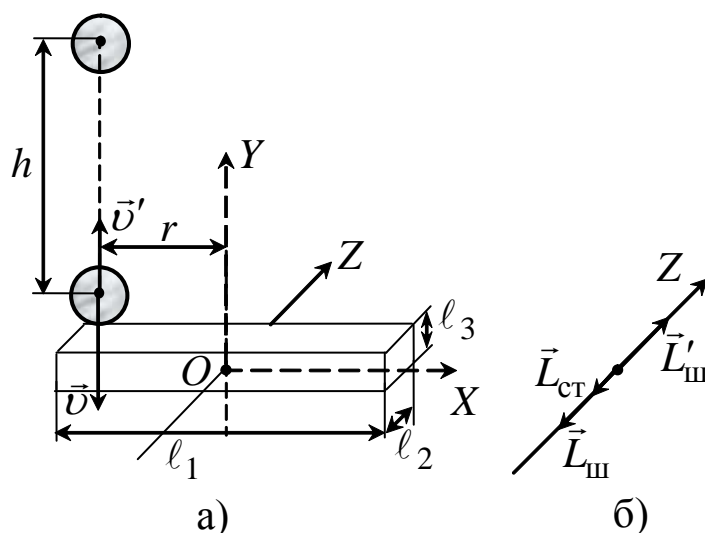


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Момент инерции тела относительно оси Z , масса которого распределена по объему непрерывно, вычисляют путем интегрирования следующим образом:

$$\begin{aligned}
J_z^T &= \rho \iiint_V (x^2 + y^2) dx dy dz = \rho \iiint_V x^2 dx dy dz + \rho \iiint_V y^2 dx dy dz = \\
&= \rho \int_{-\frac{\ell_1}{2}}^{\frac{\ell_1}{2}} x^2 dx \int_{-\frac{\ell_3}{2}}^{\frac{\ell_3}{2}} dy \int_{-\frac{\ell_2}{2}}^{\frac{\ell_2}{2}} dz + \rho \iiint_V y^2 dx dy dz = \frac{1}{12} m_{\text{ст}} (\ell_1^2 + \ell_3^2). \quad (1),
\end{aligned}$$

где $m_{\text{ст}} = \rho \ell_1 \ell_3 \ell_2$ – масса стержня; ℓ_1, ℓ_3, ℓ_2 – параметры стержня; ρ – объемная плотность стержня.

В данной работе для экспериментального определения момента инерции стержня используется взаимодействие горизонтально расположенного стержня с падающим с высоты h металлическим шариком массой m (рис. 1, а). Перед ударом скорость v шарика равна

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (2)$$

После удара, который рассматривается как абсолютно упругий, шарик отскакивает от стержня вертикально вверх со скоростью v' , а стержень начинает вращаться с начальной угловой скоростью ω_0 .

Полагая, что моменты внешних сил, действующих на систему, равны нулю, можно утверждать, что при этом выполняется закон сохранения момента импульса системы:

$$\vec{L}_{\text{ш}} = \vec{L}_{\text{ст}} + \vec{L}'_{\text{ш}}, \quad (3)$$

где $\vec{L}_{\text{ш}}$ – момент импульса шарика до удара; $\vec{L}'_{\text{ш}}$ – момент импульса шарика после удара; $\vec{L}_{\text{ст}}$ – момент импульса стержня после удара, которые направлены по оси Z по правилу правого винта (см. рис. 1, б).

Подставим в (3) выражение для каждой составляющей и получим

$$r m v = J_z \omega_0 - r m v', \quad (4)$$

где J_z – момент инерции стержня относительно оси Z .

Так как удар шарика о стержень – упругий, то также выполняется закон сохранения механической энергии, согласно которому

$$\frac{m\nu^2}{2} = \frac{J\omega_0^2}{2} + \frac{m\nu'^2}{2}, \quad (5)$$

где $\frac{m\nu^2}{2}$ – кинетическая энергия шарика перед ударом; $\frac{J\omega_0^2}{2}$ – кинетическая энергия вращающегося стержня после удара; $\frac{m\nu'^2}{2}$ – кинетическая энергия шарика после удара.

Выражая из уравнения (4) ν' и подставляя полученное выражение в (5), получим формулу для экспериментального определения момента инерции стержня относительно оси Z :

$$J_z^3 = \frac{mr}{\omega_0} (2\nu - \omega_0 r). \quad (6)$$

Начальную угловую скорость ω_0 вращения стержня можно определить, измеряя число оборотов N , которое он сделает за время t от начала вращения до полной остановки.

Угол поворота стержня $\varphi = 2\pi N$. Для равнозамедленного вращательного движения $\varphi = \frac{\omega_0 - \omega_k}{2} t = \frac{\omega_0}{2} t$, т. к. конечная угловая скорость равна нулю. Приравнивая два выражения для φ , получаем

$$\omega_0 = \frac{4\pi N}{t}. \quad (7)$$

Вращение стержня после удара происходит в условиях действия на него единственного момента сил – момента сил трения в оси $\vec{M}_{\text{тр}}$. С учетом этого основное уравнение динамики вращательного движения запишется в виде

$$J\varepsilon = M_{\text{тр}},$$

где J – момент инерции стержня; ε – угловое ускорение стержня

$$\varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega_k}{t} = \frac{\omega_0}{t}. \quad (8)$$

Тогда момент сил трения в оси равен

$$M_{\text{тр}} = \frac{J\omega_0}{t}. \quad (9)$$

Зная момент сил трения, можно определить работу этих сил

$$A_{\text{тр}} = \int_0^{2\pi N} M_{\text{тр}} d\varphi = M_{\text{тр}} 2\pi N. \quad (10)$$

3.3. Определение кинематических характеристик шарика и стержня

3.3.1. Установите стержень строго горизонтально. Измерьте расстояние h от магнита до точки удара шарика о стержень. Расстояние r от оси вращения до точки соударения со стержнем измерьте с помощью линейки. Предварительно нанесите на стержень тонкий слой пластилина для определения места удара.

3.3.2. По формуле (2) рассчитайте скорость v шарика перед ударом о стержень.

3.3.3. Измерьте время t вращения и число оборотов N (с точностью до 0,1) стержня после удара. Опыт повторите не менее 5 раз.

3.3.4. Найдите средние значения времени $\langle t \rangle$ и числа оборотов $\langle N \rangle$ и по формуле (7) рассчитайте начальную угловую скорость ω_0 , а по формуле (8) угловое ускорение ε . Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 1.

3.4. Определение динамических характеристик движения шарика и стержня

3.4.1. По формуле (6) рассчитайте экспериментальное значение момента инерции $J_z^{\text{э}}$ стержня относительно неподвижной оси.

Рассчитайте массу шарика $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$, где ρ – плотность стали, равная $7,87 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3.4.2. Теоретическое значение момента инерции стержня J_z^T рассчитайте по формуле (1). Значение массы стержня $m_{\text{ст}}$ приведено в паспорте установки (или рассчитайте по линейным размерам и плотности стали). Линейные размеры стержня l_1 и l_3 измерьте с помощью линейки или штангенциркуля.

Таблица 1

Результаты измерения времени и числа оборотов стержня и расчета кинематических характеристик шарика и стержня

$h =$ м

| № п/п | t | N | r | v | ω_0 | ε |
|------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|---------------------|
| | с | об | м | м/с | рад/с ⁻¹ | рад/с ⁻² |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| Средние значения | | | | | | |

3.4.3. Сравните экспериментальное $J_э$ и теоретическое J_T значения момента инерции стержня и рассчитайте относительное расхождение между ними в процентах:

$$\varepsilon = \frac{|J_z^T - J_z^э|}{J_z^T} \cdot 100\% .$$

3.4.4. Момент импульса шарика $L_{\text{ш}}$ перед ударом относительно центра вращения рассчитайте по формуле $L_{\text{ш}} = r m v$, а момент импульса стержня $L_{\text{ст}}$ относительно неподвижной оси сразу после удара – по формуле $L_{\text{ст}} = J \omega_0$.

3.4.5. Определите кинетическую энергию $W_k^{\text{ш}}$ шарика перед ударом и начальную кинетическую энергию $W_k^{\text{ст}}$ стержня после удара (см. формулу (5)).

3.4.6. Определите момент сил трения в оси вращения по формуле (9). Значение момента инерции стержня примите равным экспериментальному значению $J_z^{\text{э}}$.

3.4.7. Рассчитайте работу сил трения в оси по формуле (10).

3.4.8. Результаты расчетов динамических величин шарика и стержня занесите в табл. 2.

Таблица 2

Расчет динамических характеристик шарика и стержня

| $J_z^{\text{э}}$ | $J_z^{\text{т}}$ | ε | $L_{\text{ш}}$ | $L_{\text{ст}}$ | $W_1^{\text{ш}}$ | $W_1^{\text{ст}}$ | $M_{\text{тр}}$ | $A_{\text{тр}}$ |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2}$ | $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2}$ | % | $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ | $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ | Дж | Дж | Н · м | Дж |
| | | | | | | | | |

$$m_{\text{ст}} = \quad \text{кг}; \quad l_1 = \quad \text{м}; \quad l_3 = \quad \text{м}$$

3.4.9. Рассчитайте погрешность определения $J_z^{\text{э}}$ и $A_{\text{тр}}$.

4. Сделайте вывод.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 10-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2005. – 560 с.

2. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для студентов вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд., испр. – Москва : Изд. Центр «Академия», 2003. – 720 с.

3. Савельев, И. В. Курс физики : учеб. пособие. В 3 т. Т. 1 : Механика. Молекулярная физика. 5-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 356 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=71762

Составители

Дырдин Валерий Васильевич
Мальшин Анатолий Александрович
Ким Татьяна Леонидовна
Цвеклинская Ирина Валентиновна

ФИЗИКА.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Лабораторный практикум К-304.5
по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.04.2016. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 2,5
Тираж 44 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 а

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра физики

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Лабораторный практикум К-314.2
по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Составитель Г. И. Зайцев

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 5 от 11.02.2015

Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 20.03.01
Протокол № 5 от 19.02.2015

Электронная копия находится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2015

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Методические рекомендации студентам..... | 2 |
| Обработка результатов лабораторных измерений..... | 3 |
| Лабораторная работа № 1 «Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля»..... | 4 |
| Лабораторная работа № 2 «Использование интерференционных колец равного наклона для определения показателя преломления стекла»..... | 9 |
| Лабораторная работа № 3 «Дифракция света на щели и мелких круглых частицах»..... | 1 |
| | 4 |
| Лабораторная работа № 4 «Измерение длины волны в спектре с помощью дифракционной решетки и гониометра»..... | 1 |
| | 9 |
| Лабораторная работа № 5 «Зонная пластинка и киноформная линза»..... | 2 |
| | 4 |
| Лабораторная работа № 6 «Изучение закона Малюса»..... | 2 |
| | 9 |
| Список рекомендуемой литературы..... | 3 |
| | 4 |

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ

Данное учебное пособие содержит описание лабораторных работ по разделу курса физики «Волновая оптика». Во всех этих работах свет рассматривается как поперечная электромагнитная волна, в которой колеблются векторы напряженности электрического поля и магнитной индукции.

В предлагаемых экспериментах свет проявляет себя как поперечная волна (работа № 6), способная интерферировать (работы №№ 1 и 2) и дифрагировать на мелких преградах (работы №№ 3–5).

Этот практикум соответствует программе курса и содержанию Государственного образовательного стандарта. Описания лабораторных работ изложены так, чтобы студенты могли разобраться в теоретических основах работы даже тогда, когда выполнение лабораторной работы опережает лекционный курс. Поэтому в каждом методическом указании содержится описание экспериментальной установки, основные теоретические положения, порядок проведения опыта, а также указан порядок обработки полученных результатов.

При выполнении лабораторного практикума предусматривается следующий порядок работы. На вводном занятии студент получает семестровый график выполнения лабораторных работ. Во время подготовки ему нужно внимательно прочесть описание работы, изучить теоретические основы данной работы, используя указанную литературу, составить конспект, содержащий титульный лист определенного образца, рабочие формулы, схему экспериментальной установки, таблицы для записи результатов.

Студент будет допущен к выполнению лабораторной работы после беседы с преподавателем, в результате которой выяснится, что им проделана вся подготовительная работа и он готов к выполнению лабораторной работы. По окончании эксперимента нужно обработать полученные результаты, в конспекте привести образец расчета искомых величин по рабочим формулам, построить соответствующие графики, вычислить погрешности и написать вывод, отвечающий цели лабораторной работы.

При успешной сдаче отчета студент получает возможность приступить к подготовке следующей лабораторной работы.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Выполнение лабораторной работы по оптике сопровождается измерением ряда физических величин: интенсивности света, длины волны, расстояний, температуры светящегося тела и др. Нужно четко понимать, что никакое измерение нельзя провести абсолютно точно – оно выполняется с той или иной погрешностью (ошибкой). Поэтому недостаточно представить только результат определения искомой величины, но и обязательно указать допущенную при этом погрешность.

Чтобы получить наглядное представление о взаимной связи рассматриваемых величин и их закономерном изменении, результаты наблюдений следует представить графически. Обыкновенно пользуются прямоугольной системой координат с равномерными масштабами по оси x и y . Значения аргумента следует откладывать по оси x , значения функции – по оси y . Масштаб принципиально может быть каким угодно, но при выборе его следует руководствоваться следующими соображениями:

а) график должен быть достаточно точным; наименьшие значения расстояний, которые можно отсчитывать с помощью графика, должно быть больше абсолютной ошибки измерений;

б) физическая сущность явления должна быть вскрыта достаточно ясно, т. е. достаточно хорошо должны быть отражены горизонтальные участки, восходящие и т. д.

В тех областях, где ход кривой монотонный, можно ограничиться небольшим числом измерений (несколькими точками кривой на графике). В области максимумов, минимумов и точек перегибов следует производить измерения значительно чаще.

Графики должны выполняться на миллиметровой бумаге. Следует иметь в виду, что пересечение координатных осей не обязательно должно совпадать с нулевыми значениями x и y . Начало координат следует выбирать таким образом, чтобы пол-

ностью использовалась вся площадь чертежа. Равномерно через 10–20 мм откладывают масштабные деления на координатных осях, указывая не только откладываемые величины, но и единицы их измерения. По полученным данным наносят точки и проводят график. Кривая должна быть плавной и может проходить не через отмеченные точки, а близко к ним, так, чтобы эти точки находились по обе стороны кривой на одинаковом от нее расстоянии.

В тех случаях, когда аргументом являются угловые величины, удобнее применять не прямоугольную систему координат, а полярную.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Изучение интерференции света с помощью бипризмы Френеля

1.1. Цель работы: провести экспериментальное наблюдение интерференции и определить преломляющий угол бипризмы.

1.2. Подготовка к работе: ознакомиться с описанием лабораторной работы, прочитать §§ 172, 173 в учебнике [1]^{*} и § 27 в [2]. В результате нужно знать следующее:

- а) суть явления интерференции света;
- б) понятие когерентности волн и методы их получения;
- в) ход лучей в бипризме Френеля.

1.3. Экспериментальная установка и методика измерений

Экспериментальная установка состоит из лазера с блоком питания, собирающей линзы с фокусным расстоянием 1,5 см, стеклянной бипризмы Френеля с показателем преломления $n = 1,5$ и экрана (противоположной стены). Все детали установки смонтированы на рейтерах (подставках с держателями), расположенными соосно на оптической скамье, и могут по ней легко перемещаться.

*Цифра в квадратных скобках указывает номер учебного пособия в списке литературы на стр. 34.

Исходным источником света служит фокальная точка линзы F , в которой фокусируется монохроматическое лазерное излучение (рис. 1.1). В результате преломления светового пучка в *двойной* призме образуются *две* когерентные сферические волны, как бы исходящие из мнимых источников S_1 и S_2 , колебания которых происходят в одной фазе. Разделенные пучки частично перекрываются, образуя область интерференции. Интерференционная картина наблюдается на экране \mathcal{E} в виде вертикальных полос – максимумов и минимумов.

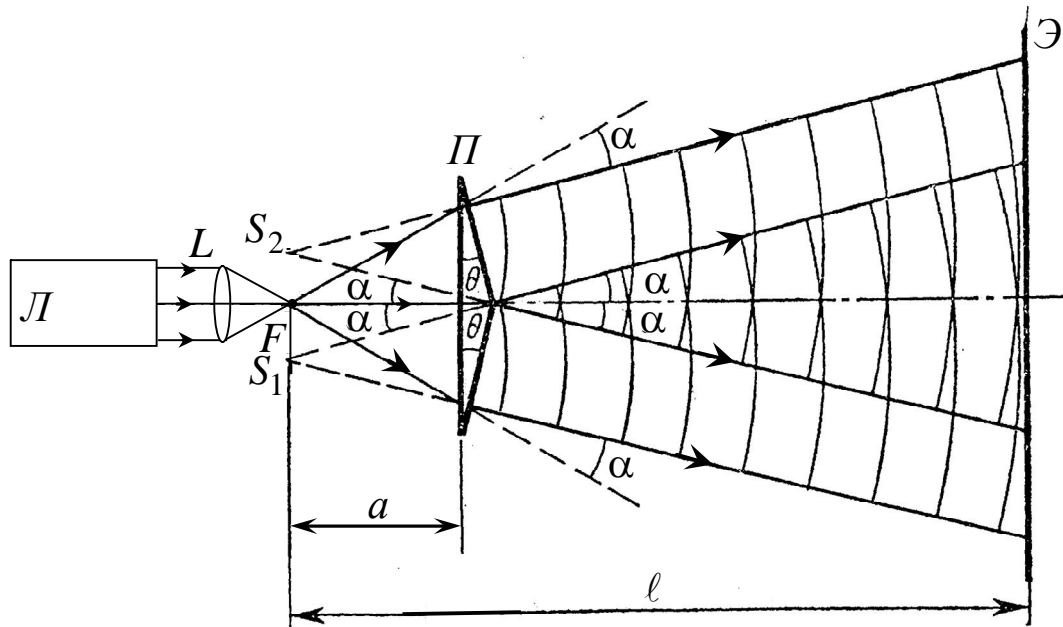


Рис. 1.1. Оптическая схема установки:

L – лазер; L – линза ($F = 1,5$ см); Π – бипризма (θ – ее преломляющий угол, $n = 1,5$); \mathcal{E} – экран; S_1 и S_2 – мнимые когерентные источники света; a – расстояние от фокуса линзы до бипризмы; l – расстояние от фокуса до экрана

Результат сложения световых колебаний, приходящих в точку P экрана \mathcal{E} от источников S_1 и S_2 (рис. 1.2), зависит от оптической разности хода волн $\Delta = L_1 - L_2$. Если оптическая разность хода равна целому числу длин волн

$$\Delta = \pm m\lambda, \quad (1.1, a)$$

то в точке P наблюдается максимум интенсивности.

Если оптическая разность хода равна полуволновому числу длин волн

$$\Delta = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda, \quad (1.1, б)$$

то в точке P наблюдается минимум интенсивности. Здесь $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок (номер) интерференционного максимума или минимума; λ – длина световой волны.

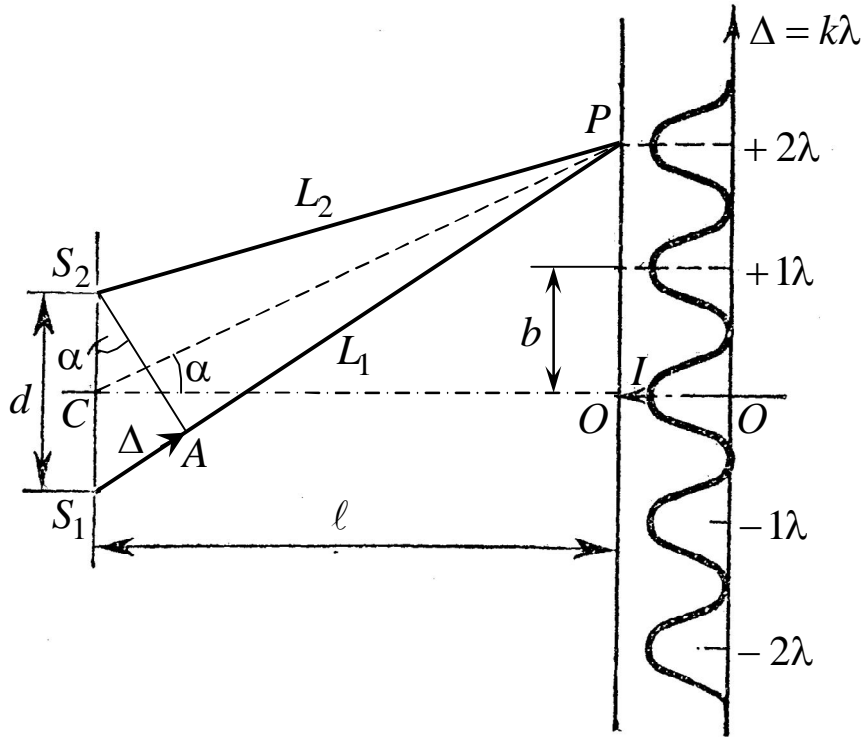


Рис. 1.2. К расчету оптической разности хода Δ :

d – расстояние между мнимыми источниками света S_1 и S_2 ;
 b – расстояние между соседними максимумами (минимумами);
 точка O – центр картины

На рис. 1.2 справа показан график распределения интенсивности света в интерференционной картине. Расстояние между серединами соседних максимумов (или минимумов) называется *шириной* полосы b . Из подобия треугольников S_1AS_2 и CPO следует, что

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{(OP)}{(CP)}.$$

Так как $(OP) = mb$, и при больших расстояниях ℓ (как в опыте) $(CP) \approx \ell$, то можно написать

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{mb}{\ell}.$$

Отсюда следует, что $\Delta = mb \frac{d}{\ell}$. Тогда условие максимума с номером m

$$m\lambda = mb \frac{d}{\ell},$$

и ширина полосы определяется как

$$b = \frac{\lambda \ell}{d}. \quad (1.2)$$

Свяжем ширину полосы с преломляющим углом бипризмы θ . Угол смещения луча α (см. рис. 1.1), прошедшего через призму, определяется выражением [4]:

$$n \sin \frac{\theta}{2} = \sin \frac{\theta + \alpha}{2}. \quad (1.3)$$

В нашем эксперименте углы θ и α малы, поэтому синусы этих углов можно заменить на сами углы (в радианах), тогда $n\theta = \theta + \alpha$, или $\alpha = (n-1)\theta$.

Из рис. 1.1 следует, что

$$\frac{d/2}{a} = \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha.$$

Следовательно, $d = 2a\alpha = 2a(n-1)\theta$. Подставляя d в формулу (1.2), получим окончательное выражение для преломляющего угла бипризмы

$$\theta = \frac{\lambda \ell}{2a(n-1)b}. \quad (1.4)$$

С помощью данной формулы можно определить угол бипризмы. Для этого нужно измерить расстояния ℓ и a от фокуса

линзы до экрана и бипризмы соответственно и ширину b интерференционной полосы.

1.4. Выполнение работы

1.4.1. Включите лазер.

1.4.2. Установите бипризму на оптической скамье на расстоянии 20–40 см от лазера так, чтобы ее ребро находилось на середине лазерного пучка. Тогда на экране будут видны два световых пятна.

1.4.3. Перед бипризмой поставьте линзу на таком расстоянии, чтобы на экране наблюдалось от 3-х до 9-ти вертикальных интерференционных полос.

1.4.4. Измерьте расстояния от середины оправы линзы до бипризмы, а затем до экрана и вычтите из них фокусное расстояние линзы ($F = 1,5$ см). Вы получите величины a и ℓ .

1.4.5. Измерьте расстояние между несколькими темными полосами (посередине) и определите ширину одной интерференционной полосы b .

1.4.6. Измените еще 2 раза расстояние между линзой и бипризмой и повторите измерение величин a , ℓ и b .

1.4.7. Результаты каждого опыта занесите в табл. 1.1 и по формуле (1.4) рассчитайте преломляющий угол бипризмы θ , переведя его из радиан в угловые минуты. Длина волны лазерного излучения $\lambda = 645$ нм, показатель преломления материала бипризмы $n = 1,5$.

Таблица 1.1

Результаты определения преломляющего угла бипризмы Френеля

| № опыта | a | ℓ | b | θ | θ | $\langle \theta \rangle$ | $\Delta \theta$ | $\langle \Delta \theta \rangle$ |
|---------|-----|--------|-----|----------|----------|--------------------------|-----------------|---------------------------------|
| | м | м | м | рад | угл. мин | угл. мин | угл. мин | угл. мин |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

1.4.8. Найдите среднее значение $\langle \theta \rangle$ и среднюю абсолютную погрешность $\langle \Delta \theta \rangle$.

1.4.9. Напишите вывод, указав особенности установки для экспериментального наблюдения интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля и отметив влияние ее преломляющего угла на характер интерференционной картины.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование интерференционных колец равного наклона для определения показателя преломления стекла

2.1. Цель работы: получение интерференционной картины методом деления амплитуды и определение показателя преломления стекла.

2.2. Подготовка к работе: ознакомиться с данным описанием лабораторной работы, изучить §§ 172, 174 в учебнике [1]. В результате студент должен знать:

- а) понятие когерентности волн и методы их получения;
- б) понятие оптической разности хода волн;
- в) условия возникновения максимумов и минимумов в интерференционной картине;
- г) ход лучей в стеклянной пластинке и вывод рабочей формулы.

2.3. Описание экспериментальной установки и методика проведения работы

Из лазера 1 (рис. 2.1) световой пучок падает на короткофокусную линзу 2 и, становясь расходящимся, освещает плоскопараллельную стеклянную пластину 3, находящуюся на подставке оптической скамьи.

Отражаясь от передней и задней поверхности стекла, световые волны становятся когерентными и интерферируют между собой. На экране Э, поставленном перед пластиной, наблюдается интерференционная картина (ИК) в виде чередующихся светлых и темных колец, называемых полосами равного наклона.

Оптическая разность хода лучей $SABCS'$ и SOS' на рис. 2.2 равна

$$\Delta = 2(AB)n - 2(MO) \pm \lambda / 2. \quad (2.1)$$

Здесь n – показатель преломления; $\lambda / 2$ – скачок разности хода при отражении луча SO от оптически более плотной среды (стекла).

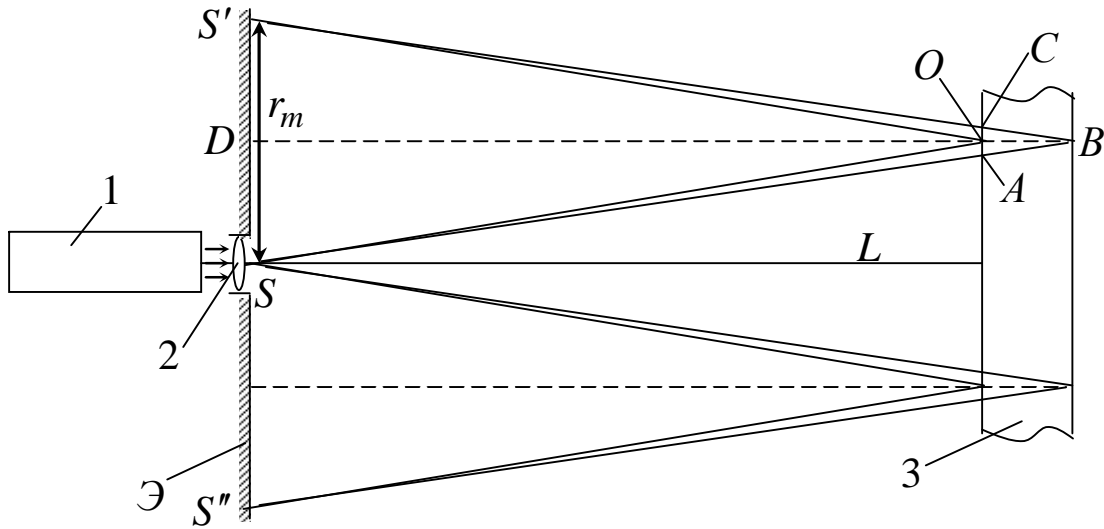


Рис. 2.1. Схема получения интерференционной картины: A, O, C – точки пересечения лучей с передней гранью пластины; B – точка пересечения лучей с задней гранью пластины; S – задний фокус линзы 2; S', S'' – точки, лежащие на темном кольце радиуса r_m

Если d – толщина пластины, α и β – углы падения и преломления, то $(AB) = d / \cos \beta$, $(AO) = d \operatorname{tg} \beta$, $(MO) = (AO) \sin \alpha$. Используя закон преломления $\sin \alpha = n \sin \beta$, выражение (2.1) можно переписать в виде

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \mp \lambda / 2. \quad (2.2)$$

Темные кольца наблюдаются, если разность хода Δ равна

$$\Delta = (2m \mp 1) \lambda / 2, \quad (2.3)$$

где $m = 1, 2, 3 \dots$ – интерференционный порядок.

Таким образом, каждому темному кольцу соответствует свое значение m . Это значение связано с величиной разности оптических путей двух световых волн, результатом интерференции которых является данное кольцо.

Сравнивая (2.2) и (2.3), условие наблюдения темных колец представим в виде

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m\lambda. \quad (2.4)$$

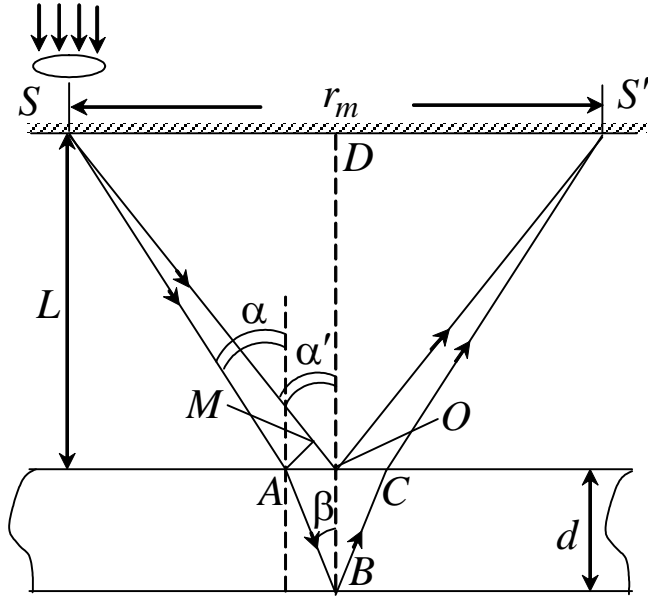


Рис. 2.2. К выводу выражения, связывающего показатель преломления пластины с величиной радиуса темного кольца

Используем (2.4) для получения выражения для радиуса темного кольца. Для центральной части ИК угол падения α мал, поэтому можно принять, что $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$. Используя ΔSOD , и что $\alpha' \approx \alpha$, получим $\sin \alpha \approx r_m / 2L$, где L – расстояние от источника S до пластины; r_m – радиус m -го темного кольца. Преобразуем выражение (2.4), подставляя приближенное значение $\sin \alpha$. Учитывая, что $r_m^2 \ll (2L)^2$, получим по формуле приближенных вычислений:

$$2d \left(n^2 - \frac{1}{2} \frac{r_m^2}{(2L)^2} \right) \approx m\lambda.$$

Здесь использовано то, что $n\sqrt{1-x} \approx n \cdot \left(1 - \frac{1}{2}x \right)$, когда $x \ll 1$.

Откуда следует

$$r_m^2 = 8n^2 L^2 - m4n\lambda L^2 / d. \quad (2.5)$$

Из рис. 2.1 и 2.2 видно, что кольцу большего радиуса соответствует и большее значение угла падения α . С увеличением же угла падения α , согласно (2.4), уменьшается интерференционный порядок m кольца. Следовательно, самый большой интерферен-

ционный порядок m_0 имеет то кольцо, которое находится в центре ИК. Ее центру соответствует $\alpha = 0$. При этом угле падения из (2.4) следует, что $2dn = m_0\lambda$, и в самом центре ИК находится темное кольцо с самым большим номером

$$m_0 = \frac{2dn}{\lambda}. \quad (2.6)$$

Кроме него в центральном темном пятне скрыты темные кольца с номерами от m_0 до k , а первое наблюдаемое имеет номер $m_1 = k - 1$, второе – $m_2 = k - 2$, ..., N -е – $m_N = k - N$.

Запишем условие (2.5) для минимума $(k - N)$ -го порядка

$$r_{k-N}^2 = 8n^2L^2 - (k - N)4n\lambda L^2 / d \quad (2.7)$$

и для минимума k -го порядка

$$r_k^2 = 8n^2L^2 - k4n\lambda L^2 / d. \quad (2.8)$$

Вычитая уравнение (2.8) из (2.7) почленно, получим

$$r_{k-N}^2 - r_k^2 = N4n\lambda L^2 / d. \quad (2.9)$$

Таким образом, квадрат радиуса кольца *линейно* зависит от его номера N :

$$r_{k-N}^2 = r_k^2 + CN, \quad (2.10)$$

где $C = 4n\lambda L^2 / d$. (2.11)

Введем сокращенные обозначения для радиусов темных колец: $r_N = r_{k-N}$. Тогда (2.10) примет вид

$$r_N^2 = r_k^2 + CN. \quad (2.12)$$

Если результаты измерений радиусов колец представить графически как $r_N^2 = f(N)$, то по точкам графика, в соответствии с (2.12), можно провести усредняющую прямую. Используя прямую, можно найти значение C как тангенс угла наклона прямой к оси N :

$$C = \frac{\Delta r_N^2}{\Delta N}. \quad (2.13)$$

После чего показатель преломления можно определить, используя формулу (2.11),

$$\langle n \rangle = \frac{d}{4\lambda L^2} C. \quad (2.14)$$

2.4. Выполнение работы

2.4.1. Включите лазер.

2.4.2. На экран укрепите с помощью прищепок лист миллиметровой бумаги. Сделайте в нем отверстие, совпадающее с центром лазерного луча. Сориентируйте пластину 3 так, чтобы луч, отражаясь от нее, попадал в центр отверстия на бумаге. Получите ИК в виде концентрических колец.

2.4.3. Перерисуйте ИК на бумагу (или сфотографируйте цифровой камерой).

2.4.4. Пронумеруйте наблюдаемые темные кольца в порядке возрастания их радиусов: $N = 1, 2, 3 \dots$

2.4.5. Измерьте диаметры колец по горизонтали D_1 и по вертикали D_2 .

2.4.6 Найдите средние значения их радиусов $\langle r_N \rangle = \frac{D_1 + D_2}{4}$,

а затем квадратов $\langle r_N \rangle^2$.

2.4.7. Постройте график зависимости r_N^2 от номера кольца N .

2.4.8. Из него определите тангенс угла наклона графика, равный значению C , и по формуле (2.14) найдите показатель преломления $\langle n \rangle$.

2.4.9. По формуле (2.6) вычислите максимальный порядок интерференции.

2.4.10. Продолжив прямую до пересечения с вертикальной осью, найдите r_k^2 . По формуле

$$k = m_0 \left(1 - \frac{r_k^2}{8n^2 L^2} \right),$$

вытекающей из (2.6), (2.8), вычислите значение интерференционного порядка кольца, за которым все последующие кольца были пронумерованы.

2.4.11. Все результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

*Результаты измерений диаметров темных колец
и полученные значения величин: C , $\langle n \rangle$, m_0 , k*

| N | D_1 | D_2 | $\langle r_N \rangle$ | $\langle r_N \rangle^2$ | C | $\langle n \rangle$ | m_0 | k |
|-----|-------|-------|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------------|-------|-----|
| | м | м | м | м ² | м ² | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |

2.4.12. Сделайте вывод о том, почему ИК наблюдается, именно, в виде колец.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Дифракция света на щели и мелких круглых частицах

3.1. Цель работы: определение длины волны лазерного излучения и размера мелких частиц на основе дифракционной картины.

3.2. Подготовка к работе: ознакомиться с описанием лабораторной работы, изучить § 179 в учебнике [1] и прочитать материал на стр. 280–281 и стр. 301–302 в книге [3]. В результате нужно знать:

- а) понятие длины волны и принцип Гюйгенса – Френеля;
- б) каким образом световая волна огибает препятствия – круглую частицу, непрозрачный экран и т. д.;
- в) качественную зависимость дифракционной картины от размеров отверстий и частиц;
- г) распределение интенсивности в дифракционной картине при дифракции на щели и круглом отверстии.

3.3. Описание установки и методики измерений

В данной лабораторной работе изучается дифракция света на щели и на круглых частицах ликоподия. *Дифракция света* – это огибание световой волной границ непрозрачных тел. В том случае, когда световой пучок является параллельным, т. е. волна имеет плоский фронт, говорят о дифракции Фраунгофера, когда рассматривается дифракция расходящегося (или сходящегося) пучка, то это – дифракция Френеля.

В работе изучается дифракция Фраунгофера на установке, схема которой приведена на рис. 3.1. Лазер размещается на оптической скамье так, чтобы часть ее (не менее 1 м) оставалась свободной. На свободном конце скамьи устанавливаются два рейтера: один с раздвижной щелью, другой с экраном. Щель может перемещаться перпендикулярно лазерному пучку. Во втором упражнении вместо щели на пути лазерного пучка ставится стеклянная пластинка с ликоподием.

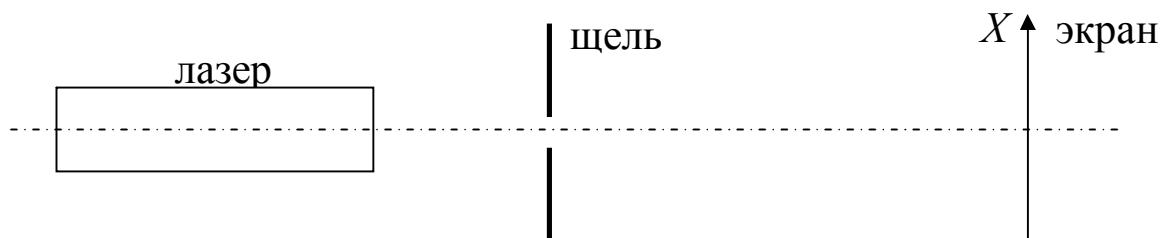


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

Лазерное излучение в виде параллельного пучка с длиной волны λ падает перпендикулярно плоскости щели шириной $(AB)=b$ (рис. 3.2). Разность хода между крайними лучами BP и AP , идущими от щели в произвольном направлении φ , равна

$$\Delta = (BC) = b \sin \varphi,$$

где C – основание перпендикуляра, опущенного из точки A на луч BP .

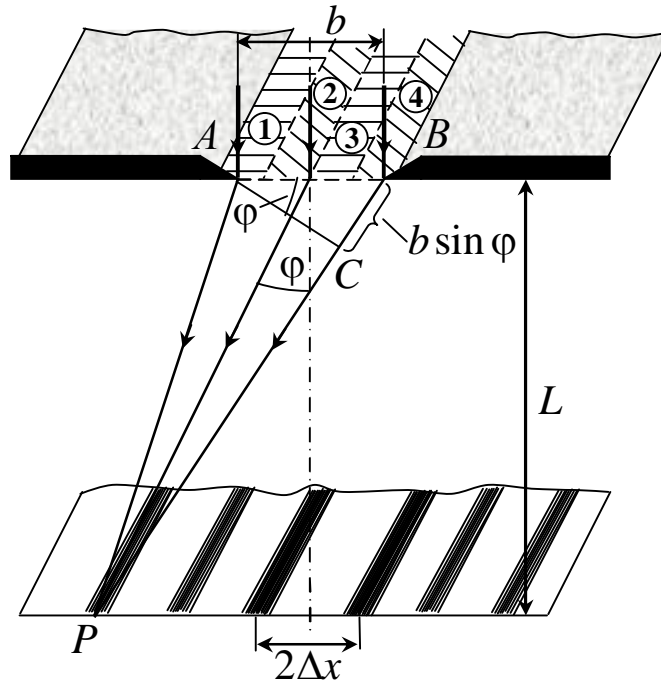


Рис. 3.2. Дифракция Фраунгофера на щели

Разобьем открытую часть фронта волны в плоскости щели AB на зоны Френеля, имеющие вид полос, параллельных ребру A щели. Разность хода от краев этих зон сделаем равной $\lambda/2$. Тогда на щели уместится $(\Delta : \lambda/2)$ зон. Все зоны излучают свет в рассматриваемом направлении одинаково, причем колебания, возбуждаемые в точке P двумя соседними зонами, равны по амплитуде и противоположны по фазе. Поэтому эти колебания взаимно гасят друг друга. Следовательно, если число зон Френеля четное, то $b \sin \varphi = 2k\lambda/2$ или

$$b \sin \varphi = k\lambda, \quad (k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots), \quad (3.1)$$

и в точке P наблюдается *дифракционный минимум* (темнота). Если же число зон Френеля нечетное, то

$$b \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots), \quad (3.2)$$

и наблюдается максимум интенсивности. Самый яркий центральный максимум виден в направлении $\varphi = 0$. С ростом k ширина зон Френеля и интенсивность максимумов быстро уменьшается. Интенсивности в центральном и боковых максимумах относятся как $1 : 0,047 : 0,017 : 0,008 \dots$

Если параллельный световой пучок падает на круглое отверстие, то дифракционная картина состоит из центрального светлого пятна, окруженного чередующимися светлыми и темными кольцами. Этот случай представляет интерес, т. к. все оправы линз и объективов имеют обычно круглую форму. Если в экране имеется не одно, а N хаотически расположенных отверстий, то получается такая же дифракционная картина, как и от одного, но только более интенсивная. Интенсивности отдельных картин складываются, $I = N I_1$, но сами картины между собой не интерферируют.

За исключением центра, такая же картина получается, если параллельный пучок света дифрагирует не на отверстиях, а на круглых *частицах*, расположенных тоже хаотически. Для нашей задачи используются споры растения плауны (ликоподий), которые зажаты между стеклянными пластинками. Споры имеют форму шариков практически одинакового диаметра d . При освещении такого препарата параллельным лазерным пучком возникает на экране дифракционная картина, состоящая из concentрических колец.

Угловые размеры первого φ_1 и второго φ_3 темных колец связаны с диаметром частиц d по формулам

$$d \sin \varphi_1 = 1,22\lambda; \quad d \sin \varphi_3 = 2,24\lambda. \quad (3.3)$$

Угловые радиусы светлых колец определяются соотношениями:

$$d \sin \varphi_2 = 1,64\lambda; \quad d \sin \varphi_4 = 2,68\lambda. \quad (3.4)$$

Здесь дифракционные кольца пронумерованы, начиная с первого темного кольца, окружающего центральный светлый круг.

Описанное явление наблюдается в природе в виде венцов вокруг Солнца и Луны. Венцы возникают в результате дифракции света на водяных капельках (или кристалликах льда), когда перед светилем проходит облако или туман.

3.4. Порядок выполнения работы

Упражнение 1. Дифракция света на щели

1. Лазерный пучок света направьте на середину щели и с помощью верхнего винта установите ее ширину такой, чтобы дифракционную картину на экране удобно было бы измерять.

2. По микрометрической шкале винта определите ширину щели b (в долях миллиметра).

3. Измерьте расстояние L от щели до экрана.

4. Измерьте расстояние Δx между серединами левого ($k = -1$) и правого ($k = 1$) минимумов интенсивности первого порядка и вычислите $\sin \varphi_1 \approx \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\Delta x}{2L}$.

5. То же самое сделайте для дифракционных минимумов второго ($k = \pm 2$), третьего ($k = \pm 3$) и четвертого ($k = \pm 4$) порядков.

6. Используя условие (3.1), рассчитайте длину волны λ лазерного излучения. Результаты занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Таблица для расчета длины волны λ лазерного излучения

| k | Δx | L | $\sin \varphi$ | b | λ | $\langle \lambda \rangle$ | $\Delta \lambda$ | $\langle \Delta \lambda \rangle$ |
|-----|------------|-----|----------------|-----|-----------|---------------------------|------------------|----------------------------------|
| | м | м | | м | нм | нм | нм | нм |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |

Упражнение 2. Дифракция света на частицах ликоподия

1. Вместо щели на пути лазерного луча поместите ликоподий в 20–30 см от экрана и на нем пронаблюдайте дифракционную картину в виде концентрических темных и светлых колец и яркого центрального пятна.

2. Измерьте диаметры темных дифракционных колец D_1, D_3 и светлых колец D_2, D_4 и расстояние от объекта с ликоподием до экрана L .

3. По формуле $\sin \varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{D}{2L}$ и формулам (3.3) и (3.4) рассчитайте диаметр частиц ликоподия и усредните его. Длину волны лазерного света λ возьмите из предыдущего упражнения. Все результаты измерений и расчетов занесите в табл. 3.2.

4. Сделайте вывод.

Таблица 3.2

Таблица для расчета диаметра d частиц ликоподия

| № п/п | D | L | $\sin \varphi$ | d | $\langle d \rangle$ | Δd | $\langle \Delta d \rangle$ |
|-------|-----|-----|----------------|-----|---------------------|------------|----------------------------|
| | м | м | | мкм | мкм | мкм | мкм |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Измерение длины волны в спектре с помощью дифракционной решетки и гониометра

4.1. Цель работы: освоить способ измерения длины волны с помощью дифракционной решетки и гониометра в спектре излучения паров ртути.

4.2. Подготовка к работе: ознакомиться с данным описанием лабораторной работы, изучить §§ 180, 183 в учебнике [1], прочитать §§ 46, 47 в [2] и текст на стр. 405–410 в книге [3]. В результате подготовки студент должен знать:

а) устройство дифракционной решетки, ее период и условие наблюдения главных максимумов;

б) порядок расположения цветов в дифракционном спектре относительно центрального максимума;

в) разрешающую способность дифракционной решетки на основе критерия Релея;

г) как изменится дифракционная картина, если закрыть часть решетки (сверху или сбоку);

д) устройство гониометра.

4.3. Описание лабораторной установки и методики измерений

В работе используется голографическая дифракционная решетка (*ДР*), имеющая 200 штр/мм (рис. 4.1). В качестве источника света с линейчатым спектром служит ртутная лампа *РЛ*, подключенная к блоку питания (на рис. не показан). Свет попадает на входную щель *Щ* коллиматора *К*, установленную в фокальной плоскости объектива *О* коллиматора. Параллельный пучок света, полученный при помощи коллиматора, падает на *ДР*. Пройдя сквозь нее, когерентные пучки света собираются объективом зрительной трубы *ЗТ*, давая в фокальной плоскости действительные цветные изображения щели коллиматора, наблюдаемые с помощью окуляра зрительной трубы. Окуляр снабжен визирной вертикальной нитью, которая при повороте зрительной трубы может совмещаться с любой спектральной линией (максимумом). Коллиматор со щелью и объективом, столик *С* и зрительная труба *ЗТ* вместе составляют высокоточный прибор для измерения углов – гониометр. В работе с помощью гониометра измеряются углы дифракции лучей, а по ним определяют их длину волны.

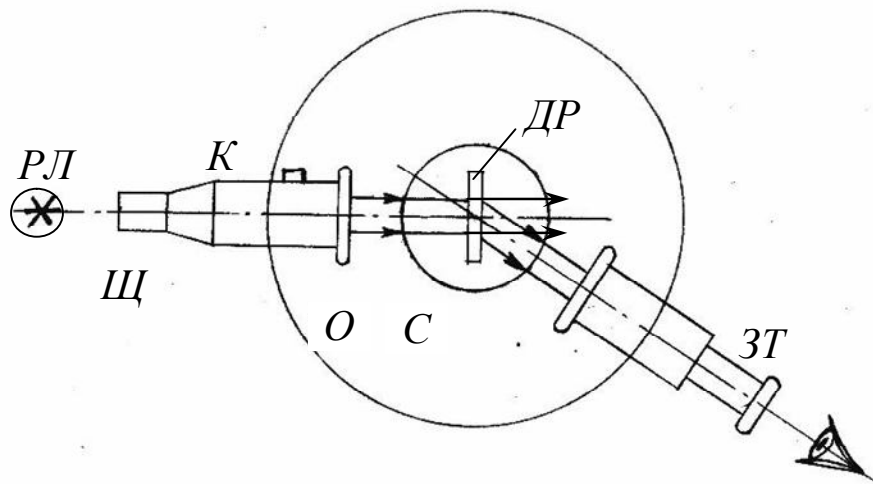
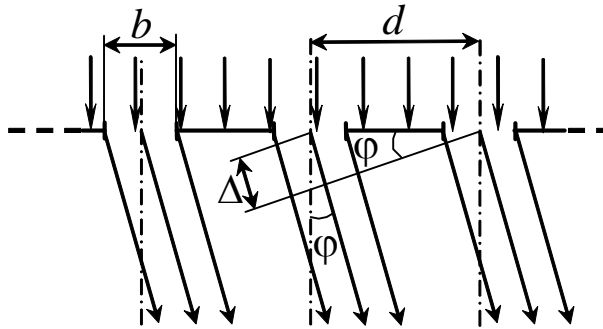


Рис. 4.1. Оптическая схема установки:

РЛ – ртутная лампа; *К* – коллиматор с входной щелью и объективом *О*; *С* – столик; *ДР* – дифракционная решетка; *ЗТ* – зрительная труба гониометра

ДР представляет собой пластинку с множеством параллельных узких щелей одинаковой ширины b , находящихся на расстоянии d друг от друга (рис. 4.2).

Расстояние между центрами соседних щелей d называется *постоянной* (или *периодом*) *ДР*. Пусть плоская монохроматическая волна длиной волны λ падает нормально к плоскости решетки.



Разность хода Δ лучей, идущих от двух соседних щелей, будет для данного направления φ одинакова в пределах всей *ДР*:

$$\Delta = d \sin \varphi. \quad (4.1)$$

Рис. 4.2. Дифракция монохроматического света при нормальном падении на решетку: b – ширина щели; d – постоянная решетки; Δ – разность хода смежных волн от соседних щелей φ – угол дифракции

Если она кратна целому числу волн, т. е. $\Delta = \pm k\lambda$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, то вторичные когерентные волны от разных щелей, проинтерферировав, усилят друг друга. Поэтому можно считать, что

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (4.2)$$

является условием наблюдения главных максимумов в дифракционной картине. Эта формула является основной при применении *ДР*. Измерив угол φ , соответствующий положению дифракционного максимума, можно, зная постоянную решетки d , определить длину волны.

Положение главных максимумов зависит от длины волны λ . Поэтому при пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($k = 0$), разложатся в спектр, фиолетовая область которого будет обращена к центру дифракционной картины, красная – наружу. Это свойство *ДР* используется для исследования спектрального состава света (определения длин волн и интенсивностей всех монохроматических компонентов), т. е. *ДР* может быть использована как спектральный прибор.

Основной характеристикой $ДР$ является ее *разрешающая способность*. Величина разрешающей способности R оценивается отношением [2]:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (4.3)$$

где $\Delta\lambda$ – минимальная разрешаемая разность длин волн для двух близких спектральных линий, наблюдаемых в спектральном приборе отдельно.

Теоретические расчеты показывают, что для спектрального прибора с $ДР$ разрешающая способность R равна:

$$R = kN, \quad (4.4)$$

где N – полное число щелей решетки; k – порядок спектра.

4.4. Порядок выполнения работы

4.4.1. Включите ртутную лампу тумблерами «Сеть» и «Лампа» и дайте ей прогреться 3–5 минут.

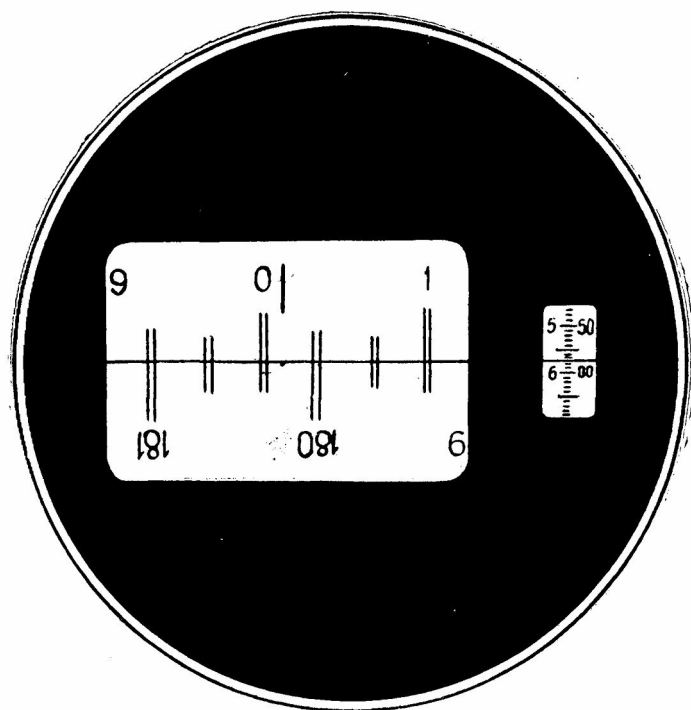


Рис. 4.3. Поле зрения шкал гониометра:

в левом окошке производят отсчет количества градусов и десятков угловых минут, в правом – единиц минут и секунд

4.4.2. Поставьте зрительную трубу соосно с коллиматором и перемещайте ее окуляр до тех пор, пока изображение щели не станет резким.

4.4.3. Поверните $ЗТ$ влево до совмещения с первым изображением щели (максимум первого порядка, $k = 1$, фиолетовая линия). При этом визирная линия должна точно совпадать с центром наблюдаемой линии.

4.4.4. Для определения угла φ нужно включить тумблер на левой стороне корпуса го-

ниометра и смотреть в нижний окуляр, через который видны шкалы гониометра.

Поле зрения отсчетных шкал гониометра приведено на рис. 4.3. В левом окне видны две шкалы: одна прямая, другая перевернутая. Здесь же имеется вертикальная линия для отсчета количества *градусов*. В правом окошечке видна горизонтальная линия и тоже две шкалы: левая – для отсчета количества *единиц* угловых минут, правая – *секунд*.

Чтобы снять показания угла по шкалам, нужно повернуть маховик, находящийся под зрительной трубой с правой стороны гониометра так, чтобы двойные штрихи прямой и перевернутой шкал точно совместились как на рис. 4.3. Число слева, ближайшее к вертикальной линии на прямой шкале, означает число *градусов*. Количество широких интервалов на шкалах от этого числа до перевернутого и отличающегося на 180 равно количеству *десятков минут*. Число *единиц минут* отсчитывается в правом окошечке по левому ряду чисел над горизонтальной линией. На рис. 4.3 показания шкал соответствуют углу $0^{\circ}15'57''$.

Произведите отсчет угла φ с точностью до 1'.

4.4.5. Поверните зрительную трубу далее влево до совмещения визирной линии окуляра с синей, голубой, яркой зеленой и двух желтых линий и произведите для них отсчет углов φ . Полученные значения углов занесите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты измерения углов дифракции и определения длины волны в ртутном спектре

| Цвет спектральных линий | $k = 1$ | | | Табличные значения λ нм |
|-------------------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|
| | φ | λ нм | $\Delta\lambda$ нм | |
| фиолетовый | | | | 404,7 |
| синий | | | | 435,8 |
| голубой | | | | 491,6 |
| зеленый | | | | 546,1 |
| желтый 1 | | | | 577,0 |
| желтый 2 | | | | 579,1 |

4.4.6. По формуле (4.2) вычислите длины волн спектральных линий и сравните их табличными значениями.

4.4.7. Измерьте ширину рабочей части DP и вычислите полное число ее щелей N .

4.4.8. По формуле (4.4) найдите теоретическую разрешающую способность решетки R .

4.4.9. Зная R и λ , с помощью формулы (4.3) определите минимальную разность длин волн $\Delta\lambda$ между спектральными линиями, которые могут наблюдаться еще раздельно. Сделайте это для всей спектральной области: от фиолетового света до желтого. Занесите значение $\Delta\lambda$ в табл.4.1.

4.4.10. Для желтых линий сравните полученное значение $\Delta\lambda$ с разностью их длин волн $\lambda_2 - \lambda_1$.

4.4.11. Сделайте вывод о характере дифракционной картины от ртутной лампы и о том, почему близкие желтые линии видны раздельно.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Зонная пластинка и киноформная линза

5.1. Цель работы: экспериментально изучить фокусирующее свойство киноформной линзы как зонной пластинки.

5.2. Подготовка к работе: ознакомиться с данным описанием лабораторной работы и изучить §§ 176, 177 в учебнике [1], § 40 в [2]. В результате подготовки нужно знать:

- а) принцип Гюйгенса – Френеля;
- б) формулу для радиуса внешней границы m -й зоны Френеля;
- в) принцип действия зонных пластинок – амплитудной и фазовой;
- г) преимущества киноформной линзы перед амплитудной зонной пластинкой;
- д) способы определения фокусного расстояния киноформной линзы.

5.3. Теоретическое введение

Зонная пластинка (ЗП) представляет собой экран с чередующимися прозрачными и непрозрачными кольцами – зонами

Френеля (рис. 5.1). В настоящее время ЗП относится к большому классу так называемых дифракционных оптических элементов (ДОЭ), работа которых основана на дифракции света. В ДОЭ входят дифракционные решетки для спектральных исследований, расщепители световых пучков, фокусаторы лазерного излучения, концентрирующие его в тонкие линии или в заданные области пространства и т. д.



Рис. 5.1. Вид зонной пластинки Френеля

ЗП по своему действию подобна линзе (точнее говоря, сразу нескольким линзам, «вложенным» в одну апертуру). Если направить на ЗП монохроматический свет с длиной волны λ от точечного источника, находящегося на расстоянии a от пластинки, то на экране, расположенном на расстоянии b , будет наблюдаться ярко освещенная точка – изображение источника. Это объясняется тем, что вторичные световые волны от соседних прозрачных зон Френеля придут в данное место с разностью хода в λ и усилят друг друга. Относительное расположение ЗП, источника и его изображения связаны с радиусами зон Френеля r_m и их номерами $m = 1, 2, 3, \dots$ известной формулой:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda}. \quad (5.1)$$

Ее нетрудно преобразовать к виду:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}, \quad (5.2)$$

где

$$F = \frac{r_m^2}{m \lambda}. \quad (5.3)$$

Формула (5.2) аналогична формуле тонкой линзы, и величину F можно считать фокусным расстоянием, а саму ЗП – дифракционной линзой. Характерной особенностью ЗП по сравнению с линзой является то, что фокусное расстояние F сильно зависит от длины волны (хроматизм). Фокусирующее действие ЗП будет наблюдаться и тогда, когда разность хода между лучами из

прозрачных зон равна 3λ , 5λ , ..., т. е. в каждом светлом кольце будет по 3, 5 и т. д. зон Френеля. Следовательно, для каждого монохроматического света ЗП имеет несколько фокусов. Это аналогично существованию максимумов различных порядков у дифракционных решеток. Правда, интенсивность света в фокусах высшего порядка сильно убывает с ростом номера порядка фокуса.

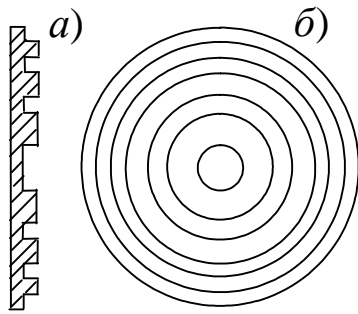


Рис. 5.2. Фазовая зонная пластинка: вид сбоку (а); вид прямо (б)

ЗП можно усовершенствовать, заставив «работать в фазе» четные и нечетные зоны Френеля. Для этого нужно каким-либо образом ввести для каждой четной зоны дополнительный фазовый набег, равный π . Можно изготовить профилированную (фазовую) ЗП, имеющую разную толщину четных и нечетных колец (рис. 5.2). В этом случае яркость изображения увеличится примерно в 4 раза. Еще лучше изготавливать ЗП, у которых фаза выходящей световой волны в пределах каждой зоны изменя-

ется *плавно*. Тогда устраняются вторичные фокусы и, как следствие этого, существенно повышается яркость в основном фокусе. Этой цели удовлетворяет ЗП с криволинейным (параболическим) профилем толщины зон, показанная на рис. 5.3. Такая ЗП, называемая *киноформной линзой* (КЛ), собирает *весь* падающий на нее свет в точку (точнее, в малой окрестности этой точки). Благодаря уникальным фокусирующим и абберационным свойствам эти плоские растровые линзы находят сегодня все более широкое применение практически во всех областях, где требуется оптика. Достаточно упомянуть приборы и устройства, рассчитанные на ла-

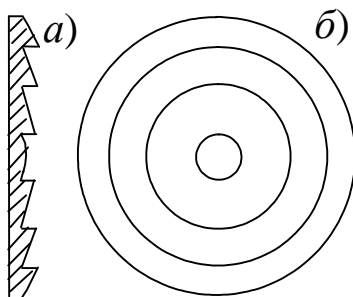


Рис. 5.3. Фазовая зонная пластинка с криволинейным профилем (киноформная линза): вид сбоку (а); вид прямо (б)

зерное излучение (например, головки для записи и считывания в

оптических приводах CD и DVD-форматов), объективы и окуляры для видимого и ИК-диапазонов, телескопы, микроскопы и фотоаппараты. Киноформные линзы используются в проекционной аппаратуре, прожекторах и автомобильных фарах.

5.4. Описание эксперимента

В данной работе используется киноформная линза, выштампованная из органического стекла так, что фазовый профиль ее зон близок к параболическому. Установка для исследования КЛ включает в себя светодиод в качестве источника монохроматического света, КЛ на подставке (рейтере) и экран, на котором наблюдают изображение светящегося светодиода. Измерения выполняются на оптической скамье, вдоль которой могут перемещаться рейтеры с киноформной линзой, экраном и светодиодом. Расстояния между деталями оптической системы измеряют с помощью рулетки. Наводка изображения на резкость производится на глаз. Чтобы уменьшить роль возникающих при этом неточностей, измерения в каждом случае рекомендуется выполнять несколько раз, а результаты – усреднять.

Фокусное расстояние КЛ можно определять различными способами [4].

Способ 1. F определяют, исходя из формулы (5.2). Для этого нужно измерить расстояния a от светодиода до КЛ и b от КЛ до его изображения на экране.

При измерениях на одном конце оптической скамьи устанавливают рейтер со светодиодом, на другом – рейтер с экраном. Перемещая КЛ вдоль скамьи, получают на экране четкое изображение светодиода, и с помощью рулетки отсчитывают расстояния a и b . Затем *изменяют* расстояние между светодиодом и экраном и вновь повторяют измерения. Рекомендуется три измерения выполнить при увеличенном и три – при уменьшенном изображении. Результаты измерений заносят в табл. 5.1 и по ним вычисляют фокусное расстояние F , его среднее значение $\langle F \rangle$ и абсолютную среднюю погрешность ΔF .

Полезно проверить полученные результаты. Для этого строят график, по осям которого отложены значения $1/a$ и $1/b$. Если результаты опыта описываются формулой (5.2), то все точки

должны лечь на прямую, отсекающую на обеих осях отрезки, равные $1/F$. По графику находят тоже среднее значение фокусного расстояния.

Таблица 5.1

Результаты измерений и определения фокусного расстояния КЛ способом 1

| № п/п | a | b | $1/a$ | $1/b$ | F_i | $\langle F \rangle$ | ΔF_i | $\langle \Delta F \rangle$ |
|----------|-----|-----|------------------|------------------|-------|---------------------|--------------|----------------------------|
| | см | см | см ⁻¹ | см ⁻¹ | см | см | см | см |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |

Способ 2. Пусть расстояние между светодиодом и экраном превышает $4F$. При этом всегда найдутся два таких положения КЛ, при которых на экране получают отчетливые изображения светодиода: в одном случае (I) – увеличенное, в другом (II) – уменьшенное (рис. 5.4).

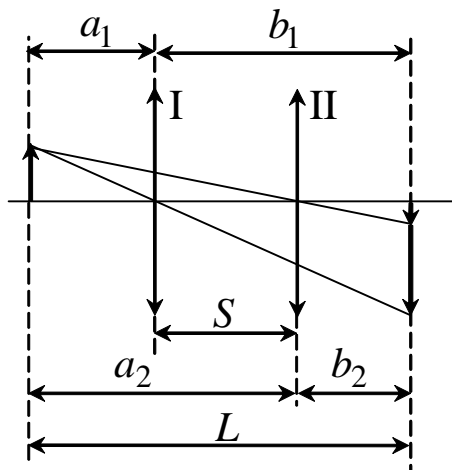


Рис. 5.4. Измерение фокусного расстояния киноформной линзы по методу «смещения»

Из соображений симметрии ясно, что $a_1 = b_2$ и $a_2 = b_1$. Обозначая расстояние между светодиодом и экраном через L , а расстояние между двумя положениями КЛ через S , получим $L = a_1 + b_1$ и $S = b_1 - b_2 = a_2 - a_1$. Отсюда

$$a_1 = \frac{L - S}{2} \quad \text{и} \quad b_1 = \frac{L + S}{2}. \quad (5.4)$$

Подставляя (5.4) в формулу (5.2), найдем после несложных преобразований:

$$F = \frac{L^2 - S^2}{4L}. \quad (5.5)$$

Таким образом, для определения фокусного расстояния достаточно измерить расстояние L между светодиодом и экраном и расстояние S между двумя положениями КЛ, при которых на эк-

ране получают четкие изображения. Опыт проводится при трех расстояниях L . Найденное при усреднении результатов фокусное расстояние следует сравнить с значением, полученным при измерениях первым способом.

Зная фокусное расстояние КЛ, можно по формуле (5.3) определить радиус ее первой зоны. Для киноформной линзы радиус первой зоны в $\sqrt{2}$ раз больше, чем для зонной пластинки, поскольку разность хода от краев двух соседних зон здесь λ , а не $\lambda/2$ как для ЗП. С учетом этого формула (5.3) дает для радиуса первой ($m = 1$) зоны выражение:

$$r_1 = \sqrt{2F\lambda}. \quad (5.6)$$

Таблица 5.2

*Результаты измерений фокусного расстояния КЛ
способом 2*

| № п/п | L | S | F_i | $\langle F \rangle$ | ΔF_i | $\langle \Delta F \rangle$ |
|-------|-----|-----|-------|---------------------|--------------|----------------------------|
| | см | см | см | см | см | см |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

При расчете по этой формуле нужно положить, что длина волны излучения светодиода равна $\lambda = 0,5$ мкм.

В выводе обсудить совпадение или расхождение результатов измерения фокусного расстояния киноформной линзы разными способами. Какой способ точнее?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Изучение закона Малюса

6.1. Цель работы: экспериментальная проверка закона Малюса.

6.2. Подготовка к работе: ознакомиться с данным описанием лабораторной работы и изучить § 190 в учебнике [1]. В результате подготовки нужно знать:

- а) отличие поляризованного света от естественного;
- б) способы преобразования естественного света в линейно-поляризованный;
- в) закон Малюса;
- г) устройство поляроидных пленок;
- д) ветровое стекло и фары автомашин покрыты поляроидными пленками. Как нужно расположить эти поляроиды, чтобы шофер мог видеть дорогу, освещенную светом своих фар, и не страдал от ослепляющего действия фар встречных машин?

6.3. Описание установки

Экспериментальная установка для изучения закона Малюса (рис. 6.1) состоит из источника поляризованного света (полупроводникового лазера Л), поворотного лимба А, на котором закреплена поляроидная пленка, служащая анализатором и фотоприемника Ф.

Вращая поворотный лимб, можно менять угол α между направлением поляризованного света и главной плоскостью анализатора. Свет, прошедший через анализатор, попадает на фотоприемник Ф, к которому подключен микроамперметр рА.

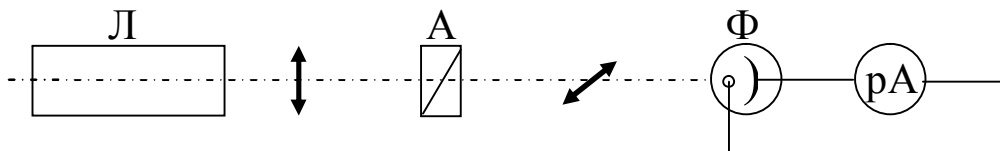


Рис. 6.1. Оптическая схема экспериментальной установки:

Л – полупроводниковый лазер с блоком питания;

А – анализатор в оправе с угловыми делениями;

Ф – фотоприемник; рА – микроамперметр

Сила фототока i в цепи фотоприемник – микроамперметр зависит от интенсивности падающего на фотоэлемент света I_a , т. е.

$$i = f(I_a).$$

Таким образом, задача изучения закона Малюса сводится к изучению зависимости

$$i = i_0 \cos^2 \alpha.$$

6.4. Теоретические положения

Свет представляет собой поперечную электромагнитную волну. Это означает, что векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитной индукции \vec{B} взаимно перпендикулярны и колеблются оба *перпендикулярно* вектору скорости распространения волны (перпендикулярно лучу). Опыт и теория показывают, что химическое, физиологическое и другие виды воздействия света на вещество обусловлены, главным образом, электрическими колебаниями. Поэтому, и также для упрощения рисунков, изображающих световую волну, мы будем иметь в виду только электрические колебания, а плоскость, в которой они совершаются, называть плоскостью поляризации.

Естественный свет представляет собой суммарное электромагнитное излучение множества атомов, которые излучают световые волны независимо друг от друга. Поэтому световая волна, излучаемая источником в целом, характеризуется всевозможными равновероятными колебаниями светового вектора \vec{E} (рис. 6.2, а). Равномерное распределение векторов \vec{E} объясняется большим числом атомарных излучателей, а равенство амплитудных значений векторов \vec{E} – одинаковой (в среднем) интенсивностью излучения каждого из атомов.

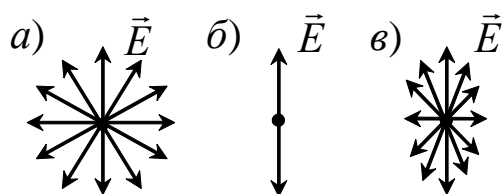


Рис. 6.2. Колебания электрического вектора в естественном (а), линейно-поляризованном (б) и частично-поляризованном (в) свете

Свет, у которого электрические колебания совершаются все время в одной и только одной плоскости, называется плоскополяризованным (линейно-поляризованным). Схематически плоскополяризованный свет изображен на рис. 6.2, б.

Если в результате каких-либо внешних воздействий появляется преимущественное (но не исключительное) направление колебаний вектора \vec{E} (рис. 6.2, в), то имеем дело с *частично* поляризованным светом.

Естественный свет можно преобразовать в плоскополяризованный, применяя так называемые поляризаторы, пропускающие колебания только определенного направления. В качестве поляризаторов могут быть использованы некоторые анизотропные кристаллы (исландский шпат, турмалин, герпатит). Свет поляризуется также при отражении от неметаллических зеркал. В настоящее время имеются источники излучения, испускающие сразу плоскополяризованный свет, – это лазеры.

Для определения степени поляризации света служат анализаторы. Пусть \vec{E}_p – амплитуда электрического вектора линейно-поляризованного света (рис. 6.3).

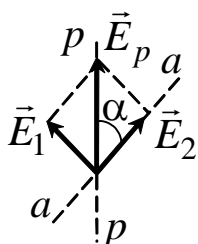


Рис. 6.3. Взаимное расположение главной плоскости анализатора $a-a$ и плоскости поляризации луча $p-p$

Пусть \vec{E}_2 – амплитуда электрического вектора линейно-поляризованного света (рис. 6.3). В анализаторе этот свет разложится на две волны, одна из которых поляризована в главной плоскости анализатора \vec{E}_2 , а другая \vec{E}_1 – в перпендикулярной этой плоскости. Амплитуды электрических векторов этих волн равны соответственно:

$$E_1 = E_p \sin \alpha \quad \text{и} \quad E_2 = E_p \cos \alpha .$$

Первая волна полностью поглотится в анализаторе, а вторая пройдет через него. Если анализатор абсолютно прозрачен для второй волны, то амплитуда электрического вектора E_a для света, прошедшего через анализатор, равна

$$E_a = E_2 = E_p \cos \alpha .$$

Так как интенсивность света пропорциональная квадрату амплитуды, то

$$I_a = I_p \cos^2 \alpha . \quad (6.1)$$

Формула (6.1) носит название *закона Малюса*. Из него следует, что интенсивность I_a поляризованного света максимальна, если плоскость колебаний вектора \vec{E}_p и главное направление

6.5.4. Поворачивая анализатор в гнезде, изменяйте угол α с шагом в 15° , пока ни сделаете полный оборот. Для каждого угла снимите показания i прибора, вычислите отношение i/i_0 и занесите в табл. 6.1.

6.5.5. По этим данным постройте график экспериментальной зависимости $i/i_0 = f(\alpha)$ в полярных координатах. Для этого на каждом координатном луче, проведенном из центра O под углом α , в выбранном масштабе отложите значения i/i_0 , соответствующие этому углу α . Точки соедините плавной кривой.

6.5.6. Постройте также график зависимости $i/i_0 = f(\cos^2 \alpha)$ в декартовой системе координат.

6.5.7. По виду этого графика сделайте вывод о справедливости закона Малюса; если есть отклонения от него, то объясните, с чем они связаны.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов. – 14-е изд. – Москва : Изд. центр «Академия», 2007. – 560 с.

2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для студентов физических специальностей вузов. В 5 т. Т. 4. Оптика. – 4-е изд., стереотип. – Москва : Наука, 2007. – 752 с.

3. Ахманов, С. А. Физическая оптика : учебник / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. – Москва : Изд. Моск. ун-та, 1998. – 656 с.

4. Ландсберг, Г. С. Оптика : учеб. пособие для студентов физических специальностей вузов. – 6-е изд., стереотип. – Москва : Физматлит, 2003. – 848 с.

5. Шредер, Г. Техническая оптика / Г. Шредер, Х. Трайберг. – Москва : Техносфера, 2006. – 422 с.

Составитель

Геннадий Иванович Зайцев

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Лабораторный практикум К-314.2
по дисциплине «Физика»
для технических специальностей и направлений

Рецензент В. В. Дырдин

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 24.02.2015. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Уч.-изд. л. 1,9. Тираж 24 экз. Заказ
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 а

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра физики

Составители
В. В. Дырдин
Т. В. Лавряшина
И. В. Цвеклинская

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лабораторный практикум К-303.3 по дисциплине
«Физика» для технических специальностей
и направлений**

Рекомендован учебно-методической комиссией направления
20.03.01 «Техносферная безопасность» в качестве электронного
издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

А. А. Мальшин – доцент кафедры физики

Л. А. Шевченко – председатель учебно-методической комиссии
направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Дырдин Валерий Васильевич

Лавряшина Таисия Васильевна

Цвеклинская Ирина Валентиновна

Электромагнетизм : лабораторный практикум К-303.3 по дисциплине «Физика» [Электронный ресурс] для технических специальностей и направлений / сост. : В. В. Дырдин, Т. В. Лавряшина, И. В. Цвеклинская. – Кемерово : КузГТУ, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; CD-ROM-дисковод ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведены программа курса, общие методические указания по подготовке и выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины «Физика»: «Электростатика», «Постоянный ток», «Магнитное поле», «Физика колебаний и волн», вопросы для самоподготовки, список рекомендуемой литературы.

© КузГТУ, 2016

© В. В. Дырдин, Т. В. Лавряшина,

И. В. Цвеклинская, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Разделы 4 «Электромагнетизм» и 5 «Физика колебаний и волн» дисциплины «Физика» рабочей программы направления подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность»..... | 3 |
| Общие методические указания | 4 |
| Электроизмерительные приборы | 6 |
| Лабораторная работа № 1 «Изучение электрического поля коаксиальных цилиндров» | 10 |
| Лабораторная работа № 2 «Определение характеристик электростатического поля методом зеркальных изображений».. | 15 |
| Лабораторная работа № 3 «Определение удельного сопротивления резистивного провода» | 20 |
| Лабораторная работа № 4 «Определение сопротивления методом амперметра – вольтметра» | 26 |
| Лабораторная работа № 5 «Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли» | 32 |
| Лабораторная работа № 6 «Определение индуктивности катушки»..... | 38 |
| Вопросы для самоподготовки..... | 44 |
| Список рекомендуемой литературы..... | 47 |

Разделы 4 «Электромагнетизм» и 5 «Физика колебаний и волн» дисциплины «Физика» рабочей программы направления подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность»

4. Электростатика и электромагнетизм

4.1. Теорема Остроградского – Гаусса.

4.1.1. Закон Кулона. Напряженность и потенциал электростатического поля. Поток вектора напряженности электростатического поля.

4.2.1. Электрическое поле в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Объемные и поверхностные заряды. Емкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля.

4.3. Постоянный электрический ток. ЭДС. Обобщенный закон Ома.

4.3.1. Классическая теория электропроводности металлов. Сторонние электродвижущие силы. Законы Ома и Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.

4.3.2. Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Сила Лоренца. Закон Ампера. Магнитный поток. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

4.3.3. Методы расчета магнитных полей. Закон Био – Савара – Лапласа. Магнитное поле в веществе. Напряженность магнитного поля. Диа-, пара- и ферромагнетики. Домены. Магнитострикция. Эффект Баркгаузена.

4.3.4. Явление электромагнитной индукции. Основной закон электромагнитной индукции. Самоиндукция, индуктивность.

5. Физика колебаний и волн

5.1. Электромагнитные колебания.

5.1.1. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Способы изображения гармонических колебаний. Сложение. Вынужденные колебания. Электрический колебательный контур.

Общие методические указания

Электродинамика – это раздел физики, в котором изучаются свойства электромагнитного поля и электромагнитные процессы в различных средах.

В результате освоения раздела «Электромагнетизм» обучающийся должен:

– **знать:**

- законы электростатики и электромагнетизма;
- физический смысл и математическую запись основных физических законов;

– **уметь:**

- анализировать физические явления, происходящие в природе и различных устройствах;
- выполнять необходимые расчеты и определять параметры процессов;

– **владеть:**

- современными методами решения физических задач и измерения параметров различных процессов в технических устройствах и системах.

В лабораторный практикум К-303.3 включены лабораторные работы по разделу физики «Электромагнетизм», предусмотренные Государственным образовательным стандартом и рабочей программой дисциплины «Физика» для студентов технических специальностей и направлений.

При выполнении лабораторного практикума студент не только получает элементарные навыки проведения эксперимента, но и учится самостоятельно анализировать физические явления, сопоставлять выводы теории и экспериментальные результаты, выделять главное, понимать роль идеализации, рассчитывать погрешности измерений.

Рекомендации студентам по организации самостоятельной работы в учебных лабораториях включают следующие положения:

1. На каждое занятие согласно графику выполнения лабораторных работ студент должен приходиться подготовленным. На самостоятельную работу студентам по учебному плану отводится более 50 % от объема часов, отводимых для изучения дисциплины,

в том числе на подготовку к выполнению каждой лабораторной работы около 4 часов.

2. Подготовка включает изучение содержания лабораторной работы, проработку теоретического материала по учебникам и учебным пособиям для самостоятельной работы, заготовку краткого конспекта отчета предстоящей работы. Конспект отчета содержит название и цель работы, рисунок установки, поясняющий идею метода, электрическую схему, рабочие формулы и таблицы для занесения в них измеряемых и вычисляемых величин. Конспект отчета может быть выполнен как в рукописном, так и в электронном варианте.

3. Для выполнения работы необходимо получить допуск, объяснив суть используемого метода, устройство установки, электрическую схему, уметь определять цену деления измерительного прибора, знать последовательность измерений, уметь обрабатывать результаты измерений, оценивать погрешность прямых и косвенных измерений, знать алгоритм вычислений искомых величин и их погрешностей, а также ожидаемый характер исследуемых зависимостей.

4. Результаты эксперимента и отчет, содержащий вывод о проделанной работе, подписываются преподавателем.

Электроизмерительные приборы

1. Системы электроизмерительных приборов

Электроизмерительным прибором называется устройство, служащее для измерения электрических величин. По принципу действия электроизмерительные приборы относят к системам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Системы электроизмерительных приборов

| Наименование системы | Условные обозначения | Род тока | Приборы данной системы |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Магнитоэлектрическая* |  | Постоянный | Гальванометры, миллиамперметры, милливольтметры, регистрирующие приборы. |
| Электромагнитная** |  | Постоянный и переменный | Щитовые амперметры и вольтметры, фазометры. |
| Электродинамическая*** |  | Постоянный и переменный | Миллиамперметры переменного тока, переносные амперметры и вольтметры, ваттметры. |
| Электродинамическая со сталью (ферродинамическая) |  | Переменный | Регистрирующие: амперметры, вольтметры и ваттметры переменного тока. |
| Индукционная |  | Переменный | Счетчики электрической энергии. |
| Вибрационная |  | Переменный | Герцметры в цепях переменного тока технической частоты |
| Электростатическая |  | Постоянный и переменный | Вольтметры и киловольтметры постоянного и переменного тока. |









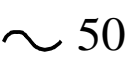

* – самые чувствительные из всех систем, самые точные приборы постоянного тока. Шкала прибора – равномерная.

** – самые прочные и дешевые. Относительно низкая чувствительность. Шкала прибора – неравномерная.

*** – самые точные из приборов переменного тока. Шкала неравномерная. Рабочая часть начинается от 15–20 % шкалы.

Условные обозначения на шкалах приборов приведены в табл. 2.

*Условные обозначения, применяемые на шкалах
электроизмерительных приборов*

| Условное обозначение | Содержание обозначения | Условное обозначение | Содержание обозначения |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1,5 | Класс точности прибора 1,5 |  | Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ |
|  | Выпрямительный преобразователь |  | Прибор нормально работает в вертикальном положении |
|  | Прибор предназначен для работы в цепях постоянного тока |  | Прибор нормально работает в горизонтальном положении |
|  | Переменный однофазный ток |  | Прибор нормально работает под углом 60° |
|  | Трехфазный ток |  | Зажим для заземления |
|  | Прибор нормально работает при частоте 50 Гц |  | Вторая категория защищенности прибора от влияния внешних магнитных полей |

2. Погрешности электроизмерительных приборов

2.1. Класс точности прибора

Класс точности прибора (γ) определяет приведенная относительная погрешность $\varepsilon_{пр}$, выраженная в процентах. Применяются следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Обозначение класса точности записывается на его шкале в виде соответствующих цифр (табл. 2). Иногда класс точности обозначается числом в кружке. Приборы класса точности 0,05 дают наименьшую относительную погрешность измерения и употребляются в точных лабораторных исследованиях, а также как образцовые приборы для проверки менее точных приборов. Приборы остальных классов 0,1–4 относятся к техническим приборам.

2.2. Относительная и абсолютная погрешности измерения

Относительная погрешность ε измерения определяется по классу точности γ прибора:

$$\varepsilon = \gamma \frac{X_{пред}}{X} \%, \quad (1.1)$$

где X – показания прибора.

Общая формула для расчета минимальной абсолютной погрешности имеет вид

$$\Delta X_{\text{приб}} = \frac{\gamma}{100} X_{\text{max}}, \quad (1.2)$$

где γ – класс точности прибора; X_{max} – верхний предел измерений прибора.

Следовательно, чем ближе измеряемая величина к предельному значению прибора, тем меньше относительная ошибка и тем она ближе к значению класса точности прибора. Электроизмерительный прибор или его предел следует для работы выбирать так, чтобы значение измеряемой величины было близким к предельному (наибольшему) значению шкалы прибора.

2.3. Внутреннее сопротивление прибора

Важнейшей характеристикой измерительного прибора является его внутреннее сопротивление, определяемое как

$$R_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{max}}}{I_{\text{max}}}, \quad (1.3)$$

где U_{max} – максимальное падение напряжения на приборе; I_{max} – максимальное допустимое значение силы тока, протекающего через прибор.

3. Многопредельные электроизмерительные приборы

Через измерительный механизм рассмотренных выше электроизмерительных приборов, особенно магнитоэлектрической системы, можно пропускать очень слабый ток. Однако прибор можно использовать для измерения больших токов, если параллельно измерительному механизму подключить дополнительное малое сопротивление, которое называют шунтом. Шунты изготавливаются из материала с малым температурным коэффициентом сопротивления, имеют форму спиралей, лент или стержней. Если к прибору подключить несколько шунтов, то это даст возможность иметь несколько пределов измерения силы тока. Такой прибор называется многопредельным амперметром. Многопредельный прибор, как правило, имеет переключатель на несколько пределов измерения (пределы указаны около ручки переключения), одну общую клем-

му * и ряд других клемм ("1, 2, ..."), около которых указаны пределы измерений.

Если последовательно с измерительным механизмом подключить добавочное большое сопротивление, то прибор может быть использован в качестве вольтметра – прибора для измерения напряжения. Вольтметр в электрическую цепь включается параллельно тому участку, на котором измеряется напряжение.

4. Правила пользования многопредельным прибором

Для сохранения целостности и работоспособности многопредельного электроизмерительного прибора, например, амперметра при включении его в электрическую цепь с неизвестной силой тока следует придерживаться следующих правил.

1. С помощью переключателя установки пределов устанавливается максимальный предел на приборе.

2. Если при замыкании цепи отклонение стрелки амперметра будет незначительным, нужно последовательно уменьшать пределы измерения до тех пор, пока отклонение стрелки не окажется в правой части шкалы, где точность измерения будет больше (погрешность меньше).

3. Для выбранного предела определяют цену одного деления шкалы прибора

$$Z = X_{\max} / m, \quad (1.4)$$

где Z – цена одного деления шкалы амперметра для выбранного предела измерений; m – число всех делений шкалы прибора; X_{\max} – максимальное значение измеряемой величины, которое может быть измерено на выбранном пределе измерения.

4. Измеряемая величина вычисляется

$$X = Zk, \quad (1.5)$$

где k – деление шкалы прибора, на которое отклонится стрелка при включении прибора в электрическую цепь.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Изучение электрического поля коаксиальных цилиндров

1. Цель работы: освоить экспериментальный метод определения характеристик электрических полей и их графического изображения с помощью эквипотенциальных и силовых линий.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 79–82, 85, 86; [2] 13.3, 13.4, 14.1, 14.2; [3] §§ 4–9; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.1–4.12.

Для выполнения работы студент должен *знать*: а) определение напряженности и потенциала электростатического поля; б) принцип суперпозиции электростатических полей; в) теорему Гаусса и ее применение для расчета напряженности электростатического поля, созданного заряженным цилиндром (нитью); г) связь между вектором напряженности и градиентом потенциала. *Уметь*: а) строить эквипотенциальные поверхности и линии напряженности; б) пользоваться измерительными приборами; в) определять цену деления измерительных приборов.

3. Выполнение работы**3.1. Описание лабораторной установки**

Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой измерительную кювету К, выполненную из оргстекла, в которую помещают металлические электроды \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Напряжение подается от источника переменного тока ИП, его величина определяется вольтметром V.

Для изучения распределения потенциалов в электростатическом поле используется метод зондов. Для этого в исследуемую точку поля, создаваемого заряженными проводниками (электродами), вводят дополнительный электрод (зонд З), соединенный с электронным осциллографом ЭО. Помещая зонд в точки с определенными координатами, с помощью электронного осциллографа определяют потенциал этих точек относительно одного из электродов (на рис. 1 относительно электрода \mathcal{E}_1).

На практике модель электростатического поля заменяют более удобной моделью электрического поля постоянного тока в

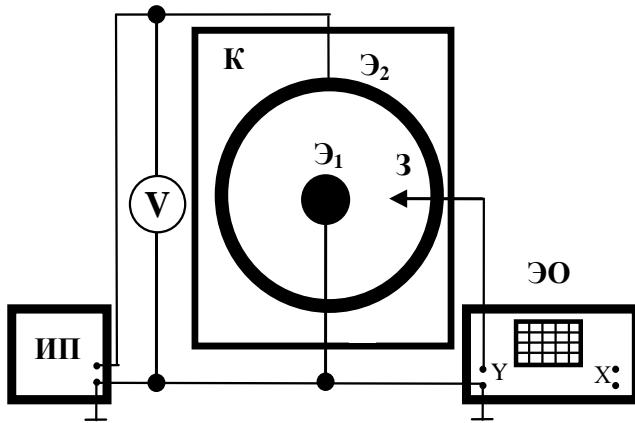


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

проводящей среде между электродами. Для создания такой модели пространство между электродами заполняют слабо проводящей жидкостью.

Поле постоянного тока в среде имеет практически такую же конфигурацию, что и электростатическое поле в непроводящей среде: оба поля потенциальны, а их линии

напряженности перпендикулярны поверхностям заряженных проводников. В данной работе на электроды подается переменное напряжение промышленной частоты (50 Гц), знак заряда на них изменяется со временем, и ток не является стационарным. Однако, если длина электромагнитной волны в электролите велика по сравнению с линейными размерами самой кюветы, то можно считать условие стационарности тока выполненным. Тогда потенциалы во всех точках исследуемого поля изменяются синхронно, и эквипотенциальные поверхности остаются неизменными.

3.2. Электрическое поле коаксиальных цилиндров

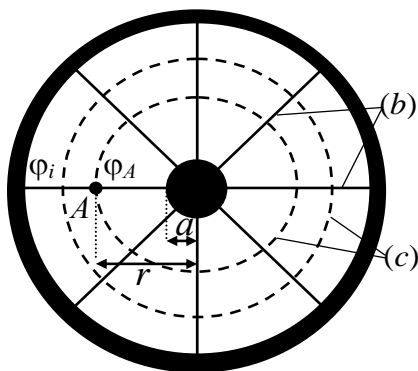


Рис. 2. Силовые (b) и эквипотенциальные (c) линии электрического поля заряженных цилиндров

В работе исследуется электрическое поле заряженных коаксиальных (соосных) цилиндров, имеющее осевую симметрию (рис. 2). Согласно теореме Гаусса напряженность E поля в области между коаксиальными цилиндрами определяется только зарядом цилиндра радиуса a :

$$E = \frac{\tau}{2\pi r \epsilon_0},$$

где τ — линейная плотность заряда цилиндра (нити); r — расстояние от центра цилиндра до исследуемой точки A поля; ϵ_0 — электрическая постоянная.

Учитывая связь проекции E_r вектора напряженности и разности потенциалов $d\varphi$ двух точек поля, находящихся на расстоянии dr , получим:

$$E_r = -\frac{d\varphi}{dr} \quad \text{и} \quad \int_0^{\varphi(r)} d\varphi = -\int_a^r E_r dr = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \int_a^r \frac{dr}{r}.$$

Так как рассматриваемый заряженный цилиндр – металлический, то все его точки внутри и на поверхности имеют один и тот же потенциал $\varphi_0 = 0$. Следовательно, потенциал $\varphi(r)$ на расстоянии r от оси:

$$\varphi(r) = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{a}.$$

Из полученного соотношения следует, что эквипотенциальные поверхности поля цилиндра (двух коаксиальных цилиндров) – цилиндрические поверхности, соосные с металлическим цилиндром. Цилиндрические поверхности на плоскости изображаются эквипотенциальными (c) линиями (рис. 2).

3.3. Методика измерений и расчета

3.3.1. Измерить штангенциркулем диаметр малого цилиндра и внутренний диаметр большого цилиндра. Рассчитать радиус a малого и внутренний радиус R большого цилиндра. Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов параметров установки

| Радиус малого цилиндра a , м | Внутренний радиус большого цилиндра R , м | Напряжение U , В | Цена деления осциллографа Z , В/дел |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|
| | | | |

3.3.2. Подготовить лист миллиметровой бумаги: поместить цилиндр (\mathcal{E}_1) малого радиуса в центр координатной сетки, второй цилиндр (\mathcal{E}_2) установить соосно с первым, отметить на листе положение электродов и координатных осей.

3.3.3. Собрать электрическую схему (изображена на установке).

3.3.4. Положить на дно кюветы подготовленный лист миллиметровой бумаги, смочить его водой и разместить на нем цилиндры.

3.3.5. Подать напряжение на электроды, измерить падение напряжения U между электродом \mathcal{E}_1 и точкой вблизи внутренней поверхности электрода \mathcal{E}_2 . Результаты занести в табл. 1.

3.3.6. Включить осциллограф ЭО и после его прогрева определить цену деления Z шкалы осциллографа. Для этого выключить развёртку осциллографа, зонд Z поставить на электрод \mathcal{E}_2 и, выбирая усиление осциллографа по Y , установить максимальный размах сигнала по вертикали. Зная величину поданного на электроды напряжения U , определить цену деления шкалы осциллографа при выбранном режиме работы прибора по формуле (1.4).

3.3.7. Поместить зонд в точку, находящуюся на минимальном расстоянии от малого электрода (рис. 2). Записать показания k_i электронного осциллографа в делениях шкалы и расстояние r_i в табл. 2. Отметить на рисунке точку с найденным значением потенциала φ_i .

Таблица 2

Результаты расчета характеристик электрического поля двух коаксиальных цилиндров

| № п/п | a , м | k_i , дел | r_i , м | φ_i , В | $\ln(r_i/a)$ |
|-------|---------|-------------|-----------|-----------------|--------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| ... | | | | | |

3.3.8. С помощью зонда найти положение еще 8–10 точек с тем же значением потенциала φ_i . Отметить их положение на миллиметровой бумаге.

3.3.9. Изменяя положение зонда (например, по оси X), повторить измерения для других расстояний. Занести соответствующие данные в табл. 2.

3.3.10. Выключить установку, разобрать электрическую схему, убрать из кюветы цилиндры и миллиметровую бумагу.

3.3.11. После высыхания бумаги соединить линиями на рисунке точки с одинаковым значением потенциала φ_i (эквипотен-

циальные линии) и провести линии напряженности E электрического поля, перпендикулярные к эквипотенциальным линиям.

3.3.12. Используя соотношение (1.5) $\varphi_i = Z k_i$, рассчитать значения потенциалов φ_i точек исследуемого поля и натуральный логарифм отношения (r_i/a) . Результаты расчетов занести в табл. 2. Построить график зависимости $\varphi(r) = f(\ln(r/a))$.

3.3.13. Рассчитать напряженность поля в исследуемых точках, используя метод численного дифференцирования. Для каждой последовательной пары точек, начиная с точки на поверхности малого цилиндра, рассчитать расстояние $\Delta r = r_{i+1} - r_i$ между соседними точками и разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_{i+1}$ соседних точек поля. Определить среднее значение $\langle E \rangle$ напряженности точек электрического поля, используя соотношение:

$$\langle E \rangle = \frac{\Delta\varphi}{\Delta r}.$$

Это значение напряженности следует отнести к середине $\langle r \rangle$ выбранного интервала

$$\langle r \rangle = \frac{r_i + r_{i+1}}{2}.$$

Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета напряженности электрического поля между электродами методом численного дифференцирования

| r_i , м | r_{i+1} , м | Δr , м | φ_i , В | φ_{i+1} , В | $\Delta\varphi$, В | $\langle E \rangle$, В/м | $\langle r \rangle$, м |
|--------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |

3.3.14. Построить график зависимости $\langle E \rangle = f(\langle r \rangle)$. Сделать вывод.

К отчету приложить рисунок эквипотенциальных линий с указанием значения потенциала φ_i и линий напряженности исследуемого электрического поля, проведенных с учетом их ортогональности к эквипотенциальным линиям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение характеристик электростатического поля методом зеркальных изображений

1. Цель работы: освоить экспериментальный метод определения характеристик электростатических полей и их графического изображения с помощью эквипотенциальных и силовых линий.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 79–82, 85, 86; [2] 13.3, 13.4, 14.1, 14.2; [3] §§ 4–9; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.1–4.12.

Для выполнения работы студент должен *знать*: а) определение напряженности и потенциала электростатического поля; б) принцип суперпозиции электростатических полей; в) теорему Гаусса и ее применение для расчета напряженности электростатического поля, созданного заряженным цилиндром (нитью); г) связь между вектором напряженности и градиентом потенциала; д) метод зеркальных изображений. *Уметь*: а) строить эквипотенциальные поверхности и линии напряженности; б) пользоваться измерительными приборами; в) определять цену деления измерительных приборов; г) рассчитывать погрешности измерений.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой измерительную кювету К, в которую помещают металлические электроды Э₁ и Э₂. Напряжение подается от источника постоянного тока ИП, его величина определяется мультиметром рV.

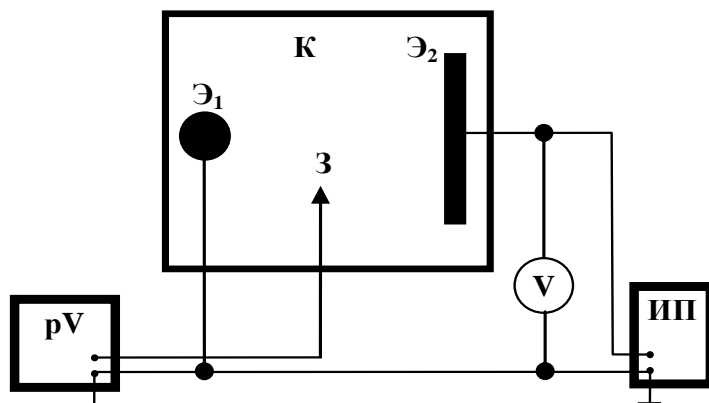


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

его величина определяется мультиметром рV.

Для изучения распределения потенциала в электростатическом поле используется метод зондов. Для этого в исследуемую точку поля, создаваемого заряженными проводниками (электро-

дами), вводят дополнительный электрод (зонд 3), соединенный с прибором, измеряющим приобретенный зондом потенциал относительно какой-либо точки поля, выбранной за начало отсчета потенциала.

Пространство между электродами \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 заполняют слабо проводящей жидкостью. Поле постоянного тока в среде имеет практически такую же конфигурацию, что и электростатическое поле в непроводящей среде: оба поля потенциальны, а линии напряженности перпендикулярны поверхностям заряженных проводников. В поле между электродами помещается зонд 3, соединенный с мультиметром. Помещая зонд в точки с определенными координатами x и y , с помощью измерительного прибора определяют потенциал этих точек относительно одного из электродов (на рис. 1 относительно электрода \mathcal{E}_1).

3.2. Метод зеркальных изображений

Метод зеркальных изображений (метод отображений) применяют для расчета электростатических полей, ограниченных какой-либо проводящей поверхностью, например, проводящей плоскостью (ПП).

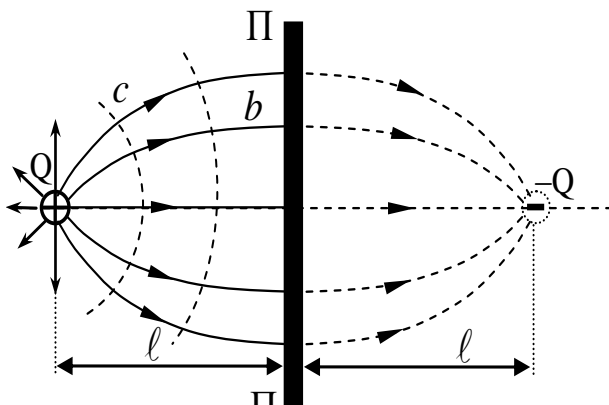


Рис. 2. К методу зеркальных изображений:

b – линии напряженности;
 c – эквипотенциальные линии

В этом искусственном приеме расчета кроме заданного заряда Q вводят еще дополнительный заряд $-Q$, помещенный там, где находится зеркальное (в геометрическом смысле) изображение заданного заряда Q (рис. 2). Силовые линии (b) электростатического поля перпендикулярны к поверхности металлических электродов, эквипотенциальные поверхности (линии c в плоскости чертежа) представляют собой окружности (рис. 2). Центры этих окружностей лежат на линии, соединяющей заряды, и смещены относительно точки расположения заряда Q .

Используя метод зеркальных изображений, вместо поля цилиндра O и проводящей плоскости ПП (рис. 3) можно рассматривать поле двух разноименно заряженных цилиндров O и O' . Один – данный цилиндр, заряженный с линейной плотностью заряда τ ,

второй – заряжен с линейной плотностью $(-\tau)$ и расположен симметрично положительно заряженному цилиндру относительно проводящей плоскости ПП.

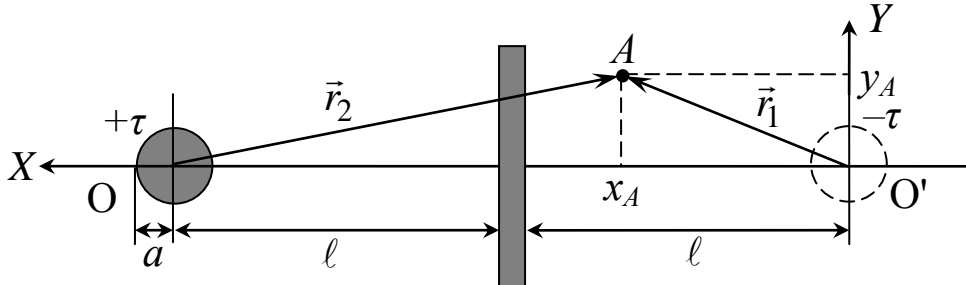


Рис. 3. К расчету потенциала точки электростатического поля методом зеркальных изображений

Согласно принципу суперпозиции электрических полей вектор напряженности результирующего поля в точке A определяется соотношением:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Для определения потенциала поля в произвольной точке A учтем связь между напряженностью электростатического поля и разностью потенциалов

$$E_A = -\frac{d\varphi}{dr},$$

а также формулу для расчета напряженности поля, созданного заряженным цилиндром

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}.$$

Тогда соотношение для потенциала поля в точке A получим в виде:

$$\int_0^{\varphi(r)} d\varphi = \int_a^{r_1} E_1 dr - \int_a^{r_2} E_2 dr = \frac{|\tau|}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{a} - \frac{|\tau|}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{a},$$

где r_1 и r_2 расстояния до точки A от зеркального отображения заряженного цилиндра и самого заряженного цилиндра.

Эти расстояния через координаты точки x_A и y_A точки A запишем в виде:

$$r_1 = \sqrt{(2\ell - x_A)^2 + y_A^2} \quad \text{и} \quad r_2 = \sqrt{x_A^2 + y_A^2},$$

где 2ℓ – расстояние между заряженным цилиндром и его зеркальным изображением.

Следовательно, потенциал $\varphi(r)$ любой точки электростатического поля можно рассчитать, используя соотношение:

$$\varphi(r) = \frac{|\tau|}{2\pi\epsilon_0} \left(\ln \frac{\sqrt{(2\ell - x)^2 + y^2}}{a} - \ln \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{a} \right).$$

С учетом разности потенциалов U между электродами получим соотношение для расчета теоретического значения потенциала выбранной точки электростатического поля:

$$\varphi^{\text{теор}} = U \left(1 - \frac{\ln \frac{\sqrt{(2\ell - x)^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2}}}{\ln \frac{2\ell - a}{a}} \right). \quad (1)$$

3.3. Методика измерений и расчета

3.3.1. Измерить диаметр цилиндра, рассчитать его радиус a . Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений параметров установки

| Радиус цилиндра a , м | Расстояние от центра цилиндра до плоскости ℓ , м | Напряжение U , В |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|
| | | |

3.3.2. Подготовить лист миллиметровой бумаги: разместить цилиндр (\mathcal{E}_1) и плоскость (\mathcal{E}_2) на расстоянии ℓ друг от друга, отметить их положение и координатные оси X и Y .

3.3.3. Собрать электрическую схему для измерений (приведена на установке).

3.3.4. Положить на дно кюветы подготовленный лист миллиметровой бумаги, смочить его водой и разместить на нем электроды.

3.3.5. Подать напряжение U на электроды, измерить падение напряжения U между электродом \mathcal{E}_1 и точкой вблизи поверхности электрода \mathcal{E}_2 , его значение занести в табл. 1.

3.3.6. Поместить зонд в точку 1 с координатами $(x, 0)$, находящуюся на выбранной оси координатной сетки. Записать показания $\varphi^{\text{экс}}$ мультиметра (pV) и начальные координаты точки в табл. 2. Отметить на рисунке точку с измеренным значением потенциала. С помощью зонда найти положение еще 8–10 точек с тем же значением потенциала $\varphi^{\text{экс}}$. Провести измерения и для других точек с координатами (x, y) , находящихся между электродами.

Таблица 2

*Результаты расчета электрического поля
между цилиндром и проводящей плоскостью*

| № п/п | $x, \text{ м}$ | $y, \text{ м}$ | $\varphi^{\text{экс}}, \text{ В}$ | $\varphi^{\text{теор}}, \text{ В}$ | $\varepsilon, \%$ |
|----------|----------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | | 0 | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| ... | | | | | |

3.3.7. Для значений U, a, ℓ и (x, y) рассчитать теоретическое значение потенциала $\varphi^{\text{теор}}$ для точек исследуемого поля по соотношению (1) и погрешность сравнения экспериментального и теоретического значений этих величин:

$$\varepsilon = \frac{|\varphi^{\text{теор}} - \varphi^{\text{экс}}|}{\varphi^{\text{теор}}} \cdot 100\%.$$

4. Сделать вывод о соответствии теории и эксперимента.

К отчету приложить рисунок эквипотенциальных линий с указанием значения потенциала φ_i и линий напряженности исследуемого электрического поля с указанием их направления. При построении линий напряженности учесть их ортогональность эквипотенциальным линиям.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Определение удельного сопротивления резистивного провода

1. Цель работы: освоить экспериментальный метод определения удельного сопротивления проводника цилиндрической формы.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 96–98, 100, 101; [2] 18.1, 19.1, 19.3; [3] §§ 24–27; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.13–4.20.

Для выполнения работы студент должен *знать*: а) определение электрического тока и его характеристики; б) закон Ома в локальной и интегральной форме записи для однородного и неоднородного участка электрической цепи; в) физическую сущность сопротивления проводника. *Уметь*: а) пользоваться электроизмерительными приборами; б) определять цену деления измерительных приборов; в) рассчитывать погрешности при электрических измерениях.

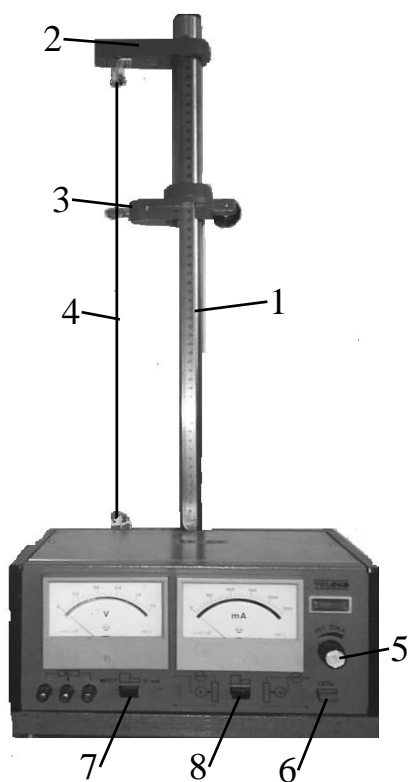


Рис.1. Общий вид установки

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Общий вид установки представлен на рис. 1. Основание оснащено регулируемыми винтами, которые позволяют произвести выравнивание положения прибора. К основанию прикреплена стойка 1 с нанесённой метрической шкалой. На стойке смонтированы неподвижный кронштейн 2 и подвижный – 3, который можно перемещать и фиксировать в любом положении. Между кронштейнами натянут металлический провод 4, который прикреплён к зажимам с помощью винтов. Через контакт на подвижном кронштейне обеспечи-

вается хорошее соединение с проводом. Измерительная часть установки находится в корпусе, укрепленном на основании установки. На панели прибора закреплены вольтметр V и миллиамперметр mA .

3.2. Методика измерений и расчёта

Сопротивление проводника в данной работе измеряется методом амперметра – вольтметра. В схеме измерения (I) показание вольтметра U_V равно сумме напряжений на неизвестном сопротивлении U_X и на амперметре U_A (рис. 2):

$$U_V = U_X + U_A = U_X + I_A \cdot R_A,$$

где R_A – сопротивление амперметра.

Согласно закону Ома для однородного участка цепи неизвестное сопротивление определяется соотношением:

$$R_{X(I)} = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A. \quad (1)$$

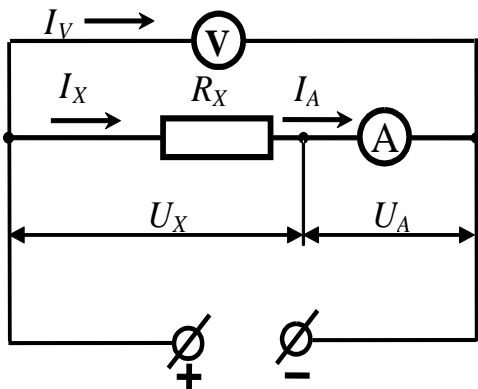


Рис. 2. Электрическая схема для измерения сопротивления по схеме (I)

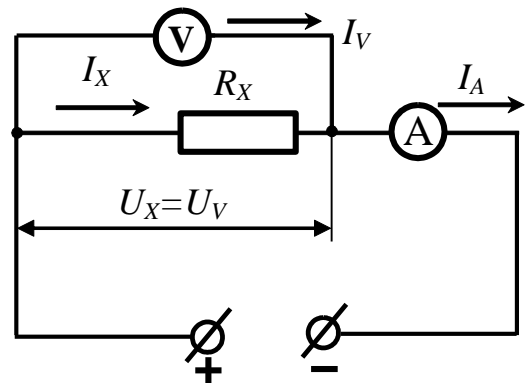


Рис. 3. Электрическая схема для измерения сопротивления по схеме (II)

В схеме (II) амперметр измеряет ток I_A , равный сумме токов I_X и I_V , протекающих через сопротивление и вольтметр (рис. 3):

$$I_A = I_X + I_V = I_X + \frac{U_V}{R_V},$$

где R_V – сопротивление вольтметра.

В этом случае неизвестное сопротивление определяется соотношением:

$$R_{X(II)} = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_X}{I_A - I_V} = \frac{U_X}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}. \quad (2)$$

В расчетные соотношения для определения неизвестного сопротивления (1) и (2) входит либо сопротивление амперметра R_A , либо сопротивление вольтметра R_V .

3.3. Погрешности измерений

Без учета погрешностей измерительных приборов неизвестное сопротивление рассчитывают по упрощённой формуле:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A}. \quad (3)$$

При этом возникает относительная методическая погрешность измерения ε , равная:

$$\varepsilon = \frac{|R_X - R'_X|}{R_X} \cdot 100\%,$$

где R_X – истинное значение измеряемого сопротивления по схемам (I) и (II).

Относительная методическая погрешность измерения сопротивления по указанным схемам определится соотношениями:

$$\varepsilon_{(I)} = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100\% \quad \text{и} \quad \varepsilon_{(II)} = \frac{R_X}{R_X + R_V} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_X}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Следовательно, схему (I) можно использовать, когда измеряемые сопротивления во много раз меньше сопротивления вольтметра ($R_X \ll R_V$), а схему (II), когда измеряемые сопротивления во много раз больше сопротивления амперметра ($R_X \gg R_A$). Однако рассмотренный метод не обеспечивает высокой точности, так как погрешность измерения сопротивления этим методом всегда больше суммы *приведённых погрешностей* обоих приборов.

3.4. Определение параметров измерительных приборов

3.4.1. По шкале приборов определить класс их точности γ и предельные значения измеряемых величин $X_{\text{пред}}$.

3.4.2. Рассчитать цену деления приборов. Результаты занести в табл. 1.

Параметры измерительных приборов

| Параметры приборов | Вольтметр | Амперметр |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Класс точности, γ | | |
| Предел измерения, $X_{пр}$ | | |
| Цена деления | | |
| Внутреннее сопротивление, Ом | 2500 | 0,15 |

3.5. Определение сопротивления провода по схеме (I)

3.5.1. Поставить подвижный кронштейн 3 так, чтобы рабочая длина провода была не менее 60–70 см.

3.5.2. Подключить прибор к сети переменного напряжения 220 В. Электрическая схема прибора обеспечивает преобразование переменного напряжения сети в постоянное, которое через потенциометр 5 подаётся в измерительную цепь. Поставить потенциометр в положение минимума снимаемого напряжения.

3.5.3. Нажать клавиши 6 и 7 для измерения сопротивления провода по методу амперметра – вольтметра, клавиша 8 – отжата.

3.5.4. Вращая ручку потенциометра, снять значения напряжения U_V и силы тока I_A , результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения вольт-амперной зависимости по схеме (I)

| № | U_V , В | I_A , А | U_X , В | $R'_{X(I)}$, Ом | $R_{X(I)}$, Ом | ε_V , % | ε_A , % | $\varepsilon_{(I)}$, % |
|-----|--------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

3.5.6. Рассчитать напряжение U_X на неизвестном сопротивлении $U_X = U_V - U_A = U_V - I_A \cdot R_A$.

Результаты вычислений занести в табл. 2.

3.5.7. Используя графический метод, определить неизвестное омическое сопротивление $R'_{X(I)}$ без учета падения напряжения на амперметре. Для этого построить график $I_A = f(U_V)$ вольт-амперной зависимости силы тока от напряжения (рис. 4), по которому опре-

делить котангенс угла $\text{ctg } \varphi$ наклона прямой, проведённой через точки графика:

$$R'_{X(I)} = \text{ctg } \varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

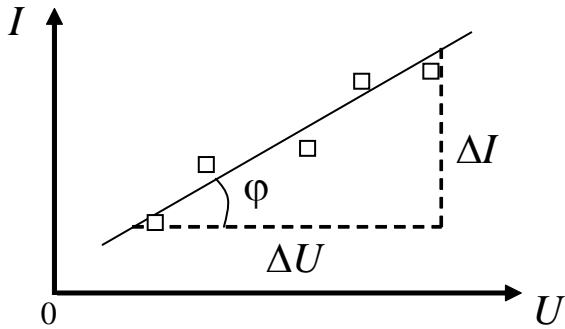


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика проводника

3.5.8. Определить $R'_{X(I)}$ аналогичным способом по графику зависимости $I_A = f(U_X)$.

3.5.9. Рассчитать относительные погрешности ε_V и ε_A отдельных измерений напряжения и силы тока по формуле (1.1) и относительную методическую погрешность $\varepsilon_{(I)}$ измерения сопротивления при использовании схемы (I) по формуле (4).

3.6. Определение сопротивления провода по схеме (II)

3.6.1. Поставить потенциометр в положение минимума снимаемого напряжения, нажать клавиши 7 и 8.

3.6.2. Изменяя потенциометром напряжение, снять вольт-амперную зависимость для проводника выбранной длины. Значения U_V и I_A занести в табл. 3.

3.6.3. Определить графически сопротивление $R'_{X(II)}$ (см. п. 3.5.7).

3.6.4. Рассчитать силу тока I_X через неизвестное сопротивление по формуле

$$I_X = I_A - I_V = I_A - \frac{U_V}{R_V}.$$

3.6.5. Определить сопротивление $R_{X(II)}$, используя график зависимости $I_X = f(U_V)$.

3.6.6. Рассчитать относительные погрешности ε_V и ε_A отдельных измерений напряжения и силы тока по формуле (1.1) и относительную методическую погрешность $\varepsilon_{(II)}$ измерения сопротивления при использовании схемы (II) по формуле (4).

Результаты измерения вольт-амперной зависимости по схеме (II)

| № | U_V , В | I_A , А | I_X , А | $R'_{X(II)}$, Ом | $R_{X(II)}$, Ом | ε_V , % | ε_A , % | $\varepsilon_{(II)}$, % |
|-----|-----------|-----------|-----------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

3.7. Определение удельного сопротивления провода

3.7.1. Используя схему измерения, которая даёт меньшую погрешность, снять зависимость тока I_A от максимального напряжения U_V при различных значениях длины провода ℓ . Результаты занести в табл. 4.

3.7.2. Рассчитать сопротивление R участков проводника длиной ℓ , используя соотношение:

$$R = \frac{U_V}{I_A}.$$

Таблица 4

Результаты измерений и расчета удельного сопротивления провода

| | ℓ , м | U_V , В | I_A , А | R , Ом | $\frac{\ell}{S}$, м ⁻¹ | ρ , Ом·м |
|-----|------------|-----------|-----------|----------|------------------------------------|---------------|
| 1 | | | | | | |
| ... | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

3.7.3. Рассчитать площадь S поперечного сечения провода диаметром $d = 0,36$ мм и отношение ℓ/S участка длины провода к площади поперечного сечения.

3.7.4. Построить графическую зависимость $R = f(\ell/S)$ и по тангенсу угла наклона линии графика определить неизвестное удельное сопротивление ρ материала проводника.

4. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение сопротивления методом амперметра – вольтметра

1. Цель работы: освоить экспериментальный метод определения сопротивления проводника.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 96–98, 100, 101; [2] 18.1, 19.1, 19.3; [3] §§ 24–27; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.13–4.20.

Для выполнения работы студент должен *знать*: а) определение электрического тока и его характеристики; б) закон Ома в локальной и интегральной форме записи для однородного и неоднородного участка электрической цепи; в) физическую сущность сопротивления проводника. *Уметь*: а) пользоваться электроизмерительными приборами; б) определять цену деления измерительных приборов; в) рассчитывать погрешности при электрических измерениях.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Принципиальные электрические схемы для определения сопротивления методом амперметра-вольтметра, показаны на рис. 1 и 2. Напряжение, подаваемое от источника питания с помощью ключа К через потенциометр П на неизвестное сопротивление R_X ,

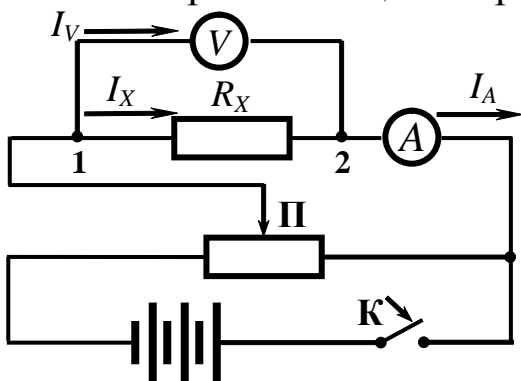


Рис. 1. Электрическая схема для измерения неизвестного сопротивления по схеме (I)

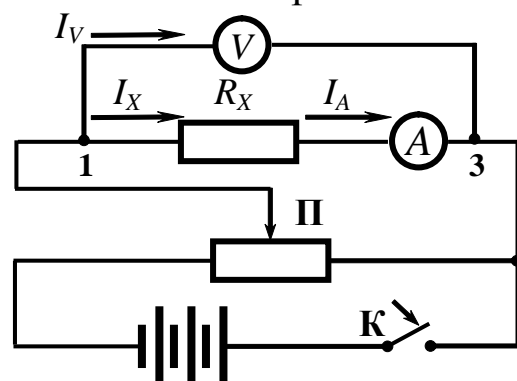


Рис. 2. Электрическая схема для измерения неизвестного сопротивления по схеме (II)

определяется вольтметром V , ток регистрируется амперметром A . При подключении вольтметра к точкам 1 и 2 (рис. 1) осуществляется работа по схеме (I). При подключении вольтметра к точкам 1 и 3 (рис. 2) осуществляется работа по схеме (II).

3.2. Методика измерений и расчёта

Сила тока, измеряемого амперметром I_A по схеме (I), равна сумме токов через вольтметр и неизвестное сопротивление:

$$I_A = I_X + I_V = I_X + \frac{U_V}{R_V},$$

где R_V – сопротивление вольтметра.

Тогда неизвестное сопротивление определится из соотношения:

$$R_{X(I)} = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_X}{I_A - I_V} = \frac{U_X}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}. \quad (1)$$

Показание вольтметра U_V в схеме измерения (II) равно сумме напряжений на сопротивлении R_X и на амперметре сопротивлением R_A :

$$U_V = U_X + U_A = U_X + I_A \cdot R_A.$$

Тогда неизвестное сопротивление определится соотношением:

$$R_{X(II)} = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A. \quad (2)$$

Как видно из формул (1) и (2), при измерении сопротивления методом амперметра – вольтметра по схеме (I) в расчётную формулу входит сопротивление вольтметра R_V , а по схеме (II) – сопротивление амперметра R_A .

Без учета сопротивления измерительных приборов неизвестное сопротивление рассчитывают по упрощённой формуле:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A}. \quad (3)$$

В этом случае возникает относительная методическая погрешность измерения ε , равная:

$$\varepsilon = \frac{|R_X - R'_X|}{R_X} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где R_X – истинное значение измеряемого сопротивления, рассчитанное по формуле (1) или (2) в зависимости от используемой схемы измерения.

Относительная методическая погрешность измерения для схемы (I)

$$\varepsilon_{(I)} = \frac{R_X}{R_X + R_V} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_X}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

а для схемы (II)

$$\varepsilon_{(II)} = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Следовательно, относительная методическая погрешность измерения сопротивления зависит от соотношения измеряемого сопротивления R_X и сопротивлений приборов R_A и R_V . Первую схему (I) измерения можно использовать, когда измеряемые сопротивления во много раз меньше сопротивления вольтметра ($R_V \gg R_X$), а вторую схему (II) измерения можно использовать, когда измеряемые сопротивления во много раз больше сопротивления амперметра ($R_X \gg R_A$). Следует отметить, что рассмотренный метод не обеспечивает высокой точности, так как погрешность измерения сопротивления этим методом всегда больше суммы *приведённых погрешностей* обоих приборов.

3.3. Определение параметров измерительных приборов

3.3.1. Повернув переключатель на приборах, выбрать пределы измерения $X_{пр}$, определить цену деления. Результаты занести в табл. 1.

3.3.2. Определить класс точности приборов γ (указан на шкале прибора). Рассчитать абсолютную погрешность приборов по формуле (1.2).

3.3.3. Определить максимальный ток I_{\max} для вольтметра и максимальное напряжение U_{\max} для амперметра (по данным на шкале прибора). Рассчитать внутреннее сопротивление вольтметра R_V и амперметра R_A по формуле (1.3):

$$R_V = \frac{U_{\text{пред}}}{I_{\max}}, \quad R_A = \frac{U_{\max}}{I_{\text{пред}}},$$

данные занести в табл. 1.

Таблица 1

Параметры измерительных приборов

| Параметры | Вольтметр | Амперметр |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|
| Предел измерения | | |
| Цена деления | | |
| Класс точности $\gamma_{\text{пр}}$, % | | |
| Абсолютная приборная погрешность ΔX | | |
| Внутреннее сопротивление, Ом | | |

3.4. Определение сопротивления R_X по схеме (I)

3.4.1. Собрать схему (I), потенциометр П поставить в положение минимума снимаемого напряжения, замкнуть ключ К.

3.4.2. Изменяя положение движка потенциометра П, снять показания приборов для значений напряжения U_V и тока I_A . Результаты занести в табл. 2.

3.4.3. Используя графический метод (рис. 3), определить неизвестное омическое сопротивление $R'_{X(I)}$ без учета сопротивления вольтметра. Для этого построить график зависимости силы тока от напряжения $I_A = f(U_V)$, по которому определить котангенс угла наклона прямой, проведённой через точки графика:

$$R'_{X(I)} = \text{ctg } \varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I}.$$

3.4.4. По формуле $I_X = I_A - I_V = I_A - \frac{U_V}{R_V}$ рассчитать ток через неизвестное сопротивление $R_{X(I)}$. Результаты расчёта занести в табл. 2.

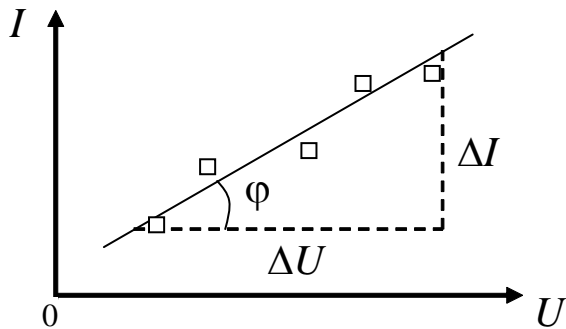


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика проводника

3.4.5. По графику зависимости $I_X = f(U_V)$ определить $R_{X(I)}$.

3.4.6. Используя формулу (1.1), рассчитать относительную погрешность измерений для различных значений тока и напряжения и методическую погрешность $\epsilon_{(I)}$ по формуле (5).

Таблица 2

Результаты измерения неизвестного сопротивления по схеме (I) и расчёта погрешностей

| № | U_V | I_A | I_X | $R'_{X(I)}$ | $R_{X(I)}$ | ϵ_V | ϵ_A | $\epsilon_{(I)}$ |
|---|-------|-------|-------|-------------|------------|--------------|--------------|------------------|
| | В | А | А | Ом | Ом | % | % | % |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

3.5. Определение сопротивления R_X по схеме (II)

3.5.1. Собрать схему (II), потенциометр П поставить в положение минимума снимаемого напряжения, замкнуть ключ К.

3.5.2. Повторить п.п. 3.4.2 и 3.4.3 для определения сопротивления $R'_{X(II)}$. Результаты занести в табл. 3.

3.5.3. По формуле $U_X = U_V - U_A = U_V - I_A R_A$ рассчитать напряжение на неизвестном сопротивлении.

3.5.4. По полученным данным построить график зависимости $I_A = f(U_X)$ и рассчитать неизвестное сопротивление $R_{X(II)}$.

3.5.5. Рассчитать относительные погрешности ε_V , ε_A отдельных измерений (1.1), а также относительную методическую погрешность $\varepsilon_{(II)}$ определения неизвестного сопротивления по формуле (6).

Таблица 3

Результаты измерения неизвестного сопротивления по схеме (II) и расчёта погрешностей

| № | U_V | I_A | U_X | $R'_{X(II)}$ | $R_{X(II)}$ | ε_V | ε_A | $\varepsilon_{(II)}$ |
|---|-------|-------|-------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| | В | А | В | Ом | Ом | % | % | % |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

4. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

**Определение горизонтальной составляющей вектора
индукции магнитного поля Земли**

1. Цель работы: освоить магнитометрический метод определения горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 109, 110; [2] 21.1, 21.2, 22.1, 22.2; [3] §§ 35, 36; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.21–4.30.

Для выполнения работы студент должен *знать*:

а) характеристику магнитного поля – вектор индукции \vec{B} ; б) характеристики магнитного поля Земли; в) закон Био – Савара – Лапласа и его применение для расчета магнитных полей, созданных проводниками с током; г) устройство и принцип действия тангенс-гальванометра.

Уметь: а) пользоваться электроизмерительными приборами; б) определять цену деления измерительных приборов; в) рассчитывать погрешности измерений.

3. Выполнение работы**3.1. Описание лабораторной установки**

Для определения горизонтальной составляющей вектора \vec{B} индукции магнитного поля Земли используется лабораторная установка, электрическая схема которой приведена на рис. 1. Лабораторная установка содержит тангенс-гальванометр G , амперметр A , реостат R для изменения силы тока в катушке тангенс-гальванометра, ключ K , двойной переключатель Π для изменения направления тока в катушке и источник постоянного тока \mathcal{E} .

Тангенс-гальванометр G состоит из катушки, содержащей N витков тонкой изолированной проволоки, укрепленной на вращающейся подставке. В центре катушки горизонтально укреплен компас, магнитная стрелка которого может свободно вращаться вокруг вертикальной оси. Круговая шкала компаса проградуирована в угловых градусах.

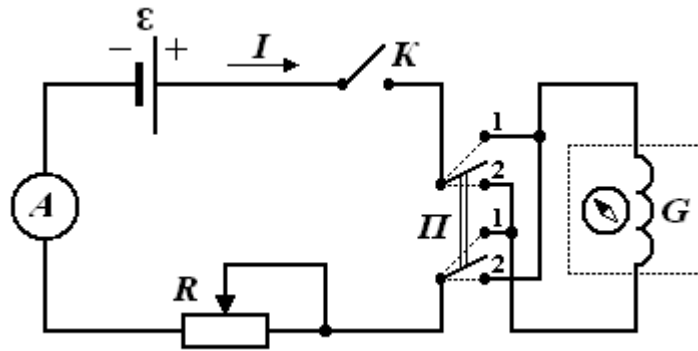


Рис. 1. Электрическая схема установки

3.2. Методика измерений и расчёта

3.2.1. Характеристики магнитного поля Земли

По современным представлениям, магнитное поле Земли представляет собой диполь – двухполюсный магнит. Его центр смещен относительно центра Земли в направлении на 18° северной широты и $147,8^\circ$ восточной долготы. Ось этого диполя наклонена к оси вращения Земли на $11,5^\circ$. Магнитные полюса – точки, в которых сходятся магнитные силовые линии. Ось земного диполя смещена относительно оси вращения Земли, так как магнитные полюса ее не совпадают с географическими полюсами (рис. 2, а).

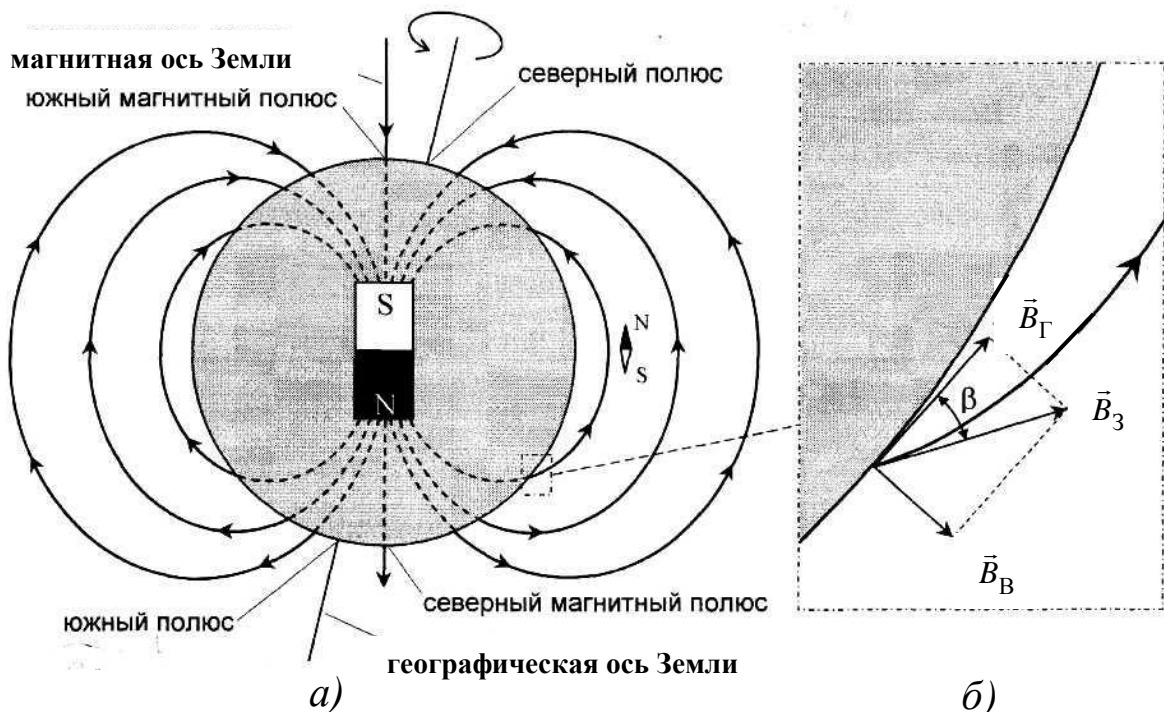


Рис. 2. Изображение магнитного поля Земли с помощью линий индукции

Магнитные полюса не остаются на месте, а перемещаются по сложной траектории вокруг географических полюсов. Так, северный магнитный полюс за сутки перемещается по поверхности Земли на 20,5 м (7,5 км в год), а южный – на 30 м (11 км в год). Например, в настоящее время южный магнитный полюс расположен недалеко от северного географического полюса в точке с координатами $(78,6 + 0,04^\circ T)$ северной широты и $(70,1 + 0,07^\circ T)$ западной долготы, где T – число десятилетий от 1970 года.

Индукция геомагнитного поля испытывает периодические колебания: а) суточные; б) годовые; в) вековые. Изучение остаточной намагниченности пород прошлых времен позволило установить, что имеются и более длительные периоды колебания индукции геомагнитного поля, во время которых происходит смена полюсов – северный полюс становится южным, и наоборот.

Магнитное поле Земли по своей структуре неоднородно. Оно складывается из двух частей: постоянного и переменного полей. Постоянное поле вызвано внутренними источниками магнетизма, а источниками переменного поля являются электрические токи в верхних слоях атмосферы – ионосфере и магнитосфере. В свою очередь постоянное магнитное поле по своей природе неоднородно и состоит из нескольких частей. Это поля, создаваемые однородной намагниченностью Земли, неоднородностью глубоких слоев, различной намагниченностью верхних частей земной коры. Внешнее переменное поле по отношению к внутреннему составляет менее 1 % и поэтому им можно пренебречь.

Плоскость, проведенная через магнитную силовую линию и магнитные полюса, называется *плоскостью магнитного меридиана*. Линия пересечения этой плоскостью поверхности Земли называется *магнитным меридианом*. Вектор индукции магнитного поля Земли можно разложить на две составляющие: горизонтальную V_H и вертикальную V_V (рис. 2, б). Горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли для данного географического пункта определяют с помощью тангенс-гальванометра.

3.2.3. Расчет индукции магнитного поля в центре кругового тока

Элемент $d\vec{\ell}$ проводника с током I (рис. 3) создаёт магнитное поле, индукция $d\vec{B}$ которого определяется законом Био – Савара – Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{\ell}, \vec{r}]}{r^3}, \quad (1)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость среды (для воздуха $\mu \approx 1$); $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; \vec{r} – радиус-вектор, определяющий положение точки магнитного поля относительно элемента $d\vec{\ell}$ проводника с током I .

Модуль вектора индукции B магнитного поля в центре кругового витка радиусом R с током I определяется соотношением:

$$B = \int_0^B dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} d\ell = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}. \quad (2)$$

С учётом выбранного направления тока в витке (рис. 3) вектор \vec{B} индукции магнитного поля направлен «к нам». Катушка тангенс-гальванометра содержит N витков, поэтому индукция в центре катушки определится соотношением:

$$B_{\text{к}} = \frac{\mu_0 IN}{2R}. \quad (3)$$

Магнитная стрелка компаса при отсутствии тока в катушке

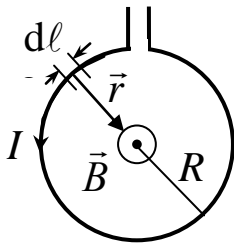


Рис. 3. Круговой виток с током

устанавливается в плоскости магнитного меридиана в направлении горизонтальной составляющей \vec{B}_{Γ} магнитного поля Земли. Поворотом катушки около вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана.

При включении тока I стрелка компаса повернётся на угол φ (рис. 4) и установится по направлению результирующего вектора \vec{B} . Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, вектор индукции \vec{B} результирующего поля определяется соотношением:

$$\vec{B} = \vec{B}_{\Gamma} + \vec{B}_{\text{к}}, \quad (4)$$

где $\vec{B}_Г$ – определяет горизонтальную составляющую магнитного поля Земли; $\vec{B}_К$ – определяет индукцию магнитного поля катушки

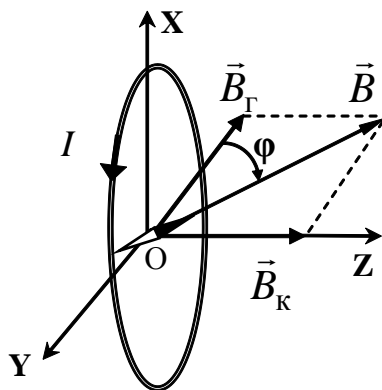


Рис. 4. Круговой виток с током в магнитном поле

с током (индукцией магнитного поля стрелки компаса пренебрегаем).

Определив угол φ (угол β на рис. 2) поворота магнитной стрелки, можно найти горизонтальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли:

$$B_Г = \frac{B_К}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{\mu_0 IN}{2R \operatorname{tg}\varphi}. \quad (5)$$

3.3. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли при расположении катушки в плоскости магнитного меридиана

3.3.1. Определить цену деления амперметра по формуле (1.4). Параметры установки занести в табл. 1.

Таблица 1

Параметры установки

| Цена деления амперметра | Радиус катушки | Число витков катушки |
|-------------------------|----------------|----------------------|
| | | |

3.3.2. Собрать цепь по схеме, изображённой на рис. 1.

3.3.3. Совместить плоскость витка с плоскостью магнитного меридиана. По лимбу определить положение северного конца магнитной стрелки (угловая координата φ_0). Результаты занести в табл. 2.

3.3.4. Замкнуть цепь тангенс-гальванометра ключом K и перемещением движка реостата R добиться отклонения стрелки на угол $\varphi_1 = |\varphi_0 - \varphi'| \approx 40^\circ$, где φ' – новая угловая координата северного конца магнитной стрелки.

3.3.5. С помощью переключателя Π изменить направление тока в цепи и измерить угловую координату φ'' северного конца

магнитной стрелки, определить угол $\varphi_2 = |\varphi'' - \varphi_0|$. Разница между углами φ_1 и φ_2 по модулю не должна превышать 2° .

Таблица 2

Результаты измерений углов и расчёта B_Γ при расположении катушки в плоскости магнитного меридиана

| № | I | | φ_0 | φ' | φ_1 | φ'' | φ_2 | $\langle\varphi\rangle$ | $\text{tg}\langle\varphi\rangle$ | B_Γ | $\langle B_\Gamma\rangle$ |
|---|-----|---|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------|
| | дел | А | град | град | град | град | град | град | | Тл | Тл |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |

3.3.6. Провести измерения для углов φ_1 в интервале от 40° до 50° . Записать величину силы тока в делениях для каждого угла. Полученные результаты измерений занести в табл. 2.

3.3.7. Изменить направление тока в цепи и измерить углы φ_2 при использованных значениях силы тока I .

3.3.8. Рассчитать горизонтальную составляющую B_Γ вектора индукции магнитного поля Земли, используя соотношение (5) и ее среднее значение $\langle B_\Gamma\rangle$.

3.3.9. Рассчитать относительную ε_B и абсолютную ΔB_Γ погрешности горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли

$$\varepsilon_B = \sqrt{\varepsilon_R^2 + \varepsilon_I^2 + \varepsilon_{\text{tg}\varphi}^2}, \quad \Delta B_\Gamma = \varepsilon_B \langle B_\Gamma \rangle.$$

3.3.10. Сравнить полученное экспериментально среднее значение $\langle B_\Gamma \rangle$ со значением этой величины на широте г. Кемерово $B_\Gamma = 1,55 \cdot 10^{-5}$ Тл.

4. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Определение индуктивности катушки

1. Цель работы: освоить экспериментальный метод определения индуктивности катушки.

2. Подготовка к работе: а) изучить необходимые теоретические положения по учебникам: [1] §§ 122, 123, 126, 135, 136, 149; [2] 24.5, 25.2; [3] §§ 52–55; б) ответить на вопросы для самоподготовки 4.31–4.43.

Для выполнения работы студент должен *знать*:

а) закон электромагнитной индукции и правило Ленца; б) понятие о магнитном потоке и индуктивности контура; в) метод векторных диаграмм и его применение к расчёту индуктивности катушки; г) понятие магнитной проницаемости среды.

Уметь: а) пользоваться электроизмерительными приборами; б) определять цену деления измерительных приборов; в) рассчитывать погрешности при электрических измерениях.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки (рис. 1) содержит источник напряжения \mathcal{E} , потенциометр P , катушку индуктивности L , вольтметр V , амперметр A и ключ K .

Данная электрическая схема предназначена для снятия вольт-амперной характеристики катушки на постоянном (рис. 1, а) и переменном напряжении (рис. 1, б). Используемые при этом измерительные приборы предназначены для определения как постоянных, так и зависящих от времени значений тока и напряжения. В цепи, содержащей источник переменного напряжения, измеряются эффективные (действующие) значения силы тока I_A и напряжения U .

3.2. Методика измерений и расчёта

Электрический ток I , протекающий в контуре, создает пронизывающий этот контур полный магнитный поток (потокосцепление) Ψ , пропорциональный силе тока:

$$\Psi = LI,$$

где L – коэффициент пропорциональности между силой тока и полным магнитным потоком – индуктивность контура.

Индуктивность контура зависит от его формы и размеров, а также от магнитных свойств окружающей контур среды.

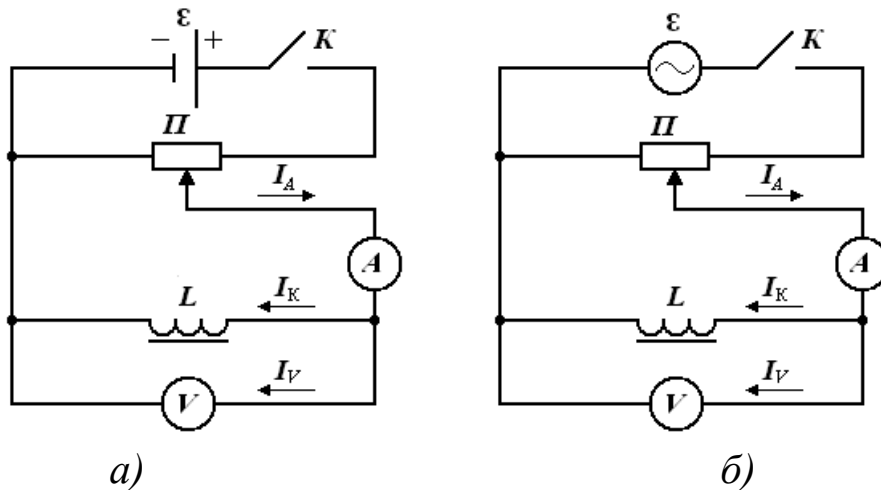


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема установки с источником постоянного напряжения (а) и переменного напряжения (б)

Изменение силы тока в контуре, содержащем катушку индуктивности, сопровождается возникновением электродвижущей силы самоиндукции:

$$\mathcal{E}_s = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt} = -\left(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}\right).$$

Для неферромагнитной среды $L = \text{const}$ и $\frac{dL}{dt} = 0$, а при наличии ферромагнетика индуктивность L увеличивается в μ раз, так как магнитная проницаемость μ является переменной величиной и зависит от силы намагничивающего тока и характеристики сердечника.

Рассмотрим процессы, происходящие при протекании переменного тока через участок цепи, содержащей резистор и катушку индуктивности (рис. 2), к концам которого приложено переменное напряжение:

$$U = U_m \cos \omega t,$$

где U_m – амплитуда напряжения; ω – циклическая частота.

Переменный ток можно считать квазистационарным, так как изменения мгновенных значений силы тока происходят достаточно медленно, а электромагнитные возмущения распространяются в цепи со скоростью, равной скорости света в вакууме. Для мгновенных значений квазистационарных токов выполняется закон Ома. Для тока, протекающего через резистор, закон Ома запишется в виде:

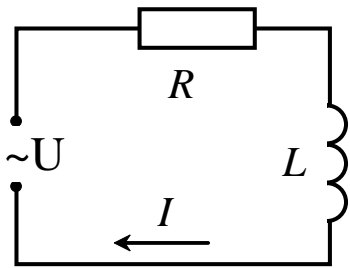


Рис. 2. Участок цепи, содержащий резистор и катушку индуктивности

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t,$$

из которого следует, что падение напряжения на резисторе $U_R = RI_m$ совпадает по фазе с током, протекающим через него.

Для определения силы тока, протекающего через катушку индуктивности, учтем возникновение в ней электродвижущей силы самоиндукции:

$$U_m \cos \omega t - L \frac{dI}{dt} = 0,$$

из этого соотношения следует

$$dI = \frac{U_m}{L} \cos \omega t dt.$$

После интегрирования получим

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_m}{\omega L} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right),$$

где $R_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление.

Падение напряжения на катушке $U_L = \omega L I_m \cos \omega t$ опережает по фазе на $\pi/2$ ток, текущий через катушку.

Амплитуда U_m приложенного напряжения на резисторе U_R и на катушке U_L равна векторной сумме амплитуд этих падений напряжений (рис. 3). Из прямоугольного треугольника получаем соотношение

$$U_m^2 = U_R^2 + U_L^2,$$

из которого амплитуда силы тока

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + R_L^2}} = \frac{U_m}{Z},$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ – полное сопротивление участка цепи с омическим и индуктивным сопротивлением.

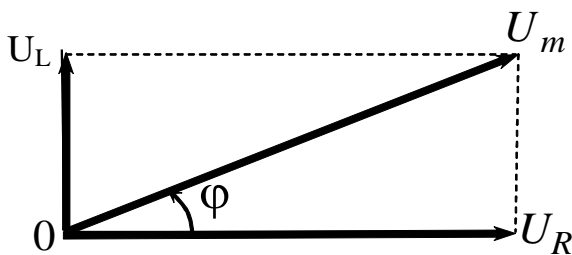


Рис. 3. Векторная диаграмма амплитуд напряжений

Из полученного соотношения выражаем индуктивность катушки

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота переменного напряжения.

Для экспериментального определения сопротивления R катушки

постоянному току и полного сопротивления Z катушки переменному току необходимо снять вольт-амперную зависимость $I = f(U)$, используя электрические схемы, приведенные на рис. 1.

3.3. Определение омического сопротивления R катушки

3.3.1. Собрать электрическую цепь (рис. 1, а). Обратит внимание на то, что реостат используется в качестве потенциометра. Движок реостата поставить в положение минимума снимаемого напряжения.

3.3.2. После проверки схемы преподавателем поставить движок реостата в положение минимума снимаемого напряжения. Замкнуть ключ K , снять вольт-амперную зависимость (показания приборов для значений напряжения U и тока I_A). Результаты измерений занести в табл. 1.

3.3.3. Рассчитать токи, протекающие через вольтметр I_V $I_V = \frac{U}{R_V}$, где R_V – сопротивление вольтметра R_V (указано на шкале прибора) и катушку I_K :

$$I_{\text{к}} = I_{\text{А}} - I_{\text{V}}.$$

Таблица 1

Результаты измерения омического сопротивления катушки

$$R_{\text{V}} =$$

| № | Напряжение U , В | Ток | | | Сопротивление R , Ом |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | | $I_{\text{А}}$, А | I_{V} , А | $I_{\text{к}}$, А | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

3.3.4. Построить график вольт-амперной зависимости $I_{\text{к}} = f(U)$, откладывая по оси ординат ток катушки $I_{\text{к}}$, по оси абсцисс напряжение U . Котангенс угла наклона прямой, проведённой через точки графика, определяет омическое сопротивление R катушки

$$R = \text{ctg}\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I_{\text{к}}}$$

3.4. Определение полного сопротивления Z катушки без сердечника в цепи переменного тока

3.4.1. Собрать электрическую схему 1, б. После проверки схемы преподавателем поставить движок реостата в положение минимума снимаемого напряжения, замкнуть ключ K , снять вольт-амперную зависимость $I_{\text{А}} = f(U)$. Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения полного сопротивления катушки без сердечника

| № | Напряжение U , В | Ток | | | Сопротивление Z , Ом |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| | | $I_{\text{А}}$, А | I_{V} , А | $I_{\text{к}}$, А | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

3.4.2. Аналогично п. 3.3.3 рассчитать токи, протекающие через вольтметр I_V и катушку I_K , результаты вычислений занести в табл. 2.

3.4.3. Построить график вольт-амперной зависимости $I_K = f(U)$ на одном графике с вольт-амперной зависимостью для постоянного тока. Определить полное сопротивление Z катушки без сердечника.

3.5. Определение полного сопротивления Z_c катушки с железным сердечником в цепи переменного тока

3.5.1. Вставить в катушку сердечник и вновь повторить все измерения согласно пп. 3.4.1–3.4.3.

Результаты измерений занести в табл. 3, аналогичную табл. 2.

3.6. Определение индуктивности L катушки и средней магнитной проницаемости μ_c сердечника

3.6.1. Используя соотношение (1) определить индуктивность L катушки без сердечника и индуктивность L_c катушки с железным сердечником.

3.6.2. Рассчитать среднюю магнитную проницаемость μ_c сердечника, используя соотношение:

$$\mu_c = \frac{L_c}{L}.$$

4. Сделать вывод о причинах влияния сердечника на индуктивность катушки.

4. Вопросы для самоподготовки

- 4.1. Как определяется цена деления многопредельного электроизмерительного прибора?
- 4.2. Что называют напряженностью электрического поля? Как направлен вектор напряженности \vec{E} ?
- 4.3. Чему равен модуль вектора напряженности поля точечного заряда на расстоянии r от него? Как направлены вектора напряженности электрического поля?
- 4.4. В чём заключается принцип суперпозиции электростатических полей для совокупности электрических зарядов?
- 4.5. Чему равна работа перемещения электрического заряда в электростатическом поле по замкнутой траектории? По незамкнутой?
- 4.6. Что называют потенциалом данной точки электростатического поля? Что называют эквипотенциальной поверхностью?
- 4.7. Как графически изобразить электростатическое поле? Каково взаимное расположение силовых и эквипотенциальных линий?
- 4.8. Как связаны напряженность и потенциал? Как направлен вектор градиента потенциала?
- 4.9. Что называют потоком вектора \vec{E} ? Как изменится поток вектора \vec{E} , если замкнутую поверхность в виде сферы заменить замкнутой поверхностью произвольной формы?
- 4.10. Как формулируется теорема Гаусса?
- 4.11. Чему равен поток вектора \vec{E} сквозь замкнутую поверхность, не содержащую электрических зарядов?
- 4.12. Что можно сказать о потенциале внутри и на поверхности металлического цилиндра, о напряженности поля внутри и на поверхности металлического цилиндра?
- 4.13. Как следует включить реостат (переменное сопротивление) для изменения силы тока в цепи?
- 4.14. Как включить в цепь реостат в качестве потенциометра, то есть для изменения напряжения?
- 4.15. Что такое сопротивление? От чего оно зависит? Какие существуют способы определения сопротивления?

4.16. Как записывается закон Ома для пассивного и активного участков электрической цепи в локальной и интегральной формах записи?

4.17. Чем отличаются схемы (I) и (II) для измерения сопротивления?

4.18. Выведите формулу для определения относительной методической погрешности измерения сопротивления по схемам (I) и (II).

4.19. Как найти абсолютную погрешность измерения по классу точности прибора?

4.20. При каких значениях неизвестного сопротивления и сопротивлений приборов можно использовать схемы (I) и (II), если задано, что точность измерений должна быть меньше 3 %; 10 %; 15 %?

4.21. Что называется магнитным полем? При каких условиях оно возникает?

4.22. Как графически изображается магнитное поле?

4.23. Чем обусловлено магнитное поле Земли? Где располагаются магнитные полюса Земли?

4.24. Какие элементы введены для описания магнитного поля Земли?

4.25. Чему равен и как направлен вблизи г. Кемерово вектор индукции магнитного поля Земли?

4.26. В чём состоит физический смысл закона Био – Савара – Лапласа?

4.27. В чём заключается принцип суперпозиции магнитных полей?

4.28. Как определить направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого проводником с током?

4.29. Как определить индукцию магнитного поля в центре кругового витка с током?

4.30. Как определить индукцию магнитного поля прямого тока?

4.31. Что такое индуктивность? От чего она зависит и что определяет в цепи синусоидального тока?

4.32. Какие существуют способы определения индуктивности?

4.33. Что такое активное, индуктивное и полное сопротивление в цепи переменного тока?

4.34. Почему при переменном токе сопротивление катушки увеличивается?

4.35. В чём заключается явление электромагнитной индукции и явление самоиндукции?

4.36. Как определить направление индукционного тока?

4.37. Зависит ли индуктивность катушки от величины приложенного напряжения?

4.38. Как влияет железный сердечник на величину индуктивности катушки?

4.39. Если напряжение на активном сопротивлении равно 20 В, а на последовательно включённой с ним катушке индуктивности – 40 В, то каково напряжение, приложенное к данной цепи?

4.40. Почему сопротивление катушки называют реактивным?

4.41. Зависит ли угол сдвига фаз между током и напряжением от числа витков катушки и марки железного сердечника?

4.42. Зачем в катушках индуктивности, используемых в различных устройствах, применяют сердечники из пермаллоя и феррита?

4.43. В каких устройствах используют катушки без сердечника и в каких устройствах используют сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса?

Список рекомендуемой литературы

1. Трофимова, Т. И. Курс физики : учеб. пособие для инж.-техн. специальностей вузов / Т. И. Трофимова. – 17-е изд., стереотип. – Москва : Академия, 2008. – 560 с.
2. Детлаф, А. А. Курс физики : учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – Москва : Академия, 2007. – 720 с.
3. Савельев, И. В. Курс физики : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по техн. и технолог. направлениям и специальностям : в 3 т. Т. 2. Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – 4-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 480 с. – http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=347

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Г. Ф. Горбачева»

Кафедра химии, технологии неорганических веществ и наноматериалов

Составитель

Ю. А. Михайленко

ХИМИЯ

**Методические указания к лабораторным занятиям
и самостоятельной работе для студентов
всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 15.03.01 (150700.62) «Машиностроение»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2015

Рецензенты:

Клепцов Александр Алексеевич – к.т.н., заведующий кафедрой технологии машиностроения, председатель учебно-методических комиссий направления 15.03.01 (150700.62) «Машиностроение» и 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных»

Подгорный Александр Иванович – к.т.н., заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссии направления 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Чичерин Иван Владимирович – к.т.н., заведующий кафедрой информационных и автоматизированных производственных систем, председатель учебно-методической комиссии направления 15.03.04 (220700.62) «Автоматизация технологических процессов и производств»

Михайленко Юлия Александровна. Химия: методические указания к лабораторным занятиям и самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов направлений подготовки 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.01 (150700.62) «Машиностроение», 23.03.03 (190600.62) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 15.03.04 (220700.62) «Автоматизация технологических процессов и производств», всех форм обучения / сост.: Ю. А. Михайленко. – Электрон. издан. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб ; Windows 2003; мышь. – Загл. с экрана.

Подготовлено по дисциплине «Химия». Методические указания включают содержание лабораторных работ, рекомендации по самостоятельному изучению теоретического материала, вопросы и задачи для самостоятельного промежуточного контроля, вопросы для итогового контроля, списки основной и дополнительной литературы.

© КузГТУ, 2015
© Михайленко Ю. А.,
составление, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения курса «Химия» является формирование современного химического мировоззрения и навыков самостоятельной работы, необходимых для использования химических знаний при изучении специальных дисциплин и дальнейшей практической деятельности.

В курсе химии используются следующие виды занятий и контроля знаний: лекции, лабораторные работы, консультации, сдача зачёта и экзамена по курсу, контрольная работа (для студентов заочного факультета).

Лабораторные работы должны помочь студентам усвоить законы и теоретические положения химии, уяснить влияние различных условий на течение химических процессов, ознакомиться со свойствами наиболее важных элементов и их соединений.

Лабораторные работы приносят пользу лишь в том случае, если выполняются сознательно, не механически. Поэтому перед каждым лабораторным занятием студент должен быть теоретически подготовлен. Для выполнения лабораторных работ студенты объединяются в бригады по два человека; состав бригады сохраняется на все время выполнения практикума.

Если нет специальных указаний преподавателя, опыты должны проводиться в точном соответствии с их описанием в данном руководстве.

По окончании каждого занятия, перед уходом из лаборатории, студент должен привести в порядок свое рабочее место и предъявить преподавателю результаты работы, позволяющие судить о качестве ее выполнения. Окончательное оформление работы в лабораторном журнале можно сделать дома.

Перечень лабораторных работ

| № | Тема занятия | Объем в часах | |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
| | | Очная | Заочная |
| для бакалавров направлений 190600.62 (23.03.03), 150700.62 (15.03.01) | | | |
| 1 | Техника безопасности. Правила работы в химической лаборатории. Классификация и номенклатура неорганических веществ | 4 | 2 |
| 2 | Измерение термодинамических характеристик химических процессов | 2 | |
| 3 | Защита лабораторных работ. | 2 | |
| 4 | Кинетика химических реакций. Химическое равновесие | 2 | |
| 5 | Приготовление растворов | 2 | |
| 6 | Свойства растворов электролитов: - работа 1. Гомогенные равновесия в растворах электролитов - работа 3. Направление ионных реакций. Гидролиз солей | 2 | |

| № | Тема занятия | Объем в часах | |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
| | | Очная | Заочная |
| 7 | Защита лабораторных работ. | 2 | |
| 8 | Дисперсные системы | 2 | |
| 9 | Окислительно-восстановительные реакции | 2 | |
| 10 | Электрохимические системы: - работа 1. Электродные потенциалы. Гальванические элементы. Направление окислительно-восстановительных процессов | 2 | 3 |
| 11 | Защита лабораторных работ. | 2 | |
| 12 | - работа 2. Коррозия металлов | 2 | 2 |
| 13 | - работа 3. Электролиз водных растворов | 2 | |
| 14 | Химические свойства металлов с концентрированными кислотами | 2 | 2 |
| 15 | Защита лабораторных работ | 2 | |
| 16 | Контрольная работа | 2 | |
| Итого: | | 34 | 8 |
| для бакалавров направлений 151900.62 (15.03.05), 220700.62 (15.03.04) | | | |
| 1 | Техника безопасности. Правила работы в химической лаборатории. Классификация и номенклатура неорганических веществ | 2 | 2 |
| 2 | Измерение термодинамических характеристик химических процессов | 2 | 2 |
| 3 | Кинетика химических реакций. | 2 | |
| 4 | Химическое равновесие | 2 | |
| 5 | Свойства растворов электролитов | 2 | |
| 6 | Окислительно-восстановительные реакции | 2 | |
| 7 | Гальванические элементы. Направление окислительно-восстановительных процессов | 2 | 2 |
| 8 | Электролиз водных растворов. Коррозия металлов | 3 | |
| Итого: | | 17 | 6 |

Лабораторный журнал

Результаты наблюдений студент должен записать сразу же после каждого опыта в специальную тетрадь (лабораторный журнал).

На обложке лабораторного журнала должна быть записана фамилия студента и номер группы. Запись в журнале начинается с указания номера и названия лабораторной работы, а также даты ее выполнения. Записи должны быть краткими и четкими.

В лабораторном журнале необходимо записать:

- 1) условия, при которых производится опыт;
- 2) наблюдения (образование осадка, изменение цвета раствора или осадка, выделение или поглощение теплоты, газообразование и т. д.);

3) уравнения происходящих реакций;

4) расчеты и выводы.

В случае работы с прибором следует нарисовать его схему.

Итоги выполнения лабораторных работ

Выполненные лабораторные работы защищаются студентом в сроки, указанные преподавателем. К защите студенты предъявляют полностью оформленный лабораторный журнал.

Защита лабораторных работ проводится в форме беседы. Студенты, защищающие работу должны:

- уметь изложить технику опытов;
- уметь дать теоретическое объяснение результатов опытов;
- предъявить результаты выполненного самостоятельного задания.

Студенты, выполнившие и защитившие все плановые лабораторные работы, получают зачет или допуск на экзамен.

Самостоятельная работа. Один из видов учебной работы студентов – самостоятельная работа. Она складывается из следующих элементов: изучение материала по учебникам и лекциям; подготовка к защите лабораторных работ; написание контрольной работы (для студентов заочного обучения); подготовка к зачету или экзамену по данному курсу.

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них.

Формой отчетности самостоятельного изучения теоретического материала является: конспект изученного материала с объемом, указанным преподавателем; подготовка к выполнению и защите лабораторных работ являются выполненными задачи, примеры, решения которых приведены в данном электронном методическом указании. Самостоятельная работа по изучению теоретического материала включает вопросы, которые также будут вынесены на зачет и экзамен.

Самостоятельная работа

| Неделя семестра | Вид самостоятельной работы студентов |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1, 2, 3, 4 | Лзп1 Изучение материала по теме: Классификация и номенклатура неорганических веществ. Измерение термодинамических характеристик химических процессов. [1-6]. Дз1 Решение типовых задач по теме: Классы неорганических соединений. Тепловые эффекты, направление химических реакций. [1-6]. |

| Неделя семестра | Вид самостоятельной работы студентов |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5, 6, 7, 8 | <p>Лзп2 Изучение материала по теме: Кинетика химических реакций. Химическое равновесие. Подготовка к защите лабораторных работ [1-6].</p> <p>Дз2 Решение типовых задач по теме: Химическая кинетика и равновесие.</p> <p>Конспектирование: Тема: Общие свойства металлов и сплавов. Методы получения металлов и основные стадии металлургического производства. Сплавы железа, меди, алюминия и области их применения. Химические свойства металлов и сплавов. Потенциал ионизации. Взаимодействие металлов с водой, водными растворами кислот и щелочей [1-6].</p> |
| 9, 10, 11, 12 | <p>Лзп3 Изучение материала по теме: Гальванические элементы. Направление окислительно-восстановительных процессов [1-6].</p> <p>Дз3 Решение типовых задач по теме: Свойства водные растворы электролитов. Направление окислительно-восстановительных процессов.</p> <p>Конспектирование тем: Конструкционные материалы. Полимеры. Вяжущие материалы. Стекло, керамика. [1-6].</p> |
| 13, 14, 15, 16 | <p>Лзп4 Изучение материала по теме: Электролиз водных растворов. Коррозия металлов. Подготовка к защите лабораторных работ [1-6].</p> <p>Дз4 Решение типовых задач по теме: Электролиз водных растворов. Коррозия металлов [1-6].</p> |

Контрольная работа (студенты заочного факультета). Задания на выполнение контрольной работы выдаются преподавателем в период установочной лекции (1 семестр). Студенты заочной формы обучения выполняют и высылают контрольную работу на рецензирование до начала соответствующей экзаменационной сессии.

Каждый вариант контрольной работы включает задач по основным разделам курса. Студент решает вариант, соответствующий последней цифре шифра. Так, если номер шифра 480345 – студент решает контрольную работу под номером 5. В целях успешного выполнения контрольной работы, а также текущего контроля хода ее выполнения преподавателями кафедры организованы регулярные консультации.

Контрольная работа оформляется в тетрадях общего формата. Все расчеты должны выполняться в международной системе СИ с подробным их описанием.

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=1338>

Экзамен. Зачет. Посетив лекции и лабораторные занятия, защитив лабораторные работы и индивидуальные задачи, написав и защитив контрольные работы, студенты сдают зачет или экзамен. Вопросы к зачету и экзамену прилагаются.

Тема лабораторной работы: Техника безопасности. Правила работы в химической лаборатории. Классификация и номенклатура неорганических веществ.

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5412>

Контрольные вопросы:

1. Напишите уравнения превращений:
 $\text{Ca} \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
2. Напишите формулы средней, кислой и основной солей, которые могут образовываться при взаимодействии:
 - а) $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и H_2SO_4 ;
 - б) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и H_2SO_4 .

| | | |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-4 с. 8-9 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 1, 2, 4, 9, 10, 11, 16 с. 10-11 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с.19–27, 29–34; 3, с. 5–9].

Тема лабораторной работы: Измерение термодинамических характеристик химических процессов

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5412>

Контрольные вопросы:

1. Дайте определения понятиям: термодинамическая система, термодинамические параметры, термодинамический процесс, функция состояния системы.
2. Рассчитайте изменение стандартной энтальпии реакций (предварительно подберите коэффициенты):
 $\text{ZnS}_{(к)} + \text{O}_{2(г)} = \text{ZnO}_{(к)} + \text{SO}_{2(г)}$;
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(к) = \text{Al}_2\text{O}_3(к) + \text{SO}_3(г)$.

| | | |
|----|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, |
|----|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | | |
|----|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | решениями | 2008. – 240 с. Пример 1-9 с. 68-74 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 283, 285, 288, 292, 300, 303, 308, 312 с. 75-79 |

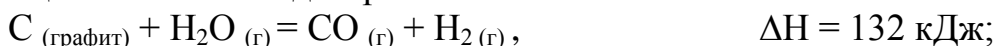
Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 170-189, с. 186-211; 2, с. 66-74; 3, с. 9-12; 4, с.116-142; 6, с. 176-197].

Защита лабораторных работ по темам: Классификация и номенклатура неорганических веществ. Измерение термодинамических характеристик химических процессов.

Защита лабораторных работ проводится в форме контрольной работы.

Контрольные вопросы:

1. По следующим термохимическим уравнениям установите, являются ли реакции экзо- или эндотермическими:



2. В каком направлении смещается равновесие обратимой эндотермической реакции при повышении температуры:



1) вправо; 2) влево; 3) не смещается.

3. 1. Какие кислоты соответствуют кислотным оксидам: Mn_2O_7 , SO_2 :

1) H_2MnO_4 , 2) $HMnO_4$, 3) H_2MnO_3 ,
 H_2SO_4 ; H_2SO_3 ; H_2S .

4. Описать электронную конфигурацию атома висмута и иона Bi^{3+} .

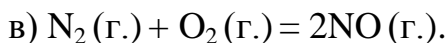
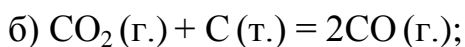
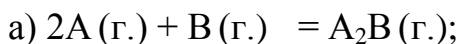
Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с.19-27, с. 29-34, с. 55-70, с. 170-189, с. 186-211, с. 216-231; 2, с. 37-40, с. 66-74, с. 79-83; 3, с. 5-17; 4, с.116-142, с.167-201; 6, с.176-225].

Тема лабораторной работы: Кинетика химических реакций.

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=2594>

Контрольные вопросы:

1. Напишите кинетические уравнения для реакций:



Как изменится скорость реакций а) и в) при увеличении концентраций исходных веществ в два раза?

2. На сколько градусов следует повысить температуру, чтобы скорость реакции увеличилась в 81 раз, если температурный коэффициент скорости равен 3?

| | | |
|----|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-5 с. 79-83 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 325, 327, 329, 331, 335, 341, 343 с. 88-94 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 216-231; 2, с. 79-83; 3, с. 12-17; 4, с.167-201; 6, с. 197-225].

Тема лабораторной работы: Химическое равновесие

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=2594>

Контрольные вопросы:

1. В каком направлении сместиться равновесие следующих обратимых реакций:



при понижении температуры; при повышении давления?

2. Какое состояние реагирующих веществ называют химическим равновесием?

| | | |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 6-10 с. 84-88 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 354, 362, 365 с. 88-94 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 216-231; 2, с. 79-83; 3, с. 12–17; 4, с.167-201; 6, с. 197-225].

Контрольная неделя 1

Вопросы и упражнения для самостоятельного решения

1. Что такое электроотрицательность? Как она изменяется у элементов в периоде, в группе периодической системы с увеличением поряд-

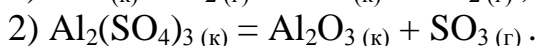
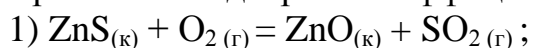
кового номера? Почему? Написать электронную и электронно-графическую формулы атомов элементов с порядковыми номерами 35 и 49.

2. В чём состоит смысл понятия “энтропия”? Как изменяется энтропия в изолированной системе при химических и фазовых превращениях?

3. Какими одновременно действующими факторами определяется направленность химического процесса? Какую тенденцию выражает энтальпийный фактор? Энтропийный фактор?

4. Описать электронную конфигурацию атома висмута и иона Bi^{3+} ; атома цинка и иона Zn^{2+} ; атома хрома и иона Cr^{3+} .

5. Рассчитайте изменение стандартной энтальпии реакций (предварительно подберите коэффициенты):



6. Напишите уравнения превращений:



Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с.19-27, с. 29-34, с. 55-70, с. 170-189, с. 186-211; 2, с. 37-40, с. 66-74; 3, с. 5-12; 4, с.116-142; 6, с.176-197].

Тема лабораторной работы: Приготовление растворов

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=8065> .

Контрольные вопросы:

1. Единицами измерения молярной концентрации являются:

а) моль/л; в) литры;

б) %; г) титр.

2. Какой объём воды необходимо прибавить к 100 см^3 40 %-го раствора NaOH плотностью $1,44 \text{ г/см}^3$, чтобы получить 5 %-ный раствор?

| | | |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-10 с. 96-99 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 392, 399, 407, 430 с. 99-102 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 216-231; 2, 96-99].

**Тема лабораторной работы: Свойства растворов электролитов:
Работа 1. Гомогенные равновесия в растворах электролитов.
Работа 3. Направление ионных реакций. Гидролиз солей.**

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=2125>

Контрольные вопросы:

- Для ортофосфорной кислоты укажите число ступеней диссоциации и ион с наименьшей концентрацией.
- Укажите, при гидролизе каких солей 1) KCl, 2) Na₃PO₄, 3) ZnSO₄. а) среда раствора щелочная; б) образуются ионы H⁺; в) образуется кислая соль?

| | | |
|----|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-8 с. 111-116 Пример 1-5 с. 120-123 Пример 1-5 с. 125-128 Пример 1-3 с. 130-136 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 504, 516, 517 с. 116-118 № 536, 540 с. 123-124 № 559, 564 с. 128-130 № 580, 587 с. 136-138 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 245–247, с. 249–251, с. 254–259; 2, с. 111-138; 3, с. 20–28; 6, с. 225–234].

Защита лабораторных работ по темам: Приготовление растворов. Свойства растворов электролитов.

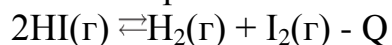
Защита лабораторных работ проводится в форме контрольной работы.

Контрольные вопросы:

1. К 1150 г 10%-ного раствора сульфата натрия добавили 115 г воды. Масса воды в полученном растворе равна

- | | |
|------------|-----------|
| 1) 115 г | 3) 1150 г |
| 2) 126,5 г | 4) 1265 г |

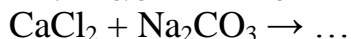
2. Для смещения химического равновесия в системе



в сторону продуктов реакции необходимо

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1) повысить температуру | 3) добавить водород |
| 2) понизить давление | 4) ввести катализатор |

3. Написать в молекулярной, ионно-молекулярной и сокращённой ионной формах уравнения реакций между водными растворами следующих веществ:



Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 216-231, с. 245-259; 2, с. 96-99, 111-138; 3, с. 20-28; 6, с. 225-234]

Тема лабораторной работы: Дисперсные системы

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5589>

Контрольные вопросы:

1. Какие системы называют дисперсными? В чем состоит их отличие от истинных растворов и грубых взвесей?
2. Ионообменная адсорбция. Механизм ионообменных процессов.
3. К ZnCl_2 добавили избыток MnS . Написать формулу мицеллы.

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 289-311].

Контрольная неделя 2

Вопросы и упражнения для самостоятельного решения

1. Определить $[\text{H}^+]$ и $[\text{OH}^-]$ в растворе, pH которого равен 6,2.
2. Для растворения 1,16 г хлорида свинца потребовалось 3 л. Найти произведение растворимости соли.
3. Гидролиз солей: влияние температуры, концентрации на сдвиг равновесия гидролиза.
4. Масса воды, которую надо испарить из 800 г 15%-го раствора вещества, чтобы увеличить его массовую долю на 5% равна
 - 1) 40 г
 - 2) 80 г
 - 3) 120 г
 - 4) 200 г

5. Установите соответствие между названием соли и её отношением к гидролизу.

| НАЗВАНИЕ СОЛИ | ОТНОШЕНИЕ К ГИДРОЛИЗУ |
|---------------------|--------------------------------------|
| А) хлорид аммония | 1) гидролизуется по катиону |
| Б) сульфат калия | 2) гидролизуется по аниону |
| В) карбонат натрия | 3) гидролизу не подвергается |
| Г) сульфид алюминия | 4) гидролизуется по катиону и аниону |

6. К MnCl_2 добавили избыток MgS . Написать формулу мицеллы.

7. Какие классы веществ используют в качестве стабилизаторов суспензии и эмульсий? Какие критерии устойчивости при этом реализуются?

8. Процесс адсорбции газов и паров на поверхности твердых поглотителей.

9. Определите значения рН и рОН 0,023М раствора соляной кислоты.

Конспектирование тем лекций: Общие свойства металлов и сплавов. Методы получения металлов и основные стадии металлургического производства. Сплавы железа, меди, алюминия и области их применения. Химические свойства металлов и сплавов. Потенциал ионизации. Взаимодействие металлов с водой, водными растворами кислот и щелочей

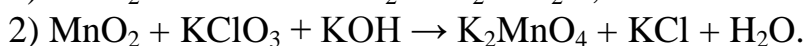
Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 245-247, с. 249-251, с. 254-259; 2, с. 111-138; 3, с. 20-28; с. 289-311; 6, с. 225-234]

Тема лабораторной работы: Окислительно-восстановительные реакции

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5412>

Контрольные вопросы:

1. Подберите коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методами электронного или ионно-электронного баланса, укажите окислители и восстановители.



2. Составить электронные уравнения и указать, какой процесс: окисление или восстановление происходит при следующих превращениях:



| | | |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1–3 с. 149-151 Пример 1–2 с. 154-155 Пример 1–3 с. 164-166 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 624, 626, 628 с. 143-147 № 642, 625 с. 156 № 672, 677 с. 166-167 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 259-273; 2, с. 139-144; 3, с. 28-32; 4, 251-260; 6, с. 234-240].

Тема лабораторной работы: Электрохимические системы.

Работа 1. Гальванические элементы. Направление окислительно-восстановительных процессов.

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5412> [с. 64-70].

Контрольные вопросы:

1. Вычислите потенциалы металлов, находящихся в контакте с растворами их солей с заданной активностью, (моль/л) катиона: Cd/CdCl₂, [Cd²⁺] = 0,01.

2. Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых медь служила бы катодом, а в другом – анодом. Напишите уравнения реакций, происходящих при работе этих элементов.

| | | |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-3 с. 156-161 Пример 1-3 с. 164-166 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 650, 651, 660 с. 162-164 № 672, 678 с. 166-167 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 259-273; 2, с. 156-166; 3, с. 28-32; 4, 251-260; 6, с.234-240].

Защита лабораторных работ по темам: Дисперсные системы. Окислительно-восстановительные реакции. Гальванические элементы. Направление окислительно-восстановительных процессов.

Защита лабораторных работ проводится в форме контрольной работы.

Контрольные вопросы:

1. Применение дисперсных систем.

2. Какая из приведенных ниже схем гальванических элементов является концентрационной?



3. Раствор содержит ионы Fe²⁺, Bi³⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ в одинаковой концентрации. В какой последовательности будут разряжаться эти ионы при электролизе раствора?

4. Подберите коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методом электронного или ионно-электронного баланса, укажите окислители и восстановители.



5. Установите соответствие между изменением степени окисления элемента и уравнением реакции, в которой это изменение происходит.

ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ
ОКИСЛЕНИЯ

- А) $Zn^0 \rightarrow Zn^{+2}$
Б) $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$
В) $Mn^{+7} \rightarrow Mn^{+4}$
Г) $Mn^{+4} \rightarrow Mn^{+2}$

УРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ

- 1) $FeCl_2 + Na_2S = FeS + 2NaCl$
2) $4Zn + 5H_2SO_4 = H_2S + 4ZnSO_4 + 4H_2O$
3) $MnO_2 + 4HCl = Cl_2 + MnCl_2 + 2H_2O$
4) $2FeCl_2 + Cl_2 = 2FeCl_3$
5) $2KMnO_4 + S = K_2SO_4 + 2MnO_2$

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 259-273, 259-273; 2, с. 139-144, с. 156-166; 3, с. 28-32; 4, 251-260; 6, с. 234-240].

Контрольная неделя 3

Вопросы и упражнения для самостоятельного решения

1. Какие реакции называют окислительно-восстановительными?
2. Почему электроды 2 рода используются в качестве электродов сравнения?
3. Строение молекул ПАВ. Применение ПАВ. Его влияние на поверхностное натяжение.
4. Напишите уравнения реакций, происходящих на электродах свинцового аккумулятора при его работе и зарядке и уравнение Нернста для этого аккумулятора.
5. Что называется электродным потенциалом? Как он возникает?
6. Подберите коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методом электронного или ионно-электронного баланса, укажите окислители и восстановители.
 $P + HNO_{3(конц.)} \rightarrow NO_2 + H_3PO_4 + H_2O$.
7. Вычислите концентрацию H^+ и pH среды, если концентрация OH^- ионов равна: 1) 10^{-8} моль/л; 2) 10^{-2} моль/л.
8. Определите, в каком направлении могут самопроизвольно протекать при стандартных условиях приведенные ниже окислительно-восстановительные реакции:
а) $NaI + Na_2SO_4 + H_2O \leftrightarrow I_2 + Na_2SO_3 + NaOH$;

Конспектирование тем лекций: Конструкционные материалы. Полимеры. Вяжущие материалы. Стекло, керамика

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 259-273, 259-273; 2, с. 139-144, с. 156-166; 3, с. 28-32; 4, 251-260; 6, с. 234-240].

**Тема лабораторной работы: Электрохимические системы.
Работа 2. Коррозия металлов.**

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5571> [с. 71-76].

Контрольные вопросы:

1. Какие процессы будут происходить на электродах при коррозии алюминия с примесью железа в щелочной среде? Какая химическая реакция при этом протекает?
2. Как происходит атмосферная коррозия луженого и оцинкованного железа при нарушении покрытия? Составьте уравнения анодного и катодного процессов. Приведите схемы образующихся гальванических элементов.

| | |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 1119, 1125 с. 218-219 |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 685-694; 3, с. 32-48;].

**Тема лабораторной работы: Электрохимические системы.
Работа 3. Электролиз водных растворов.**

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=5571> [с. 77-83].

Контрольные вопросы:

1. При рафинировании меди током 25 А выделяется 112 г меди за 4 часа. Рассчитать выход по току
2. При электролизе раствора CuCl_2 на аноде выделилось 560 мл газа (условия нормальные). Найдите массу меди, выделившейся на катоде. Приведите уравнения электродных процессов.

| | | |
|----|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример1–3 с. 168-171 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 686, 688, 699, 706 с. 171-173 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с.281-289; 2, с. 164-174].

Тема лабораторной работы: Химические свойства металлов

Электронный ресурс <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=3411> [с. 1-21].

Контрольные вопросы:

1. Бериллий и магний реагируют с водой очень медленно. Щелочноземельные металлы реагируют с водой значительно энергичнее. Чем это объясняется? Какие данные необходимы вам для качественного сопоставления процессов взаимодействия металлов с водой?

2. Какие продукты образуются при горении магния на воздухе? Напишите уравнения реакций их взаимодействия с водой.

| | | |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Разберите задачи с решениями | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. Пример 1-2 с. 188-190 |
| 2. | Решите задачи | Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с. № 757, 761 с. 190-191 № 1014, 1038 с. 207-217 |

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 316-337; 2, с. 188-191, 207-215].

Защита лабораторных работ по темам: Электрохимические системы. Работа 2. Коррозия металлов. Работа 3. Электролиз водных растворов. Химические свойства металлов.

Защита лабораторных работ проводится в форме контрольной работы.

Контрольные вопросы:

1. В паре с каким из приведенных ниже металлов электрохимическая коррозия железа будет протекать наиболее интенсивно?

1) Mg; 2) Zn; 3) Cu; 4) Sn; 5) Ag.

2. К металлам не относят элемент:

1- германий; 3- сурьма;
2- теллур; 4- галлий.

3. При электролизе водного раствора сульфата меди с инертными электродами на катоде происходит:

1-восстановление металлической меди; 3-выделение газообразного водорода;
2- окисление воды; 4- растворение материала катода.

4. При взаимодействии железа с концентрированной соляной кислотой образуется:

| | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1- хлорид железа (II) и водород; | 3- гидроксид железа (II) и хлор; |
|----------------------------------|----------------------------------|

5. Какие процессы протекают на электродах при электролизе водного раствора сульфата меди с инертными и медными электродами? Какую массу меди можно получить при электролизе этого раствора в течение 1 часа при силе тока 10 А?

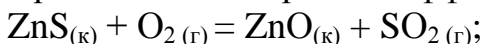
Для справки: $E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = +0,34\text{В}$; $E^\circ_{\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}} = +2,01\text{В}$

Для подготовки к занятию может быть рекомендована следующая литература: [1, с. 281-286, 685-691, с. 316-337; 2, с. 188-190].

Заключительная контрольная работа для бакалавра направления 190600 (23.03.03)

Контрольные вопросы:

1. Рассчитайте изменение стандартной энтальпии реакций (предварительно подберите коэффициенты):



2. Напишите уравнения превращений:



3. Как зависит скорость реакции от температуры?

4. Почему электроды 2 рода используются в качестве электродов сравнения?

5. Раствор содержит ионы Fe^{2+} , Bi^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} в одинаковой концентрации. В какой последовательности будут разряжаться эти ионы при электролизе раствора?

6. Проходя через раствор электролита, ток силой 2А за 44 минуты выделяет 2,3 г металла. Определить моль-эквивалент металла.

Контрольная неделя 4

Вопросы и упражнения для самостоятельного решения

1. Какие процессы протекают у катода и у анода при электролизе?

2. В чем отличия процессов электролиза с растворимым и нерастворимым анодами?

3. Назовите основные промышленные способы производства металлической меди. Какие химические процессы лежат в их основе? Укажите важнейшие сплавы меди и области их применения.

4. Объясните, почему магний хорошо растворяется в воде, содержащей аммонийные соли. Рассмотрите этот вопрос на примере растворения магния в растворе хлорида аммония.

1. Проходя через раствор электролита, ток силой 2А за 44 минуты выделяет 2,3 г металла. Определить моль-эквивалент металла.

3. Как будет протекать коррозия железа, покрытого магнием, в кислой среде и во влажном воздухе при нарушении целостности покрытия? Составить уравнения электродных процессов, указать тип покрытия и продукты

коррозии.

Для справки: $E^{\circ}_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -2,37 \text{ В}$; $E^{\circ}_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} = -0,44 \text{ В}$

6. Две железные пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластинок быстрее образуется ржавчина? Почему? Каков состав продуктов коррозии железа?

7. Сколько порошка алюминия и оксида железа (III) необходимо для приготовления 10,7 кг термита? Для каких целей используется эта смесь?

Вопросы к зачету и экзамену

| № п/п | Перечень вопросов |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Основные понятия и законы химии. Закон сохранения массы вещества и энергии. Закон постоянства состава. Закон эквивалентов. Закон кратных отношений. Типы химических реакций. |
| 2 | Классы неорганических соединений. Простые и сложные вещества. Оксиды. Основные, амфотерные и кислотные гидроксиды. Соли. Получение и свойства неорганических веществ. |
| 3 | Понятие об энтальпии. Стандартная энтальпия образования веществ. Закон Гесса. Следствия из закона Гесса. |
| 4 | Энтропия. Направление реакций в изолированных системах. Стандартная энтропия образования. |
| 5 | Энергия Гиббса. Энергия Гиббса образования веществ. Направление химических реакций неизолированных системах. |
| 6 | Скорость гомогенных реакций. Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ и температуры. Закон действия масс. |
| 7 | Химическое равновесие в гомогенных и гетерогенных системах. Константа равновесия. Основные факторы, влияющие на химическое равновесие. Принцип Ле-Шателье. |
| 8 | Катализ гомогенный и гетерогенный. Механизм действия катализаторов. |
| 9 | Растворы. Способы выражения состава растворов. Растворимость. Образование растворов. |
| 10 | Теория электролитической диссоциации. Степень диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Константа диссоциации. Закон разбавления Оствальда. |
| 11 | Гидролиз солей как частный случай протолитических реакций. |
| 12 | Слабые электролиты. Кислотно-основные свойства слабых протолитов. Константа кислотности и основности. |
| 13 | Водородный и гидроксильный показатели. Нейтральная, кислая и щелочная среда. |
| 14 | Произведение растворимости. Условие выпадения осадка из растворов. |
| 15 | Окислительно-восстановительные реакции. Окислительные и восста- |

| | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | новительные свойства простых и сложных веществ. Факторы, влияющие на протекание окислительно-восстановительных реакций. Классификация окислительно-восстановительных реакций. |
| 16 | Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронного баланса. Ионно-электронный метод. |
| 17 | Электродный потенциал. Двойной электрический слой на границе раздела фаз и причины его возникновения. Электродвижущая сила. Стандартный водородный электрод и водородная шкала потенциалов. Потенциалы металлических и окислительно-восстановительных электродов. Уравнение Нернста. |
| 18 | Направление окислительно-восстановительных процессов. Равновесие в электрохимических системах. Химические источники тока. Принцип работы элемента Даниэля-Якоби. Анодный и катодный процессы. Электродвижущая сила. Концентрационный элемент. Серноокислотные и щелочные аккумуляторы. |
| 19 | Коррозия металлов. Химическая и электрохимическая. Защита металлов от коррозии. |
| 20 | Электролиз расплавов и водных растворов с инертными и растворимыми электродами. Последовательность электродных процессов. Перенапряжение электрода. Законы Фарадея. |
| 21 | Высокомолекулярные полимеры. Органические, элементоорганические и неорганические полимеры. Степень полимеризации. Структура и состояния полимеров. |
| 22 | Общие свойства металлов и сплавов. Методы получения металлов и основные стадии металлургического производства. Сплавы железа, меди, алюминия и области их применения. |
| 23 | Химические свойства металлов и сплавов. Потенциал ионизации. Взаимодействие металлов с водой, водными растворами кислот и щелочей |
| 24 | Основные сведения о строении атомов. Электронные оболочки атомов. Характеристика поведения электронов в атомах. Квантовые числа. |
| 25 | Многочастичные атомы. Типы орбиталей. Порядок заполнения электронных уровней. |
| 26 | Периодический закон и периодическая система Д.И. Менделеева |
| 27 | Периодическое изменение свойств химических элементов. Энергия ионизации и сродство к электрону. Электроотрицательность элементов. Радиусы атомов и ионов. Металлические и окислительные свойства элементов и простых веществ. |
| 28 | Основные виды химической связи. Энергия, длина связи, валентный угол, полярность связи. |
| 29 | Природа ковалентной связи и механизм ее образования |
| 30 | Свойства ковалентной связи: насыщенность, направленность и поляризуемость |
| 31 | Полярность связи и полярность молекул |

| | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 32 | Структура ковалентных молекул АВ _n . |
| 33 | Основные понятия о методе молекулярных орбиталей. Молекулы элементов 1 периода типа А ₂ . |
| 34 | Метод МО. Двухатомные гомоядерные молекулы элементов 11 периода. |
| 35 | Метод МО. Двухатомные гетероядерные молекулы элементов 11 периода. |
| 36 | Ионная связь. Свойства соединений с ионной связью. Поляризуемость и поляризующее действие ионов. |
| 37 | Природа межмолекулярных сил. Водородная связь. |

Основная литература

1. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 728 с.
2. Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей и неорганической химии / Н. Л. Глинка. – М. : Интеграл-Пресс, 2008. – 240 с.

Дополнительная литература

3. Михайленко, Ю. А. Общая химия [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство» всех профилей и направлений / Ю. А. Михайленко. – Электрон. издан. – Кемерово : КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб ; Windows 2003; (CD-ROM-дисковод); мышь. – Загл. с экрана.
URL: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90943&type=utchposob:common>
4. Коровин, Н. В. Общая химия / Н. В. Коровин. – М. : Высш. шк., 2005. – 557 с.
5. Павлов, Н. Н. Общая и неорганическая химия / Н. Н. Павлов. – М. : Дрофа, 2002. – 447 с.
6. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия / Н. С. Ахметов. – М. : Высш. шк., 2005. – 743 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра эксплуатации автомобилей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выпускной квалификационной работе
для студентов направления подготовки 23.03.03 (190600.62)
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Составители А. И. Подгорный
Д. В. Стенин
А. Г. Кульпин
В. Е. Ашихмин
А. С. Фурман

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 4 от 17.11.2014

Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 23.03.03 (190600.62)
Протокол № 2 от 18.11.2014

Электронная копия хранится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2015

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1.1. Цель и задачи выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа (ВКР) является заключительным этапом подготовки студента к профессиональной деятельности. К выполнению ВКР допускаются студенты, сдавшие зачеты, экзамены и курсовые проекты по всем дисциплинам, учебным, технологической и производственной практикам, государственный экзамен.

Цель ВКР – выявление степени усвоения студентом полученных в университете знаний и подготовленности его к самостоятельной работе на предприятиях по технической эксплуатации автомобилей.

Задача ВКР – самостоятельная разработка комплексной темы, которая дает возможность систематизировать и закрепить общетеоретические и специальные знания и практические навыки студента по избранной специальности.

При выполнении ВКР студент должен правильно обосновать и сформулировать задачи, решаемые в работе; использовать современные формы и методы организации технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей; уметь выполнять расчеты, пользоваться справочно-нормативными материалами при разработке технологической части; уметь использовать результаты собственных исследований в процессе обучения. Студент несет полную ответственность за принятые в работе решения.

Защита ВКР осуществляется строго по графику работы государственной экзаменационной комиссии, утвержденному заведующим кафедрой.

1.2. Примерная тематика и структура ВКР

Темы ВКР, нося комплексный характер, предусматривают решение как технических, организационных, так и экономических задач и разрабатываются на базе действующих предприятий с решением конкретных практических вопросов. Тематика ВКР должна быть перспективной и учитывать предполагаемое развитие автомобильного транспорта на ближайшие 5 лет.

ВКР состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Объем расчетно-пояснительной записки составляет 50-60 страниц. Объем графической части – 5-6 листов формата А1.

В структуру ВКР входят следующие разделы:

1. Техничко-организационная часть.
2. Технологическая часть.
3. Конструкторская часть
4. Охрана труда.

1.3. Организация работы и защита ВКР

Темы ВКР выбираются студентами, согласуются с руководителем, после чего составляется приказ по университету, который утверждается ректором. Изменять тему ВКР без уведомления об этом руководителя запрещается. В соответствии с темой руководитель выдает студентам задание по изучению объектов и сбору материала к ВКР.

Студент должен разработать календарный график работы над ВКР на весь период работы с указанием очередности выполнения разделов и после одобрения руководителем представить его на утверждение заведующему выпускающей кафедрой.

Руководитель ВКР оказывает помощь студенту в разработке календарного графика работы, рекомендует необходимую литературу, дает консультации по мере необходимости и проверяет выполнение ВКР по разделам и в целом. В целях оказания методической помощи и осуществления оперативного контроля над выполнением ВКР руководитель устанавливает сроки обязательных консультаций. При систематической неявке студента на обязательные консультации руководитель проекта вправе ходатайствовать перед кафедрой об отстранении студента от работы над ВКР и его отчисления из университета.

Для осуществления общего контроля в период работы над ВКР на кафедре проводятся рубежные контроли. Сроки рубежных контролей устанавливаются в соответствии с календарным графиком работы над ВКР. Рубежный контроль проводится руководителем, результаты рассматриваются на заседании кафедры. На рубежный контроль студент должен представить руководителю весь объем проделанной работы.

Студент аттестуется положительно, если выполнен установленный календарным графиком объем работы, и отрицательно – в случае его значительного отставания от графика выполнения ВКР или в случае неявки на аттестацию.

Студенты, получившие отрицательную аттестацию, в недельный срок вызываются на заседание кафедры для выяснения причины их отставания, и решается вопрос о продолжении работы студентом над ВКР.

Студенты, не прошедшие третий рубежный контроль, к защите ВКР не допускаются и отчисляются из университета.

Готовность ВКР определяется руководителем и подтверждается его подписью на каждом формате графической части и в установленных местах текстовых материалов. Они подписываются вначале студентом, затем консультантом, руководителем и нормоконтролером.

Готовую ВКР студент представляет в указанный в задании и календарном графике срок заведующему выпускающей кафедрой.

Заведующий кафедрой на основании представленных материалов решает вопрос о допуске студента к защите ВКР, делая об этом соответствующие записи на расчетно-пояснительной записке и листах графической части. Если заведующий кафедрой не считает возможным рекомендовать дипломный проект к защите, вопрос рассматривается на заседании кафедры с обязательным участи-

ем руководителя проекта. Протокол заседания кафедры представляется на утверждение ректору университета.

ВКР студента, допущенная к защите, регистрируется у секретаря ГЭК не позднее, чем за двое суток до дня защиты. График работы ГЭК утверждается заведующим кафедрой.

На заседании ГЭК студенту для доклада предоставляется 10 мин. После доклада члены ГЭК задают студенту устные и письменные вопросы.

По результатам защиты ВКР определяется оценка (“отлично”, “хорошо”, “удовлетворительно” или “неудовлетворительно”), которая объявляется студенту в день защиты после закрытого заседания ГЭК.

Если защита ВКР признана неудовлетворительной, то студент обязан разработать новую ВКР, тема которой выдается кафедрой, и представить ее на защиту через год.

2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНИКО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЧАСТИ

В самом начале технико-организационной части приводится правильное полное название предприятия и его юридический адрес.

В технико-организационной части приводится общий анализ работы технической службы автотранспортного предприятия и подробный анализ работы проектируемого производственного подразделения, а также намечаются мероприятия по улучшению работы, которые подробно разрабатываются в технологической части дипломного проекта.

Анализ работы технической службы предприятия в целом и проектируемого производственного подразделения в частности проводится по материалам практики. При этом необходимо пользоваться рекомендациями нормативных документов и учебной литературы, а также лекционных курсов «Производственные процессы ТО и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» и «Техническая эксплуатация автомобилей».

Технико-организационная часть должна содержать следующие подразделы.

2.1. Анализ работы технической службы автотранспортного предприятия

2.1.1. Структура системы управления службой ТЭА для принятого метода организации ТО и ТР

Приводится структура системы управления ТЭА для данного предприятия и описываются задачи, для выполнения которых создаются производственные подразделения, составляющие ее организационно-производственную структуру, и функции этих подразделений.

Определяется метод организации производства ТО и ТР автомобилей на АТП (специализированных бригад, комплексных бригад, агрегатно-участковый) и приводится структура технической службы при организации по этому методу.

2.1.2. Соответствие фактически осуществляемых методов организации технологического процесса ТО и ТР, принятым на данном АТП.

Результаты анализа оформляются в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1. Соответствие методов организации технологического процесса ТО и ремонта, принятым на АТП

| Виды технических воздействий | Методы организации ТО и ремонта | | Причины несоответствия |
|------------------------------|---------------------------------|-------------|------------------------|
| | Принятый на АТП | фактический | |
| | | | |

На основании перечисленных в табл. 2.1 причин несоответствия фактически осуществляемых методов организации технологического процесса ТО и ремонта, принятым на АТП, ставятся задачи по совершенствованию уровня организации подготовки производства ТО и ремонта и намечаются мероприятия по их решению.

2.1.3. Структура парка по пробегу, сроку службы и автомобиле-часам

На организацию ТО и ремонта, на потребность в производственно-технической базе, материальных и трудовых ресурсах влияют следующие основные характеристики и параметры подвижного состава, которые необходимо привести в этом подпункте:

- тип (грузовые, легковые, автобусы, прицепы, полуприцепы и т. д.);
- назначение и модификация (общетранспортного назначения, специализированные, специальные и др.);
- грузоподъемность и вместимость;
- вид применяемого топлива;
- габаритные размеры.

Основные характеристики и параметры подвижного состава заносятся в табл. 2.2.

Приводится распределение подвижного состава АТП по пробегу с начала эксплуатации, сроку службы и автомобиле-часам (для предприятий, которые не совершают транспортной работы и относятся к автообслуживающим).

Результаты представляются в табл. 2.3 и 2.4. Границы интервалов пробегов, сроков службы и автомобиле-часов могут приниматься в соответствии с отчетными данными предприятия.

Таблица 2.2. Основные характеристики и параметры подвижного состава предприятия

| Марка Автомобиля | Тип | Назначение | Грузоподъемность, вместимость | Вид используемого топлива | Габаритные размеры |
|------------------|-----|------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1. | | | | | |
| 2. | | | | | |
| Итого | | | | | |

Таблица 2.3. Нарботка автомобилей в долях от пробега до КР

| Марка автомобиля | Списочное количество | | Количество автомобилей, имеющих пробег в долях от пробега до КР | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | все-го | прошедших КР | до 0,25 | 0,25-0,5 | 0,5-0,75 | 0,75-1,0 | 1,0-1,25 | 1,25-1,5 | 1,5-1,75 | 1,75-2,0 | более 2,0 |
| 1. | | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | | |
| Итого | | | | | | | | | | | |

Таблица 2.4. Нарботка автомобилей в годах

| Марка автомобиля | Количество автомобилей, имеющих срок службы в годах | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------|
| | до 1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | более 10 |
| 1. | | | | | | | | | | | |
| 2. | | | | | | | | | | | |
| Итого | | | | | | | | | | | |

По данным табл. 2.3, 2.4 необходимо сделать выводы о техническом состоянии автомобилей и возможности их дальнейшей эксплуатации.

2.1.4. Сравнение нормативного и фактического коэффициентов технической готовности.

Численные значения фактического коэффициента технической готовности α_{TF} для каждой марки автомобиля принимаются на основании отчетной документации АТП.

Расчет нормативного коэффициента технической готовности α_{TH} производится для каждой марки автомобилей за отчетный период.

Исходные данные для расчета приводятся в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Исходные данные для расчета коэффициента технической готовности.

| Марка автомобиля | $A_{СП}$, ед. | L_{cc} , км | $D_{ТО}$ | $D_{ТР}$ | $D_{КР}$ | $K_{ТО}$ | $K_{ТР}$ | L_2 | $A_{КР}$ | $d_{ТР}$ | $L_{П}$ | L |
|---------------------|-------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|---------|-----|
| 1. | | | | | | | | | | | | |
| 2. и т.д. | | | | | | | | | | | | |

Нормативный коэффициент технической готовности

$$\alpha_{TH} = \frac{1}{1 + L_{cc} \left[\left(\frac{D_{ТО} K_{ТО}}{L_2} \right) + \left(\frac{d_{ТР} K_{ТР}}{1000} \right) + \left(\frac{D_{КР} A_{КР}}{L_{П} A_{СП}} \right) \right]}, \quad (2.1)$$

где L_{cc} – среднесуточный пробег автомобиля, км;
 D_{TO} – простои в ТО-2 (для расчета принимается $D_{TO} = 1$);
 K_{TO} , K_{TP} – коэффициенты использования сменного (рабочего) времени автомобилей;
 L_2 – периодичность ТО-2, км;
 d_{TP} – удельная норма простоя в TP, дней/1000 км;
 D_{KP} – продолжительность простоя в KP, дней;
 A_{KP} – число автомобилей, подлежащих KP за рассматриваемый период, ед.;
 L_{II} – пробег автомобиля за отчетный период, км;
 $A_{СП}$ – списочное число автомобилей, ед.

Удельная норма простоев автомобилей в TP

$$d_{TP} = \frac{1000D_{TP}}{K_{TP}L}, \quad (2.2)$$

где D_{TP} – суммарное фактическое число дней простоя автомобилей в TP за отчетный период, дней;
 L – суммарный фактический пробег автомобилей за отчетный период (определяется с учетом L_{cc} и $\alpha_{TФ}$), км.

Результаты проведенного анализа сводятся в таблицу 2.6.

Таблица 2.6. Сравнение коэффициентов технической готовности

| Марка автомобиля | Коэффициент технической готовности | | Причины несоответствия |
|------------------|------------------------------------|-------------|------------------------|
| | нормативный | фактический | |
| 1. | | | |
| 2. и т.д. | | | |

По данным табл. 2.6 делаются выводы о техническом состоянии автомобилей и намечаются мероприятия по повышению коэффициента технической готовности.

2.1.5. Соответствие имеющихся штатов проектируемого подразделения действующему штатному расписанию

Необходимо отразить сведения об имеющихся штатах в проектируемом подразделении, сделать выводы об укомплектованности рабочими для выполнения требуемой производственной программы. Штат ремонтных рабочих должен предусматривать выполнений полной программы по соответствующим видам технических воздействий без участия водителей.

В случае участия водителей в выполнении суточной производственной программы необходимо уточнить фактически выполняемые водителями объем работ и перечень основных операций.

Результаты проведенного анализа оформляются в виде табл. 2.7.

Таблица 2.7. Соответствие штатов действующему штатному расписанию

| Производственное подразделение | Должность, специальность, квалификация | Численность | | Суточная программа | Доля работ, выполняемых водителями |
|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------|--------------------|------------------------------------|
| | | по штатному расписанию | фактически | | |
| | | | | | |

По результатам проведенного анализа дается заключение о целесообразности привлечения водителей к выполнению отдельных видов работ.

2.1.6. Режим работы производственных подразделений технической службы.

В данном пункте необходимо сделать вывод о соответствии режима работы подразделений технической службы АТП рекомендуемому нормативными документами для этих подразделений. Допускается вносить предложения по изменению режима работы подразделений АТП.

2.1.7. Сравнение выполняемых в проектируемом подразделении операций с установленными нормативными документами (выполняется при проектировании зон ТО, ЕО, ПР и диагностики).

На основании результатов наблюдений студент при прохождении практики регистрирует перечень операций, выявляет операции, невыполняемые при ЕО, ТО, ПР и диагностике и устанавливает причины их невыполнения. Данные наблюдений приводятся в табл. 2.8.

Таблица 2.8. Перечень невыполняемых операций

| Производственная зона | Перечень операций | Причины невыполнения |
|-----------------------|-------------------|----------------------|
| | | |

2.2. Анализ технологических планировок зоны (участка).

а) Оценка рациональности размещения проектируемого производственного помещения.

Производится описание размещения проектируемого производственного подразделения относительно тяготеющих к нему зон (участков).

Основой размещения является функциональная технологическая схема и график производственного процесса, в соответствии с которыми должно обеспечиваться независимое и при необходимости последовательное прохождение автомобилем отдельных этапов ТО и ТР.

Делаются выводы о рациональности размещения зоны (участка).

б) Анализ рациональности схемы организации движения автомобилей в проектируемой зоне.

Дается оценка рациональности схемы движения автомобилей и ее соответствия рекомендуемым для принятых технологических процессов ТО и ТР.

в) Расчет коэффициентов удельной площади на 1 автомобиль для помещений ТО и ТР (выполняется при проектировании зоны).

Площадь, занимаемая автомобилями, принимается из табл. 2.2.

Коэффициент удельной площади на 1 автомобиль или коэффициент плотности расстановки постов:

$$K_{\Pi} = \frac{(F_{Д} + F_{\text{проезд}} + F_{\text{прох.}} + F_{\text{р.м.}})}{F_{Д}}, \quad (2.3)$$

где $F_{Д}$ – площадь, занимаемая автомобилем в плане, м^2 ;

$F_{\text{проезд}}$ – площадь, занимаемая проездами, м^2 ;

$F_{\text{прох.}}$ – площадь, занимаемая проходами, м^2 ;

$F_{\text{р.м.}}$ – площадь, занимаемая рабочими местами, м^2 .

Делается вывод о соответствии расчетного значения нормативному.

г) Расчет площади и объема на одного работающего в производственных помещениях (выполняется при проектировании производственного участка).

Площадь на одного работающего в производственных помещениях:

$$F_1 = \frac{F_{nn}}{F_{uu}}, \text{ м}^2/\text{чел.}, \quad (2.4)$$

где F_{nn} – площадь производственного помещения, м^2 ;

F_{uu} – число рабочих по штатному расписанию АТП, чел.

Объем на одного работающего в производственных помещениях:

$$V_1 = F_1 \cdot H_n, \text{ м}^3/\text{чел.}, \quad (2.5)$$

где H_n – высота помещения, м.

Делается вывод о соответствии расчетного значения нормативному.

д) Расчет коэффициента плотности расстановки оборудования.

Коэффициент плотности расстановки оборудования:

$$K_{no} = \frac{(F_{об} + F_{\text{прох.}} + F_{\text{р.м.}})}{F_{об}}, \quad (2.6)$$

где $F_{об}$ – суммарная площадь горизонтальной проекции по габаритным размерам технологического оборудования, м².

Делается вывод о соответствии расчетного значения нормативному.

е) Технологическое оборудование, используемое в проектируемой зоне (участке).

Составляется перечень технологического оборудования и оформляется в виде спецификации, которую приводят либо в данном пункте, либо в приложении.

Делается анализ соответствия применяемого технологического оборудования рекомендациям нормативных документов, его технического состояния, выявляется морально и физически устаревшее технологическое оборудование, требующего замены на современное.

2.3. Простои автомобилей в ТО и ТР.

Сведения о простоях автомобилей, собранные методом экспертного опроса, обрабатываются с целью получения единого мнения экспертов относительно удельного веса каждой причины простоев в зонах ТО и ТР. Приводится граф распределения простоев по подразделениям технической службы.

Определяется доля простоев, приходящаяся на проектируемое подразделение, выявляются основные причины.

2.4. Выводы

Необходимо отметить недостатки, выявленные в результате анализа проектируемого подразделения, и наметить мероприятия по их устранению при проведении реконструкции данного участка (зоны).

3. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

В технологической части на основании данных технико-организационной части (марка и списочное количество автомобилей на автотранспортном предприятии $A_{сн}$, ед.; количество автомобилей прошедших капитальный ремонт $A_{кр}$, ед.; пробег автомобилей в долях от нормативного пробега до капитального ремонта; среднесуточный пробег $l_{сс}$, км; категория условий эксплуатации (КУЭ); климат; количество смен работы автомобилей на линии) проводится:

- расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей;

- расчет объёмов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства;

- расчет числа постов и линий в зонах ежедневного обслуживания (ЕО), технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР), диагностики (Д1-Д2);

- расчет площадей производственных, складских помещений и стоянок транспортных средств;

- графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО, ТР или хранения;

- обоснование и подбор технологического оборудования;

- разработка технологической карты проведения операций технического обслуживания или ремонта автомобилей.

Графическая часть технологической части ВКР включает в себя 3 листа формата А1:

- главный производственный корпус;

- генеральный план автотранспортного предприятия (АТП);

- планировка зоны ТО или ТР или Д1 или Д2 или ежедневного обслуживания ЕО или планировка производственного участка.

Конкретное содержание графической части устанавливается руководителем ВКР на основании темы.

Технологическая часть должна содержать следующие подразделы.

3.1. Расчет производственной программы по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей

3.1.1. Выбор исходных данных

Если заданием на проектирование АТП предусмотрено несколько марок автомобилей, то по возможности их объединяют в технологические группы. В зависимости от типа подвижного состава «Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (далее Положение) установлено пять технологически совместимых групп [2, с. 39]. Число автомобилей в технологически совместимой группе должно быть не менее 20 [2, с. 32].

Нормативные значения периодичности и трудоёмкости работ, а также коэффициенты корректирования выбирают из Положения. Положением предусмотрено пять коэффициентов корректирования нормативов технической эксплуатации автомобилей:

K_1 – коэффициент корректирования, учитывающий категорию условий эксплуатации [1, с. 26];

K_2 – коэффициент корректирования, учитывающий модификацию подвижного состава [1, с. 27];

K_3 – коэффициент корректирования, учитывающий климатические условия [1, с. 27];

K_4 – коэффициент корректирования нормативов удельной трудоемкости текущего ремонта в зависимости от пробега с начала эксплуатации [1, с. 28];

K'_4 – коэффициент корректирования нормативов продолжительности простоя в техническом обслуживании и ремонте в зависимости от пробега с начала эксплуатации [1, с. 28];

K_5 – коэффициент корректирования, учитывающий количество автомобилей и технологически совместимых групп на предприятии [1, с. 29].

Выбранные нормативы и коэффициенты корректирования должны быть представлены в виде табл. 3.1 и 3.2 соответственно.

Таблица 3.1. Нормативы периодичности и трудоёмкости воздействий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей

| № группы | Д _{ТО-ТР} , дн./1000 км | Д _{КР} , дн. | Д _{раб.з.} , дн. | Д _т , дн. | Д _{КР} , дн. | Д _{рц} , дн. | Д _{эц} , дн. | α_T | η_G |
|----------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|----------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | |

Таблица 3.2. Коэффициенты корректирования нормативов технической эксплуатации автомобилей

| Коэффициенты корректирования | Значения коэффициентов корректирования | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------------|----|----|----------|----|----|----------|----|----|
| | 1 группа | | | 2 группа | | | i группа | | |
| | ТО | ТР | КР | ТО | ТР | КР | ТО | ТР | КР |
| K_1 | | | | | | | | | |
| K_2 | | | | | | | | | |
| K_3 | | | | | | | | | |
| K_4 | | | | | | | | | |
| K'_4 | | | | | | | | | |
| K_5 | | | | | | | | | |

3.1.2. Корректирование нормативов технической эксплуатации автомобилей

Корректирование периодичности ТО проводят по формуле

$$l_{TO-i} = l_{TO-i}^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км [1, с. 29]} \quad (3.1)$$

где l_{TO-i}^H – нормативная периодичность ТО i -го вида, км.

Корректирование пробега до первого капитального ремонта:

$$L_{KP1} = L_{KP}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ км [1, с. 29]} \quad (3.2)$$

Корректирование трудоемкости ЕО:

$$t_{EO} = t_{EO}^H \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_M, \text{ чел.-ч [2, с. 40]} \quad (3.3)$$

где t_{EO}^H – нормативная трудоёмкость ЕО, чел.-ч (табл. 3.3.);

K_M – коэффициент, учитывающий снижение трудоемкости за счет механизации работ ЕО.

$$K_M = 1 - \frac{M}{100}, \text{ [2, с. 40]} \quad (3.4)$$

где M – доля работ ЕО, выполняемых механизированным способом, % (табл. 3.3 [2, с. 41] выбирают те работы, которые планируется механизировать, а сумма процентов снижения трудоемкости работ и будет составлять M).

Корректирование трудоемкости ТО:

$$t_{TO-i} = t_{TO-i}^H \cdot K_2 \cdot K_5, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (3.5)$$

где t_{TO-i}^H – нормативная трудоёмкость ТО i -го вида, чел.-ч.

Таблица 3.3. Примерное распределение трудоемкости ЕО по видам работ (в процентах) при выполнении мойки автомобилей немеханизированным способом

| Работы | Тип автотранспортных средств | | | |
|------------|------------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
| Уборочные | 30 | 45 | 23 | 25 |
| Моечные | 55 | 35 | 65 | 65 |
| Обтирочные | 15 | 20 | 12 | 10 |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 |

Примечание. При полной механизации уборочно-моечных работ необходимо предусматривать трудоемкость для работы оператора по управлению механизированными установками – 10% от трудоемкости ЕО.

Корректирование трудоемкости ТР

$$t_{TP} = t_{TP}^H \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, [2, \text{с. 41}] \quad (3.6)$$

где t_{TP}^H – нормативная трудоёмкость ТР, чел.-ч/1000 км.

Скорректированные значения периодичности и трудоемкости воздействий сводят в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Скорректированные периодичность и трудоёмкость воздействий

| № группы | Скорректированная периодичность, км | | | Скорректированная трудоёмкость: ТО, чел.-ч; ТР, чел.-ч/1000 км | | | |
|----------|-------------------------------------|------------|-----------|----------------------------------------------------------------|------------|------------|----------|
| | $l_{ТО-1}$ | $l_{ТО-2}$ | $L_{КР1}$ | $t_{ЕО}$ | $t_{ТО-1}$ | $t_{ТО-2}$ | $t_{ТР}$ |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| I | | | | | | | |

3.1.3. Расчёт средневзвешенного пробега до первого капитального ремонта

Средневзвешенный пробег до первого капитального ремонта определяют по формуле

$$L'_{КР} = \frac{L_{КР1} \cdot A_H + L_{КР2} \cdot A_{КР}}{A_{СП}}, \text{ км} \quad (3.7)$$

где $L_{КР2}$ – пробег до второго капитального ремонта, км;

A_H – количество автомобилей, не прошедших капитальный ремонт, ед.

$$L_{КР2} = 0,8 \cdot L_{КР1}, \text{ км} \quad (3.8)$$

$$A_H = A_{СП} - A_{КР}, \text{ ед} \quad (3.9)$$

Расчетные данные по средневзвешенному пробегу до первого капитального ремонта сводят в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Средневзвешенный пробег до первого КР

| № группы | A_H , ед. | $L_{КР2}$, км | $L'_{КР}$, км |
|----------|-------------|----------------|----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| I | | | |

3.1.4. Расчет коэффициента технической готовности

Коэффициент технической готовности определяют по формуле

$$\alpha_T = \frac{D_{эц}}{D_{эц} + D_{рц}} < 1, [2, с. 35] \quad (3.10)$$

где $D_{эц}$ – число дней нахождения автомобиля за цикл в технически исправном состоянии, т.е. дней эксплуатации за цикл, дн.;

$D_{рц}$ – число дней простоя автомобиля в ТО и ремонтах за цикл, дн.

$$D_{эц} = \frac{L'_{КР}}{l_{сс}}, \text{ дн. } [2, с. 35] \quad (3.11)$$

$$D_{рц} = D_{КР} + \frac{D_{ТО-ТР} \cdot L'_{КР} \cdot K'_4}{1000}, \text{ дн. } [2, с. 36] \quad (3.12)$$

где $D_{КР}$ – число дней простоя автомобилей в КР на специализированном предприятии, с учетом числа затраченных дней на транспортирование автомобиля из АТП на авторемонтное предприятие и обратно, дн.;

$D_{ТО-ТР}$ – удельный простой автомобилей в ТО и ТР, дн./1000 км пробега (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Нормы простоя подвижного состава в ТО и ремонте

| Подвижной состав | $D_{ТО-ТР}$, дн./1000 км | $D'_{КР}$, дн. |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Легковые автомобили | 0,3-0,4 | 18 |
| Автобусы особо малого, малого и среднего классов | 0,3-0,5 | 20 |
| Автобусы большого класса | 0,5-0,55 | 25 |
| Грузовые автомобили особо малой, малой и средней грузоподъемности | 0,4-0,5 | 15 |
| Грузовые автомобили большой и особо большой грузоподъемности | 0,5-0,55 | 22 |
| Прицепы и полуприцепы | 0,1-0,15 | – |

$$D_{КР} = D'_{КР} + D_T, \text{ дн. } [2, с. 36] \quad (3.13)$$

где $D'_{КР}$ – нормативный простой автомобиля в КР на авторемонтном заводе, дн. [2, с. 36];

D_T – число дней, затраченных на транспортирование автомобиля из АТП на авторемонтное предприятие и обратно.

$$D_T = (0, 1 \dots 0, 2) \cdot D'_{КР}, \text{ дн. [2, с. 36]} \quad (3.14)$$

3.1.5. Расчет коэффициента перехода от цикла к году

$$\eta_T = \frac{D_{\text{раб.г}} \cdot \alpha_T}{D_{\text{ци}}}, \text{ [2, с. 37]} \quad (3.15)$$

где $D_{\text{раб.г}}$ – количество рабочих дней в году, дн. (табл. 3.7).

Таблица 3.7. Рекомендуемый режим работы производства

| Наименование вида работ по ТО и ТР подвижного состава | Рекомендуемый режим работы АТП | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | Число рабочих дней в году $D_{\text{раб.г}}$ | Число рабочих смен в сутки C_M | Период выполнения работ (смены) |
| Работы по ЕО | 302 | 2 | II, III |
| | 354 | 3 | I-III |
| | 365 | 3 | I-III |
| Диагностирование общее (Д-1) | 252 | 1 | I |
| Диагностирование углубленное (Д-2) | 302 | 2 | I, II |
| ТО-1 | 252 | 1 | II |
| | 302 | 2 | II, III |
| ТО-2 | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Регулировочные и разборочные работы по ТР | 252 | 2 | I, II |
| | 302 | 3 | I-III |
| | 354 | 3 | I-III |
| Окрасочные работы | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Агрегатные и слесарно-механические, электротехнические работы, ремонт приборов системы питания, шиномонтажные, вулканизационные, кузнечно-рессорные, медницкие, сварочные, жестяницкие, арматурные, деревообрабатывающие, обойные, радиоремонтные работы | 252 | 1 | I |
| | 302 | 2 | I, II |
| Аккумуляторные работы | 302 | 2 | I, II |
| | 354 | 2 | I, II |
| Таксометровые работы | 302 | 2 | I, II |
| | 354 | 2 | I, II |

Примечание. Больше число рабочих дней в году и смен в сутки следует принимать для АТП мощностью 300 и более грузовых автомобилей, а также для АТП ведомственного транспорта.

Расчетные данные сводятся в таблицу 3.8.

Таблица 3.8. Коэффициенты технической готовности и перехода от цикла к году

| № группы | Д _{ТО-ТР} , дн./ 1000 км | Д _{КР} , дн. | Д _{раб.г.} , дн. | Д _Т , дн. | Д _{КР} , дн. | Д _{рц} , дн. | Д _{эц} , дн. | α_T | η_Γ |
|----------|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|---------------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| i | | | | | | | | | |

3.1.6. Расчёт количества воздействий по автомобилю и парку за год

Количество воздействий за цикл

Количество ЕО за цикл определяют по формуле

$$N_{EO}^y = \frac{L'_{КР}}{l_{cc}} [2, \text{с. 34}] \quad (3.16)$$

Количество ТО-2 за цикл:

$$N_{ТО-2}^ц = \frac{L'_{КР}}{l_{ТО-2}} - 1 [2, \text{с. 34}] \quad (3.17)$$

Количество ТО-1 за цикл:

$$N_{ТО-1}^ц = \frac{L'_{КР}}{l_{ТО-1}} - N_{ТО-2}^ц - 1 [2, \text{с. 34}] \quad (3.18)$$

Количество воздействий за год по автомобилю

Количество ЕО за год по автомобилю:

$$N_{EO}^\Gamma = N_{EO}^y \cdot \eta_\Gamma [2, \text{с. 35}] \quad (3.19)$$

Количество ТО-1 за год по автомобилю:

$$N_{ТО-1}^\Gamma = N_{ТО-1}^ц \cdot \eta_\Gamma [2, \text{с. 35}] \quad (3.20)$$

Количество ТО-2 за год по автомобилю:

$$N_{TO-2}^{\Gamma} = N_{TO-2}^u \cdot \eta_{\Gamma} \quad [2, \text{с. 35}] \quad (3.21)$$

Количество воздействий за год по парку

Количество ЕО за год по парку:

$$N_{EO}^{\Gamma\Pi} = N_{EO}^{\Gamma} \cdot A_{cn} \quad [2, \text{с. 35}] \quad (3.22)$$

Количество ТО-1 за год по парку:

$$N_{TO-1}^{\Gamma\Pi} = N_{TO-1}^{\Gamma} \cdot A_{cn} \quad [2, \text{с. 35}] \quad (3.23)$$

Количество ТО-2 за год по парку:

$$N_{TO-2}^{\Gamma\Pi} = N_{TO-2}^{\Gamma} \cdot A_{cn} \quad [2, \text{с. 35}] \quad (3.24)$$

Количество Д-1 за год по парку:

$$N_{D-1}^{\Gamma\Pi} = 1,1 \cdot N_{TO-1}^{\Gamma\Pi} + N_{TO-2}^{\Gamma\Pi} \quad [2, \text{с. 38}] \quad (3.25)$$

Количество Д-2 за год по парку:

$$N_{D-2}^{\Gamma\Pi} = 1,2 \cdot N_{TO-2}^{\Gamma\Pi} \quad [2, \text{с. 38}] \quad (3.26)$$

Расчетные данные по количеству воздействий должны быть представлены в виде табл. 3.9.

Таблица 3.9. Количество воздействий по автомобилю и парку за год

| № группы | Д _{ТО-гр} , дн./ 1000 км | Д _{кр} , дн. | Д _{раб.г} , дн. | Д _т , дн. | Д _{кр} , дн. | Д _{рц} , дн. | Д _{эц} , дн. | α_T | η_{Γ} |
|----------|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|-----------------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| i | | | | | | | | | |

3.1.7. Определение суточной производственной программы по ТО и диагностированию автомобилей

По видам ТО и диагностированию суточная производственная программа

$$N_j^c = \frac{N_j^{\Gamma\Pi}}{D_{раб.г(j)}} \quad [2, \text{с. 38}] \quad (3.27)$$

где $N_j^{ГП}$ – годовая программа по каждому виду ТО и диагностики в отдельности;

$D_{раб.з}(j)$ – годовое число рабочих дней зоны, предназначенной для выполнения того или иного вида ТО и диагностирования автомобилей (табл. 3.9).

3.1.8. Выбор метода организации диагностирования на АТП

Диагностирование подвижного состава на АТП может проводиться отдельно или совмещаться с ТО и ТР. Формы организации диагностирования зависят от мощности АТП, типа подвижного состава, его разномарочности, используемых средств диагностирования, наличия производственных площадей.

На небольших АТП со списочным составом до 150 технологически совместимых автомобилей и при смешанном парке все виды диагностирования рекомендуется проводить на отдельном участке диагностирования, оснащённом комбинированным диагностическим стендом, или совместно с ТО и ТР переносными приборами.

Для средних АТП с числом 150-200 и более автомобилей целесообразно посты Д-1 и Д-2 иметь раздельными. Для крупногабаритного подвижного состава, при реконструкции АТП и ограниченных производственных площадях, а также при организации ТО-1 на поточных линиях Д-1 рекомендуется проводить совместно с ТО-1.

Для крупных АТП с числом автомобилей более 400 и при наличии высокопроизводительных, автоматизированных диагностических средств Д-1 и Д-2 проводятся в отдельных помещениях. При этом помимо постов Д-1 и Д-2, необходимо иметь посты и средства диагностирования в зоне ТР (стенды для контроля и регулировки тормозов и углов установки управляемых колес) [2, с. 52].

3.2. Расчет объёмов работ и количества производственных рабочих в подразделениях производства

3.2.1. Годовой объём работ по ТО и ТР

Объём работ по ЕО, ТО-1 и ТО-2 ($T_{ЕО}^Г$, $T_{ТО-1}^Г$, $T_{ТО-2}^Г$) за год определяют произведением числа ТО за год по парку на скорректированное значение трудоемкости данного вида ТО:

$$T_{ЕО}^Г = N_{ЕО}^{ГП} \cdot t_{ЕО}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (3.28)$$

$$T_{ТО-1}^Г = N_{ТО-1}^{ГП} \cdot t_{ТО-1}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (3.29)$$

$$T_{TO-2}^{\Gamma} = N_{TO-2}^{\Gamma\Pi} \cdot t_{TO-2}, \text{ чел.-ч [2, с. 41]} \quad (3.30)$$

Годовой объём ТР:

$$T_{TP}^{\Gamma} = \frac{L_{\Gamma} \cdot A_{сн} \cdot t_{TP}}{1000}, \text{ чел.-ч/1000 км [2, с. 42]} \quad (3.31)$$

где L_{Γ} – годовой пробег автомобиля, км

$$L_{\Gamma} = D_{раб.г} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_{\Gamma} \cdot K_{\mathcal{E}}, \text{ км [2, с. 35]} \quad (3.32)$$

или

$$L_{\Gamma} = L'_{\text{кр}} \cdot \eta_{\Gamma} \cdot K_{\mathcal{E}}, \text{ км [2, с. 35]} \quad (3.33)$$

где $K_{\mathcal{E}}$ – коэффициент, учитывающий простои подвижного состава по эксплуатационным причинам ($K_{\mathcal{E}} = 0,95...0,97$).

3.2.2. Годовой объём вспомогательных работ

Кроме работ по ТО и ТР, в АТП выполняются вспомогательные работы, объём которых определяют по формуле

$$T_{всп} = (0,2...0,3)(T_{EO}^{\Gamma} + T_{TO-1}^{\Gamma} + T_{TO-2}^{\Gamma} + T_{TP}^{\Gamma}), \text{ чел.-ч [2, с. 42]} \quad (3.34)$$

3.2.3. Распределение объёма ТО и ТР по производственным зонам и участкам

Объём ТО и ТР распределяется по месту его выполнения по технологическим и организационным признакам. ТО и ТР выполняются на постах и производственных участках (отделениях).

К постовым относятся работы по ТО и ТР, выполняемые непосредственно на автомобиле (моечные, уборочные, смазочные, крепежные, диагностические и др.). Работы по проверке и ремонту узлов, механизмов и агрегатов, снятых с автомобиля, выполняются на участках (агрегатном, механическом, электротехническом и др.).

Учитывая особенности технологии производства, работы по ЕО и ТО-1 выполняются в самостоятельных зонах. Постовые работы по ТО-2, выполняемые на универсальных постах, и ТР обычно производятся в общей зоне. В ряде случаев ТО-2 выполняется на постах линии ТО-1, но в другую смену.

Работы по диагностированию Д-1 проводятся на самостоятельных постах (линиях) или совмещаются с работами выполняемыми на постах ТО-1 (см. п.0).

Диагностирование Д-2 обычно выполняется на отдельных постах.

При ТО-2 возникает необходимость в снятии отдельных приборов и узлов для устранения неисправностей и контроля на специальных стендах на производственных участках. В основном это работы по системе питания, электротехнические, аккумуляторные и шиномонтажные. Поэтому выполнение 90–95% объема работ ТО-2 планируется на постах, а 5–10% – на производственных участках. В практике проектирования этот объем работ распределяется равномерно по соответствующим участкам.

При организации ТО-2 на универсальных постах, а ТО-1 на поточной линии смазочные работы, учитывая их специфику, целесообразно выполнять на постах линии ТО-1, которая в период работы зоны ТО-2 обычно свободна, так как ТО-1 проводится в межсменное время (рис. 3.1).

Примерное распределение трудоемкости ТО по видам работ (по ОНТП-АТП-СТО-80) приведено в табл. 3.10 [2, с. 43].

Таблица 3.10. Примерное распределение трудоемкости ТО по видам работ, %

| Работы | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
|-------------------------------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| ТО-1 | | | | |
| Диагностические | 14 | 7,5 | 9 | 4 |
| Крепёжные | 44 | 50 | 35 | 40 |
| Регулировочные | 10 | 10 | 11 | 10 |
| Смазочные, заправочно-очистительные | 19 | 20 | 21 | 23 |
| Электротехнические | 5 | 5 | 12 | 7 |
| По обслуживанию системы питания | 3 | 3,5 | 4 | - |
| Шинные | 5 | 4 | 8 | 16 |
| Кузовные | - | - | - | - |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ТО-2 | | | | |
| Диагностические | 11 | 6 | 8 | 1 |
| Крепёжные | 38 | 49 | 35 | 63 |
| Регулировочные | 10 | 8 | 18 | 21 |
| Смазочные, заправочно-очистительные | 10 | 10 | 16 | 11 |
| Электротехнические | 7 | 7 | 10 | 1 |
| По обслуживанию системы питания | 3 | 3 | 10 | - |
| Шинные | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Кузовные | 20 | 15 | - | - |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 |

Примерное распределение трудоемкости ТР по видам работ (по ОНТП-АТП-СТО-80) приведено в табл. 3.11 [2, с. 44].

Таблица 3.11. Примерное распределение трудоемкости ТР по видам работ, %

| Работы | Легковые автомобили | Автобусы | Грузовые автомобили | Прицепы и полуприцепы |
|---------------------------------|---------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| Постовые работы | | | | |
| Диагностические | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Регулировочные | 4 | 2 | 1,5 | 1 |
| Разборочно-сборочные | 30 | 26 | 34,5 | 30 |
| Сварочно-жестяницкие | 7 | 6 | 1,5 | 9 |
| Малярные | 8 | 8 | 5 | 6 |
| Итого | 51 | 44 | 44,5 | 48 |
| Участковые работы | | | | |
| Агрегатные | 14 | 17 | 19 | - |
| Слесарно-механические | 9 | 8 | 12 | 13 |
| Электротехнические | 5 | 8,5 | 6 | 2 |
| Аккумуляторные | 1,5 | 1 | 1 | - |
| Ремонт приборов системы питания | 2 | 3 | 4 | - |
| Шиномонтажные | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Вулканизационные | 1,5 | 1 | 1 | 2 |
| Кузнечно-рессорные | 1,5 | 3 | 3 | 9 |
| Медницкие | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Сварочные | 1 | 1,5 | 0,5 | 4 |
| Жестяницкие | 1,5 | 1 | 0,5 | 1 |
| Арматурные | 4 | 4,5 | 1 | 1 |
| Деревообрабатывающие | - | - | 3 | 17 |
| Обойные | 4 | 2,5 | 1,5 | - |
| Итого | 49 | 56 | 55,5 | 52 |
| Всего | 100 | 100 | 100 | 100 |

3.2.4. Распределение вспомогательных работ

Примерное распределение вспомогательных работ на АТП приведено в табл. 3.12 [2, с. 42].

Таблица 3.12. Примерное распределение трудоемкости вспомогательных работ на АТП, %

| Работы | Комплексное АТП | Производственное автотранспортное объединение | |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|--------|
| | | Головное предприятие | Филиал |
| Работы по самообслуживанию | 40-50 | 55-61 | 20-30 |
| Транспортные | 8-10 | 12-14 | 10-16 |
| Перегон автомобилей | 14-26 | 10-12 | 20-24 |
| Приемка, хранение и выдача материальных ценностей | 8-10 | 10-12 | 20-24 |
| Уборка помещений и территории | 14-20 | 6-8 | 16-20 |
| Итого | 100 | 100 | 100 |

3.2.5. Распределение объема работ по самообслуживанию АТП

При небольшом объеме работ (до 8-10 тыс. чел.-ч в год) работы по самообслуживанию могут выполняться на производственных участках. В этом случае при определении годового объема работ производственных участков следует учесть трудоемкость работ по самообслуживанию (табл. 3.13. [2, с. 45]).

Таблица 3.13. Примерное распределение работ по самообслуживанию на АТП

| Работы | Трудоемкость, % |
|----------------------------------------------|-----------------|
| Электромеханические | 25 |
| Механические | 10 |
| Слесарные | 16 |
| Кузнечные | 2 |
| Сварочные | 4 |
| Жестяницкие | 4 |
| Медницкие | 1 |
| Трубопроводные (слесарные) | 22 |
| Ремонтно-строительные и деревообрабатывающие | 16 |
| Итого | 100 |

На крупных предприятиях эти работы выполняют рабочие самостоятельного подразделения – отдела главного механика (ОГМ), в составе которого

комплекуются соответствующие бригады по обслуживанию и ремонту оборудования, зданий и прочее, поэтому трудовые затраты в данном случае не учитываются.

3.2.6. Распределение объёма работ по диагностированию Д-1 и Д-2

Согласно ОНТП-АТП-СТО-80, общий годовой объем диагностических работ между Д-1 и Д-2 распределяется следующим образом. Работы по Д-1 ($T_{Д-1}^Г$) составляют 50–60 %, а по Д-2 ($T_{Д-2}^Г$) 40-50 % от общего объёма диагностических работ ($\sum T_{Д}^Г$), выполняемых при ТО-1, ТО-2 и ТР.

$$T_{Д-1}^Г = (0,5...0,6)\sum T_{Д}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.35)$$

$$T_{Д-2}^Г = (0,4...0,5)\sum T_{Д}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.36)$$

При этом средние значения трудоемкостей Д-1 ($t_{Д-1}$) и Д-2 ($t_{Д-2}$) составляют:

$$t_{Д-1} = \frac{T_{Д-1}^Г}{N_{Д-1}^{ГП}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.37)$$

$$t_{Д-2} = \frac{T_{Д-2}^Г}{N_{Д-2}^{ГП}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.38)$$

3.2.7. Корректирование годовых трудоемкостей работ по ТО и ТР

При организации диагностирования Д-1 и Д-2 на отдельных постах, для последующего расчета постов ТО и ТР необходимо скорректировать годовые объёмы работ по ТО и ТР.

$$T_{ТО-1}^{Г(\kappa)} = T_{ТО-1}^Г - T_{Д-1}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.39)$$

При проведении Д-1 совместно с ТО-1 $T_{ТО-1}^{Г(\kappa)} = T_{ТО-1}^Г$.

$$T_{ТО-2}^{Г(\kappa)} = T_{ТО-2}^Г - T_{Д-2}^Г, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.40)$$

Корректирование годового объёма постовых работ ТР проводят по формуле

$$T_{TP}^{\Gamma(n.k.)} = T_{TP}^{\Gamma(n)} - T_{D(TP)}^{\Gamma}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.41)$$

где $T_{TP}^{\Gamma(n)}$ – трудоемкость постовых работ ТР;

$T_{D(TP)}^{\Gamma}$ – трудоемкость диагностических работ при проведении ТР, чел.-ч.

Соответственно трудоемкость работ ТО-1 и ТО-2 для расчета постов ТО:

$$t_{TO-1}^k = \frac{T_{TO-1}^{\Gamma(k)}}{N_{TO-1}^{\Gamma\Pi}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.42)$$

$$t_{TO-2}^k = \frac{T_{TO-2}^{\Gamma(k)}}{N_{TO-2}^{\Gamma\Pi}}, \text{ чел.-ч [2, с. 47]} \quad (3.43)$$

3.2.8. Расчет количества производственных рабочих в подразделениях производства

К производственным рабочим относятся рабочие зон и участков, непосредственно выполняющие работы по ТО и ТР подвижного состава. Различают технологически необходимое (явочное) и штатное (списочное) число рабочих. Явочное число рабочих обеспечивает выполнение суточной, а штатное – годовой производственных программ (объёмов работ) по ТО и ТР.

Технологически необходимое (явочное) число рабочих рассчитывают по формуле

$$P_{я} = \frac{T_i^{\Gamma(k)}}{\Phi_{я}}, \text{ чел. [2, с. 48]} \quad (3.44)$$

где $T_i^{\Gamma(k)}$ – годовой объём работ соответствующего подразделения, производства (для зон скорректированный см. п. 3.2.7), чел.-ч;

$\Phi_{я}$ – явочный фонд времени, ч.

Штатное число рабочих рассчитывают по формуле

$$P_{ш} = \frac{T_i^{\Gamma(k)}}{\Phi_{ш}}, \text{ чел. [2, с. 48]} \quad (3.45)$$

где $\Phi_{ш}$ – фонд времени штатных рабочих, ч

На АТП со сложившимся производством и структурой работ для расчета рабочих используют коэффициент штатности $\eta_{ш}$, который можно определить по формуле

$$\eta_{ш} = \frac{P_{я}}{P_{ш}} = \frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{я}} \quad [2, \text{с. 49}] \quad (3.46)$$

Значение $\eta_{ш}$ практически лежит в пределах 0,9–0,95 и зависит от профессии рабочего.

Таблица 3.14. Годовые фонды рабочего времени

| Рабочие | Годовой фонд времени рабочих, ч | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------|
| | явочный | штатный |
| Мойщики и уборщики подвижного состава | 2070 | 1860 |
| Слесари по ТО и ремонту, слесари по ремонту агрегатов и узлов, мотористы, электрики, шиномонтажники, слесари-станочники, столяры, обойщики, арматурщики, жестянщики, слесари по ремонту оборудования | 2070 | 1840 |
| Слесари по ремонту приборов системы питания, аккумуляторщики, кузнецы, медники, сварщики, вулканизаторщики | 2070 | 1820 |
| Маляры | 1830 | 1610 |

Результаты расчетов оформляют в виде табл. 3.15.

Таблица 3.15 – Численность производственных рабочих

| Наименование производственного подразделения | $P_{я}$, чел. | | $P_{ш}$, чел. | |
|----------------------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | расч. | прин. | расч. | прин. |
| Зоны | | | | |
| ЕО | | | | |
| ТО-1 | | | | |
| ТО-2 | | | | |
| Д-1 | | | | |
| Д-2 | | | | |
| ТР | | | | |
| Участки | | | | |
| Агрегатный | | | | |
| Слесарно-механический | | | | |
| Электротехнический | | | | |

| | | | | |
|---------------------------------|---|--|---|--|
| Аккумуляторный | | | | |
| Ремонт приборов системы питания | | | | |
| Шиномонтажный | | | | |
| Вулканизационный | | | | |
| Кузнечно-рессорный | | | | |
| Медницкий | | | | |
| Сварочный | | | | |
| Жестяницкий | | | | |
| Арматурный | | | | |
| Обойный | | | | |
| Деревообрабатывающий | | | | |
| Малярный | | | | |
| Итого | - | | - | |

Если штатное число рабочих получается менее одного, то производственные участки с технологически совместимым характером работ (за исключением аккумуляторного и малярного) допускается объединять в соответствии с табл. 3.16. [2, с. 135].

Таблица 3.16. Группирование производственных участков по характеру выполняемых работ

| № группы | Наименование производственных участков |
|----------|-----------------------------------------------------|
| 1 | Электротехнический, ремонт приборов системы питания |
| 2 | Шиномонтажный, вулканизационный |
| 3 | Агрегатный, слесарно-механический |
| 4 | Кузнечно-рессорный, медницкий |
| 5 | Сварочный, жестяницкий, арматурный |
| 6 | Обойный, деревообрабатывающий |

3.2.9. Расчет технологически необходимого числа водителей

Технологически необходимое число водителей определяют по формуле

$$P_{вод} = \frac{A_{сп} \cdot \alpha_T \cdot D_{раб.г} \cdot T_{см} \cdot C_m}{\Phi_{вод}}, \text{ чел.} \quad (3.47)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

C_m – количество смен;

$\Phi_{вод}$ – фонд рабочего времени водителей (для легковых автомобилей

$\Phi_{вод} = 1860$ ч, для грузовых автомобилей грузоподъемностью до 3 т

$\Phi_{год} = 1840$ ч, для грузовых автомобилей грузоподъемностью свыше 3 т и автобусов $\Phi_{год} = 1820$ ч).

3.3. Расчет числа постов и линий в зонах ЕО, ТО и ТР

3.3.1. Выбор метода организации ТО автомобилей

Основным критерием для выбора метода организации ТО на АТП служит суточная производственная программа соответствующего вида ТО.

Минимальная суточная программа (см. п. 0), при которой целесообразен поточный метод ТО, рекомендована «Положением о ТО и ремонте» и составляет: для ТО-1 12–15, а для ТО-2 5–7 воздействий по технологически совместимым автомобилям. В противном случае расчет ведут по постам.

3.3.2. Режим работы зон ТО и ТР

Этот режим характеризуется числом рабочих дней в году, продолжительностью работы (числом рабочих смен, продолжительностью и временем начала и конца смены), распределением производственной программы по времени ее выполнения.

Режим работы зоны должен быть согласован с графиком выпуска и возврата автомобилей с линии (Рис. 3.1).

График дает наглядное представление о числе автомобилей, находящихся на линии и на АТП в любое время суток, что позволяет установить наиболее рациональный режим работы зон ТО автомобилей.

Межсменное время – это период между возвратом первого автомобиля и выпуском последнего. При равномерном выпуске автомобилей продолжительность межсменного времени

$$T_{МС} = 24 - (T_H + T_O - T_{ВЫП}), \text{ ч [2, с. 53]} \quad (3.48)$$

Продолжительность выпуска и возврата автомобилей на линию представлена в табл. 3.17.

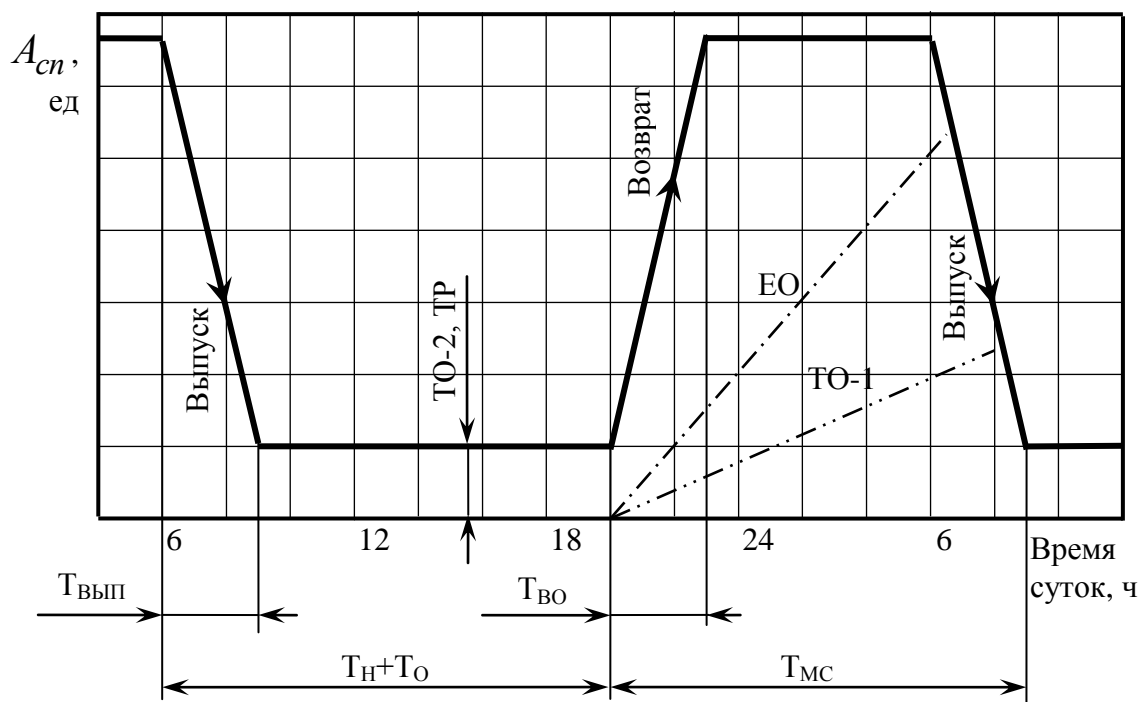


Рис. 3.1. Суточный график выпуска и возврата автомобилей на АТП:

$T_{ВЫП}$ – выпуск автомобилей на линию;

$T_{ВОЗ}$ – возврат автомобилей с линии;

$T_{Н}$ – работа автомобилей на линии в наряде;

$T_{О}$ – обеденный перерыв водителя;

$T_{МС}$ – межсменное время

Таблица 3.17. Продолжительность выпуска и возвращения подвижного состава

| Количество подвижного состава | Продолжительность пикового возвращения (выпуска) в течении суток, ч | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | легковых автомобилей-такси | автобусов маршрутных | грузовых общего пользования | ведомственного транспорта |
| До 50 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1,0 |
| Свыше 50 до 100 | 3 | 2,5 | 2,5 | 1,5 |
| Свыше 100 до 200 | 3,5 | 2,8 | 2,7 | 2,0 |
| Свыше 200 до 300 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 2,2 |
| Свыше 300 до 400 | 4,2 | 3,5 | 3,3 | 2,5 |
| Свыше 400 до 600 | 4,5 | – | 3,7 | 3,0 |
| Свыше 600 до 800 | 4,6 | – | – | – |
| Свыше 800 до 1000 | 4,8 | – | – | – |
| Свыше 1000 | 5,0 | – | – | – |

3.3.3. Расчет постов ТО

Исходными величинами для расчета числа постов ТО служат ритм производства и такт производства.

Ритм производства – это время, приходящееся в среднем на выпуск одного автомобиля из данного вида ТО, или интервал времени между выпуском двух последовательно обслуженных автомобилей из данной зоны.

$$R_i = \frac{60 \cdot T_{см} \cdot C_m}{N_i^c}, \text{ мин [2, с. 54]} \quad (3.49)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены (Рис. 3.1);

C_m – количество смен;

N_i^c – суточная производственная программа по каждому виду ТО.

Такт производства – это среднее время занятости поста. Оно складывается из времени простоя автомобиля под обслуживанием на данном посту и времени, связанного с установкой автомобиля на пост, вывешиванием его на подъемники и т. п.

$$\tau_i = \frac{60 \cdot t_i^k}{P_{\Pi}} + t_{\Pi}, \text{ мин [2, с. 54]} \quad (3.50)$$

где t_i^k – скорректированная трудоемкость ТО i -го вида (см. п. 3.2.7), чел.-ч;

P_{Π} – число рабочих одновременно работающих на посту, чел.;

t_{Π} – время, затрачиваемое на передвижение автомобиля при установке его на пост и съезд с поста, мин ($t_{\Pi} = 1 - 3$ мин).

Число постов ТО-1 определяют по формуле

$$X_{ТО-1} = \frac{\tau_{ТО-1}}{R_{ТО-1}} \text{ [2, с. 55]} \quad (3.51)$$

Число постов ТО-2 из-за относительно большой его трудоемкости, а также возможного увеличения времени простоя автомобиля на посту за счет проведения дополнительных работ по устранению неисправностей определяют с учетом коэффициента использования рабочего времени поста.

$$X_{ТО-2} = \frac{\tau_{ТО-2}}{R_{ТО-2} \cdot \eta_{ТО-2}}, \text{ [2, с. 55]} \quad (3.52)$$

где $\eta_{ТО-2}$ – коэффициент использования рабочего времени поста ТО-2 (табл. 3.18.).

Таблица 3.18. Численность рабочих, одновременно работающих на посту

| Тип рабочих постов | Численность одновременно работающих на одном посту, чел. | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------|--------|----------|----------|----------------|---------------------------------------|-----------------|---------|---------------|-----------------------|
| | Тип подвижного состава | | | | | | | | | | |
| | легковые автомобили | Автобусы, класса | | | | | Грузовые автомобили, грузоподъемности | | | | прицепы и полуприцепы |
| | | особо малого | малого | среднего | большого | особо большого | особо малой | малой и средней | большой | особо большой | |
| Посты ЕО | | | | | | | | | | | |
| Уборочных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Моечных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Заправочных работ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| Посты ТР | | | | | | | | | | | |
| Регулировочные, разборочно-сборочные | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Сварочно-жестяницкие | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Малярные | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Посты Д-1, Д-2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Посты ТО-1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Посты ТО-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |

При известном годовом объеме диагностических работ число диагностических постов определяют по формуле

$$X_{Д-i} = \frac{T_{Д-i}^{\Gamma}}{D_{\text{раб.г}} \cdot T_{\text{см}} \cdot C_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{Д}} \cdot P_{\text{П}}}, [2, \text{с. 55}] \quad (3.53)$$

где $T_{Д-i}^{\Gamma}$ – годовая трудоемкость диагностических воздействий i -го вида, чел.-ч (см. п. 3.2.6);

$\eta_{\text{Д}}$ – коэффициент использования рабочего времени поста диагностики (табл. 3.19).

Таблица 3.19. Коэффициенты использования рабочего времени постов

| Тип рабочих постов | Коэффициент использования рабочего времени постов, при числе смен работы в сутки | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| | I | II | III |
| Посты ЕО | | | |
| Уборочных работ | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Моечных работ | 0,90 | 0,88 | 0,87 |
| Посты ТО-1 и ТО-2 | | | |
| На поточных линиях | 0,93 | 0,92 | 0,91 |
| Индивидуальные | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Посты Д-1 и Д-2 | 0,90 | 0,88 | 0,87 |
| Посты ТР | | | |
| Регулировочные, разборочно-сборочные (не оснащенные специальным оборудованием) | 0,98 | 0,97 | 0,96 |
| Разборочно-сборочные (оснащенные специальным оборудованием) | 0,93 | 0,92 | 0,91 |

3.3.4. Расчет постов ТР

Число постов ТР при равномерном распределении работ по сменам определяют по формуле

$$X_{ТР} = \frac{T_{ТР}^{\Gamma(нк)} \cdot \varphi}{D_{раб.г} \cdot T_{см} \cdot C_m \cdot \eta_{ТР} \cdot P_{II}}, \quad [2, \text{с. 62}] \quad (3.54)$$

где φ – коэффициент неравномерности поступления автомобилей на посты ТР ($\varphi = 1,5$ для АТП с числом автомобилей до 150–200, $\varphi = 1,2$ для АТП с числом автомобилей 400–500 и более);

$\eta_{ТР}$ – коэффициент использования рабочего времени поста ТР (табл. 3.19);

P_{II} – число рабочих одновременно работающих на посту ТР, чел (табл. 3.18).

При числе постов ТР более 5–6 их специализируют по видам выполняемых работ (табл. 3.20).

При числе постов более 10 допускается выделение постов по замене агрегатов и для шиномонтажных работ.

Таблица 3.20. Распределение постов ТР по их специализации в процентах от общего числа постов

| $X_{ТР}$ | Специализация постов | Количество постов в процентах от $X_{ТР}$ |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5-9 | Пост ремонта двигателя и его систем | 20-30 |
| | Пост ремонта трансмиссии, тормозов, рулевого управления и ходовой части | 40-50 |
| | Универсальные посты | 10-20 |
| 10-15 | Пост контроля и регулировки тормозов | 5-10 |
| Более 15 | Пост контроля и регулировки углов установки колес | 5-10 |
| Итого | | 100 |

3.3.5. Расчет постов ожидания

Посты ожидания – это посты, на которых автомобили, нуждающиеся в том или ином виде ТО и ТР, ожидают своей очереди для перехода на соответствующий пост или поточную линию.

Посты ожидания могут предусматриваться отдельно или вместе для каждого вида обслуживания и размещаться как в производственных помещениях, так и на открытых площадках. При наличии закрытых стоянок посты ожидания могут не предусматриваться.

Число постов ожидания определяется: перед постами ЕО – исходя из 15–25 % часовой пропускной способности постов (линий) ЕО; перед постами ТО-1 – исходя из 10–15 % сменной программы; перед постами ТО-2 – исходя из 30–40 % сменной программы; перед постами ТР – в количестве 20–30 % от числа постов ТР.

3.3.6. Расчет поточных линий ТО-1 и ТО-2

Для проведения ТО-1 и ТО-2 используют поточные линии периодического действия. Исходной величиной характеризующей поток периодического действия, является такт линии. Под тактом линии понимают интервал времени между двумя последовательно сходящими с линии автомобилями, прошедшими данный вид обслуживания.

Такт линии определяют по формуле

$$\tau_{Л(ТО-i)} = \frac{60t_{ТО-i}^k}{X_{ЛP}_{cp}} + t_{П}, \text{ мин [2, с. 55]} \quad (3.55)$$

где t_{TO-i}^k – скорректированная трудоемкость ТО i -го вида, чел.-ч (см. п. 3.2.7);
 $X_{Л}$ – число постов на линии (назначают исходя из содержания работ, их технологической последовательности, объема работ и возможной специализации постов по виду работ по табл. 3.20 [2, с. 57]);

P_{cp} – среднее число рабочих на посту, чел ($P_{cp} = 3 - 5$ чел. [2, с. 54]);

$t_{П}$ – время передвижения автомобиля с поста на пост, мин (при передвижении автомобилей своим ходом $t_{П} = 1 - 3$ мин; при использовании конвейера определяют по формуле (3.55)).

$$t_{П} = \frac{L_a + a}{v_K}, \text{ мин [2, с. 56]} \quad (3.56)$$

где L_a – габаритная длина автомобиля (автопоезда), м;

a – расстояние между автомобилями, стоящими на двух последовательных постах, м (табл. 3.21);

v_K – скорость передвижения автомобиля конвейером, м/мин (для выпускаемых цепных конвейеров $v_K = 10 - 15$ м/мин).

Таблица 3.21. Расстояние между автомобилями, стоящими на двух последовательных постах линии ТО в зависимости от категории автомобиля

| Категория | Размеры, м | | Расстояние a не менее, м |
|-----------|---------------|------------------|----------------------------|
| | Длина | Ширина | |
| I | До 6 | До 2 | 1,2 |
| II | Свыше 6 до 8 | Свыше 2 до 2,5 | 1,5 |
| III | Свыше 8 до 11 | Свыше 2,5 до 2,8 | 1,5 |
| IV | Свыше 11 | Свыше 2,8 | 2,0 |

Число линий ТО определяют по формуле

$$m_{TO-i} = \frac{\tau_{Л(ТО-i)}}{R_{ТО-i}} \quad [2, с. 58] \quad (3.57)$$

где $R_{ТО-i}$ – ритм производства ТО i -го вида (см. п. 3.3.3).

3.3.7. Расчет поточных линий ЕО

Для выполнения уборочно-моечных работ применяют поточные линии непрерывного действия с использованием механизированных установок для мойки и сушки автомобилей.

При полной механизации работ по мойке и сушке автомобилей и отсутствия уборочных операций, выполняемых на других постах вручную, число по-

стов линии соответствует числу механизированных установок (для мойки автомобилей, дисков колес, сушки). Рабочие на линии при этом могут отсутствовать за исключением оператора для управления установками.

Для обеспечения максимальной производительности линии пропускная способность отдельных постовых установок должна быть равна пропускной способности основной установки для мойки автомобилей.

Такт линии определяют по формуле

$$\tau_{Л(EO)} = \frac{60}{N_Y}, \text{ мин [2, с. 60]} \quad (3.58)$$

где N_Y – производительность механизированной моечной установки автомобилей на линии, авт./ч (для грузовых автомобилей $N_Y = 15 - 20$, легковых $N_Y = 30 - 40$, автобусов $N_Y = 30 - 50$ авт./ч).

Если на линии обслуживания предусматривают механизацию только моечных работ, а остальные выполняют вручную, то такт линии

$$\tau_{Л(EO)} = \frac{L_a + a}{v_{K(EO)}}, \text{ мин [2, с. 60]} \quad (3.59)$$

где $v_{K(EO)}$ – скорость конвейера в зоне EO, м/мин.

Скорость конвейера определяют по формуле

$$v_{K(EO)} = \frac{N_Y(L_a + a)}{60}, \text{ м/мин [2, с. 60]} \quad (3.60)$$

Для потока непрерывного действия число линий EO

$$m_{EO} = \frac{\tau_{Л(EO)}}{R_{EO}}, \text{ [2, с. 61]} \quad (3.61)$$

где R_{EO} – ритм производства зоны EO, мин (см. п. 3.3.3).

Таблица 3.22. Примерное распределение работ по постам линий ЕО и ТО-1

| Вид обслуживания | Число постов на линии | 1-й пост | 2-й пост | 3-й пост | 4-й пост |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| | 4 | Уборочные | Моечные | Обтирочные | Дозаправочные |
| ТО-1 с учетом совмещения с Д-1 | 3 | Внешний осмотр автомобиля; диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам питания и зажигания; работы по шинам, рулевому управлению, ходовой части и трансмиссии | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по электрооборудованию (кроме зажигания) и тормозам | Смазочные и очистительные работы | – |
| | 4 | Внешний осмотр автомобиля, диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам питания и электрооборудования (кроме работ 3-го поста) | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по шинам, рулевому управлению, ходовой части и трансмиссии | Диагностические, регулировочные и крепежные работы по системам освещения, сигнализации и тормозам | Смазочные и очистительные работы |

3.4. Обоснование подбора и расчет необходимого количества технологического оборудования

3.4.1. Обоснование подбора технологического оборудования

Основной критерий при обосновании подбора технологического оборудования – это среднегодовой пробег одного автомобиля.

Если среднегодовой пробег одного автомобиля в пределах нормативного пробега (для соответствующего типа подвижного состава) $\pm 50\%$, то технологическое оборудование подбирается согласно Табелю технологического оборудования и специализированного инструмента для АТП, СТО и БЦТО [3] (далее Табель).

Если среднегодовой пробег одного автомобиля выходит за пределы нормативного пробега $\pm 50\%$, то производится расчет необходимого количества технологического оборудования.

3.5. Расчет площадей помещений

3.5.1. Расчет площадей зон ТО и ТР

Площадь зоны ТО или ТР определяют по формуле

$$F_{3(i)} = f_a \cdot X_i \cdot K_{II}, \text{ м}^2 [2, \text{ с. } 77] \quad (3.63)$$

где f_a – площадь, занимаемая автомобилем в плане, м^2 (произведение длины на ширину);

X_i – число постов (см. п. 3.3.3 и 3.3.4);

K_{II} – коэффициент плотности расстановки постов (при одностороннем расположении постов $K_{II} = 6-7$; при двухсторонней расстановке постов и поточном методе обслуживания $K_{II} = 4-5$. Меньшие значения K_{II} принимают для крупногабаритного подвижного состава и при числе постов не более 10).

3.5.2. Графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО и ТР

Метод графического определения ширины проезда в зонах ТО и ТР с тупиковым расположением постов (Рис. 3.2) предусматривает рассмотрение четырех положений автомобиля в процессе его съезда с канавы (или въезда на нее).

Положение *I* соответствует начальной стадии построения. Положение *II* определяется тем, что автомобиль передвигается вдоль оси канавы до момента, пока его передняя ось не совпадет с торцом $a - a$ канавы. В этом новом положении через заднюю ось проводят прямую и на ней откладывают внутренний габаритный радиус R_2 , определяя тем самым положение центра поворота O_2 . Положение *III* определяют движением автомобиля задним ходом из положения *II* с предельно допустимым поворотом передних колес. Для определения положения *III* параллельно прямой *I-I*, проведенной через наиболее выступающие точки контуров автомобилей, на расстоянии Z проводят прямую 2-2. Ширина полосы Z является нормируемой зоной безопасности, в пределы которой автомобиль не должен заезжать при маневрировании в процессе установки на пост или выезде с него. Из точки O_2 радиусом R_3 проводят траекторию движения наружной точки автомобиля b до пересечения с прямой 2-2, получая точку «с». Затем из точки «с» проводят дугу радиусом R_1 .

Далее из центра O_2 радиусом $2R_2 + B$ (где B – габаритная ширина автомобиля) проводят дугу до пересечения ее с дугой радиуса R_1 в точке O_3 . Соединяя точки O_3 и O_2 , определяют новое положение задней оси и соответственно самого автомобиля после его движения из положения *II* в положение *III*. Очевидно, что для движения вдоль оси проезда автомобилю необходимо сделать поворот относительно центра O_3 в сторону, противоположную предыдущему движению (положение *IV*). Отложив от вершины d габаритного прямоугольника автомобиля (положение *III*) нормируемую ширину Z внешней защитной зоны, проводят прямые 3-3 и 4-4 параллельно прямой 2-2.

Расстояние между прямыми 1-1 и 4-4 определяет искомую ширину проезда S в метрах.

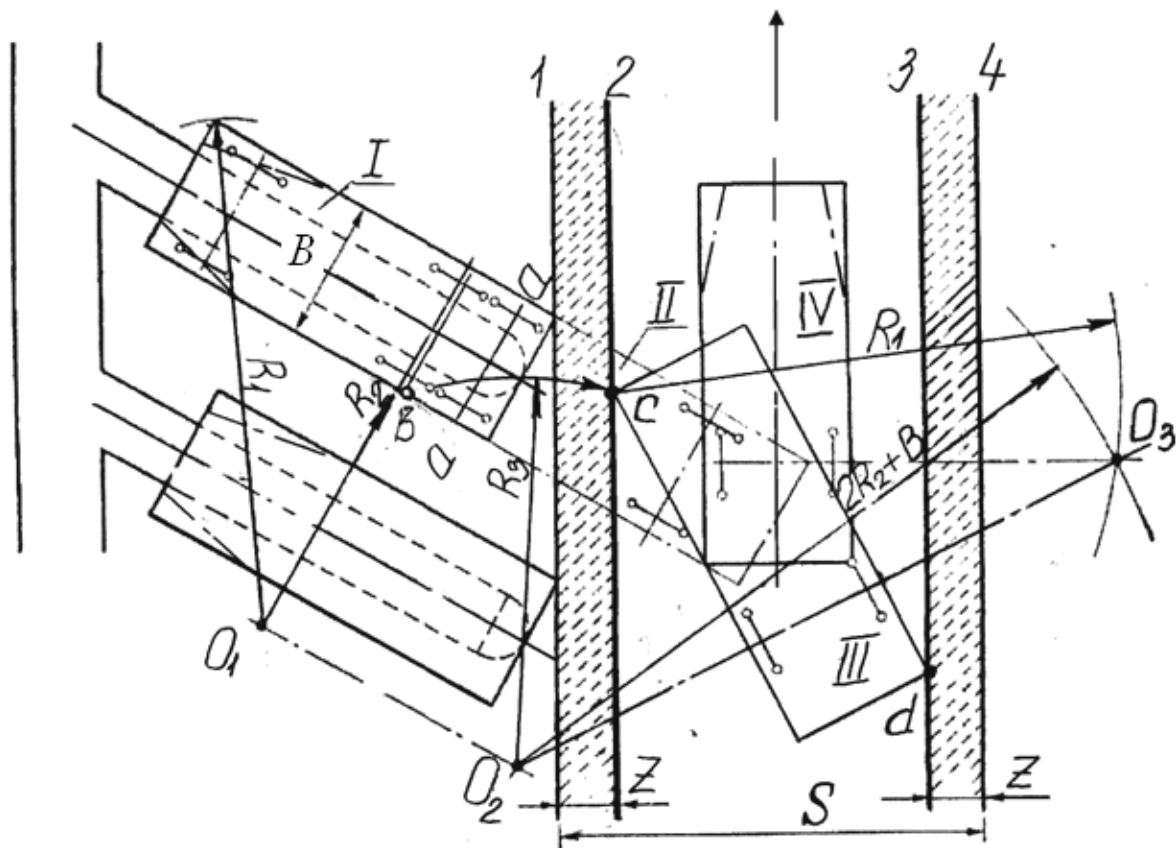


Рис. 3.2. Графическое определение ширины проезда автомобилей в зонах ТО и ТР

3.5.3. Расчет площадей производственных участков

Расчет площадей производственных участков по площади помещения, занимаемой оборудованием.

Для выполнения расчета по этому способу предварительно необходимо составить ведомость оборудования на основе проведенного в п. 0 расчета и выбора оборудования по Табелю для участков (в ВКР для участков по заданию на выполнение графической части). Ведомость технологического оборудования должна быть представлена в виде табл. 3.23.

Таблица 3.23. Ведомость технологического оборудования

| Наименование участка | Наименование оборудования | Количество, ед. | Габаритные размеры, мм | Суммарная площадь в плане, м ² |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------------------|
| | 1. | | | |
| | 2. | | | |
| | i | | | |
| Суммарная площадь горизонтальной проекции по габаритным размерам оборудования, м ² | | | | |

Площадь участка определяют по формуле

$$F_{Y(i)} = f_{об} \cdot K_{П(об)}, \text{ м}^2 [2, \text{ с. 77}] \quad (3.64)$$

где $f_{об}$ – суммарная площадь горизонтальной проекции по габаритным размерам оборудования, м^2 (табл. 3.23);

$K_{П(об)}$ – коэффициент плотности расстановки оборудования (табл. 3.24). [2, с. 77].

Таблица 3.24. Значения коэффициента плотности расстановки оборудования

| Наименование участков | $K_{П(об)}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Слесарно-механический, медницкий, аккумуляторный, электротехнический, ремонт приборов системы питания, обойный | 3-4 |
| Агрегатный, шиномонтажный, ремонта оборудования и инструмента | 3,5-4,5 |
| Сварочный, жестяницкий, арматурный | 4-5 |
| Кузнечно-рессорный, деревообрабатывающий | 4,5-5,5 |

Если в помещениях предусматриваются места для автомобилей, то к площади, занимаемой оборудованием необходимо добавить площадь горизонтальной проекции автомобиля, т. е.

$$F_{Y(i)} = (f_{об} + f_a) \cdot K_{П(об)}, \text{ м}^2 \quad (3.65)$$

Расчет площадей участков по числу работающих на участке в наиболее загруженную смену

В отдельных случаях для приближенных расчетов площади участков могут быть определены по числу работающих на участке в наиболее загруженную смену (для курсового проекта по этому методу проводится расчет площадей всех участков, кроме участков указанных в задании на выполнение графической части проекта).

$$F_{Y(i)} = f_{p1} + f_{p2}(P_{ш} - 1), \text{ м}^2 \quad (3.66)$$

где f_{p1} – площадь, приходящаяся на первого работающего, $\text{м}^2/\text{чел.}$ (табл. 3.25);

f_{p2} – площадь, приходящаяся на каждого последующего рабочего, $\text{м}^2/\text{чел.}$ (табл. 3.25).

Таблица 3.25. Удельные площади на одного ремонтного рабочего для производственных участков

| Наименование участка | f_{p1} , м ² /чел. | f_{p2} , м ² /чел. |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Агрегатный (без помещения для мойки агрегатов и деталей) | 22 | 14 |
| 2. Слесарно-механический | 18 | 12 |
| 3. Электротехнический | 15 | 9 |
| 4. Ремонт приборов системы питания | 14 | 8 |
| 5. Аккумуляторный (без помещений зарядной, аппаратной и кислотной) | 21 | 15 |
| 6. Шиномонтажный | 18 | 15 |
| 7. Вулканизационный | 12 | 6 |
| 8. Кузнечно-рессорный | 21 | 5 |
| 9. Медницкий | 15 | 9 |
| 10. Сварочный | 15 | 9 |
| 11. Жестяницкий | 18 | 12 |
| 12. Арматурный | 12 | 6 |
| 13. Обойный | 18 | 5 |
| 14. Деревообрабатывающий | 24 | 18 |

При совмещении в одном помещении двух или нескольких участков площадь принимается по суммарному числу работающих на соответствующем участке.

Площади для автомобилей в шиномонтажном, жестяницком, сварочном, обойном и кузнечно-рессорном участках не учтены.

Для АТП с числом автомобилей 250–400 площади для мойки деталей и агрегатов принимают 72–108 м²; кислотной 18–36 м²; зарядной 12–24 м²; аппаратной 15–18 м² (для АТП с числом автомобилей менее 250 данные помещения можно не предусматривать).

Площадь малярного участка определяют в зависимости от количества и габаритов окрасочно-сушильного оборудования, нормативных расстояний между оборудованием, подвижным составом и элементами строительных конструкций зданий.

3.5.4. Расчет площадей складских помещений

Расчет площадей складских помещений по хранимому запасу

Площадь склада рассчитывают по формуле

$$F_{СК} = f_{об} \cdot K_{П(СК)} [2, с. 80] \quad (3.67)$$

где $f_{об}$ – площадь, занимаемая оборудованием, м²;

$K_{П(СК)}$ – коэффициент плотности расстановки складского оборудования ($K_{П(СК)} = 2,5$).

Запас смазочных материалов определяют по формуле

$$Z_M = 0,01 \cdot G_{СУТ} \cdot q_M \cdot D_3, \text{ л} \quad [2, \text{ с. } 80] \quad (3.68)$$

где $G_{СУТ}$ – суточный расход топлива, л;

q_M – норма расхода смазочных материалов на 100 л расхода топлива (табл. 3.27. [2, с. 81]);

D_3 – число дней запаса (принимают $D_3 = 15$ дн.).

$$G_{СУТ} = G_L + G_T, \text{ л} \quad [2, \text{ с. } 80] \quad (3.69)$$

где G_L – расход топлива на линии, л;

G_T – расход топлива на внутригражное маневрирование и технические надобности, л.

$$G_L = 0,01 \cdot A_{сн} \cdot l_{сс} \cdot \alpha_T \cdot H_L, \text{ л} \quad (3.70)$$

где H_L – линейный расход топлива для заданного автомобиля, л/100 км.

$$G_T = 0,005 \cdot G_L, \text{ л} \quad (3.71)$$

Определив запасы для каждого вида смазочных материалов, подбирают цистерны и баки для свежих и отработавших масел (табл. 3.26 [4, с. 31]) и определяют площадь, занимаемую этим оборудованием, и площадь склада.

Таблица 3.26. Резервуары для нефтепродуктов по ГОСТ 10032–71

| Вместимость, м ³ | Габаритные размеры в плане, мм |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 3 | 2000×1400 |
| 5 | 2000×1800 |
| 10 | 3310×2220 |
| 25 | 4830×2760 |

Таблица 3.27. Нормы расхода смазочных материалов

| Материалы | Норма расхода на 100 л топлива для автомобилей и автобусов, работающих на | |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| | бензине и сжиженном газе | дизельном топливе |
| Моторные масла, л | 2,4 | 3,2 |
| Трансмиссионные масла, л | 0,3 | 0,4 |
| Специальные, л | 0,1 | 0,1 |
| Пластичные (консистентные смазки), кг | 0,2 | 0,3 |

Примечания. 1. Для автомобилей и автобусов, находящихся в эксплуатации менее 3 лет, норма расхода масел и смазок снижается на 50 %, а при эксплуатации более 8 лет может быть увеличена в пределах до 20 %.
 2. Для автомобилей ВАЗ норма расхода моторного масла устанавливается в размере 0,8 л независимо от срока службы автомобиля.
 3. Для автобусов с гидромеханической трансмиссией норма расхода специальных масел увеличена до 0,3 л.
 4. Объем отработавших масел принимается в размере 15 % от расхода свежих масел.

Запас покрышек или камер на складе шин

$$Z_{Ш} = \frac{A_{сн} \cdot \alpha_T \cdot l_{сс} \cdot X_K \cdot D_{3(ш)}}{0,5 \cdot (L_H + L_B)}, \text{ шт.} \quad (3.72)$$

где X_K – число колес автомобиля без запасного, шт.;

$D_{3(ш)}$ – число дней запаса шин (принимают $D_{3(ш)} = 15$ дн.);

L_H – пробег новых шин, км (табл. 3.28);

L_B – пробег восстановленных шин, км (табл. 3.28).

Длина стеллажей для хранения покрышек

$$l_{СТ} = \frac{Z_{Ш}}{П}, \text{ м [2, с. 81]} \quad (3.73)$$

где $П$ – число покрышек на 1 погонный метр стеллажа (при двухъярусном хранении $П=6-10$).

Ширина стеллажа $b_{СТ}$ определяется размером покрышки.

Площадь, занимаемую стеллажами, определяют по формуле

$$f_{об} = l_{СТ} \cdot b_{СТ}, \text{ м}^2 \quad (3.74)$$

Таблица 3.28. Нормативные пробеги новых и восстановленных шин

| Тип АТС | L_H , км | L_B , км |
|---------------------|------------|------------|
| Легковые автомобили | 33000 | 20000 |
| Грузовые автомобили | 45000 | 24000 |
| Автобусы | 60000 | 32000 |

Запас запасных частей, металлов и прочих материалов рассчитывают по формуле

$$G_i = \frac{A_{сн} \cdot \alpha_T \cdot l_{сс} \cdot a \cdot G_a \cdot D_{3(з.ч.)}}{10^6}, \text{ кг [2, с. 81]} \quad (3.75)$$

Где a – средний процент расхода запасных частей, металлов и других материалов от массы автомобиля на 10 тыс. км пробега (табл. 3.28 [2, с. 82]);

G_a – снаряженная масса автомобиля, кг;

$D_{3(з.ч.)}$ – число дней запаса запасных частей (принимают $D_{3(з.ч.)} = 30$ дн.).

Запас агрегатов определяют по формуле

$$G_{аг} = \frac{A_{сн}}{100} K_{аг} \cdot q_{аг}, \text{ кг [2, с. 82]} \quad (3.76)$$

где $K_{аг}$ – число агрегатов на 100 автомобилей одной марки [1];

$q_{аг}$ – масса агрегата, кг.

Площадь пола, занимаемая стеллажами для хранения запасных частей, агрегатов, материалов и металлов

$$f_{об} = \frac{G_i}{g}, \text{ м}^2 [2, с. 82] \quad (3.77)$$

где G_i – масса объектов хранения, кг;

g – допускаемая нагрузка на 1 м² занимаемой стеллажом площади кг/м² (для запасных частей $g = 600$ кг/м²; агрегатов – 500 кг/м²; металла – 600–700 кг/м²).

Таблица 3.28. Примерный расход запасных частей, металлов и материалов в процентах от массы автомобиля на 10 тыс. км пробега

| Объект хранения | Автомобили | | Автобусы |
|----------------------------------|------------|----------|----------|
| | грузовые | легковые | |
| Запасные части | 1,0-1,5 | 2,5-5,0 | 1,0-2,0 |
| Металлы и металлические изделия | 1,0-1,5 | 0,7-1,3 | 0,8-2,0 |
| Лакокрасочные изделия и химикаты | 0,15-0,3 | 0,5-1,0 | 0,15-0,4 |

3.5.5. Расчет площади зоны хранения автомобилей

При укрупненных расчетах площадь зоны хранения рассчитывают по формуле

$$F_{СТ} = f_a \cdot A_{см} \cdot K_{П(СТ)}, \text{ м}^2 \text{ [2, с. 82]} \quad (3.78)$$

где $A_{см}$ – число автомобиле-мест хранения;

$K_{П(СТ)}$ – коэффициент плотности расстановки автомобиле-мест хранения ($K_{П(СТ)} = 2,5 - 3,0$).

В зависимости от организации хранения подвижного состава на АТП автомобиле-места могут быть закреплены за определенными автомобилями либо обезличены.

Число автомобиле-мест хранения при закреплении их за автомобилями соответствует списочному составу парка, т. е.

$$A_{см} = A_{сн} \text{ [2, с. 83]} \quad (3.79)$$

При обезличенном хранении автомобилей число автомобиле-мест

$$A_{см} = A_{сн} - X_{ТР} - X_{ТО-1} - X_{ТО-2} - X_{ОЖ} - A_{КР} - A_{Л} \text{ [2]} \quad (3.80)$$

где $X_{ОЖ}$ – число постов ожидания (см. п. 3.3.5);

$A_{КР}$ – число автомобилей, находящихся в КР, ед.;

$A_{Л}$ – среднее число автомобилей, постоянно отсутствующих на предприятии, ед.

3.5.6. Расчет площадей вспомогательных помещений

Вспомогательные помещения (административные, общественные, бытовые) являются объектом архитектурного проектирования.

На стадии технико-экономического обоснования и предварительных расчетов ориентировочно общая площадь вспомогательных помещений может быть определена по формуле

$$F_B = (0,05..0,12)(F_{CT} + F_{TO-1} + F_{TO-2} + \sum F_Y + F_{TP} + F_{CK}), \text{ м}^2 \quad (3.81)$$

где $\sum F_Y$ – суммарная площадь участков, м^2 .

Площадь гардеробной:

$$F_G = 0,25(\sum P_{\text{ш}} + P_{\text{ВОД}}), \text{ м}^2 \quad (3.82)$$

где $\sum P_{\text{ш}}$ – суммарная численность штатных рабочих, чел.

Площадь душевой

$$F_D = 0,1(\sum P_{\text{ш}} + 0,05P_{\text{ВОД}}), \text{ м}^2 \quad (3.83)$$

Площадь туалета

$$F_T = \frac{(\sum P_{\text{ш}} + 0,25P_{\text{ВОД}})}{30}, \text{ м}^2 \quad (3.84)$$

3.5.7. Определение площади главного производственного корпуса

Площадь главного производственного корпуса определяется как сумма площадей зон ТО, ТР, диагностики, участков и складских помещений, а также некоторых вспомогательных помещений по формуле

$$F_{ГПК} = \sum F_{ТО} + \sum F_D + \sum F_{ТР} + \sum F_Y + \sum F_{CK} + \\ + F_G + F_D + F_T, \text{ м}^2 \quad (3.85)$$

3.5.8. Определение площади административно-бытового корпуса

Административно-бытовые помещения могут размещаться в отдельном здании или в корпусе, примыкающем к производственным помещениям. В основу планировки отдельно стоящих и пристроенных административно-бытовых помещений положена сетка колонн $(6+6) \times 6$, $(6+3+6) \times 6$ и $(6+6+6) \times 6$ м с высотой этажей 3,0 или 3,3 м при числе этажей не более четырех.

Отдельно стоящие здания ухудшают связи между помещениями предприятия и вызывают необходимость дублирования бытовых и других помещений.

При укрупненных расчетах площадь административно-бытового корпуса может быть определена по формуле

$$F_{ABK} = 0,2 \cdot F_{ГПК}, \text{ м}^2 \quad (3.86)$$

3.5.9. Определение площади генерального плана АТП

Площадь генерального плана определяют по формуле

$$F_{ГП} = \frac{F_{ГПК} + F_{ABK} + F_{СТ} + F_{В}}{K_3 \cdot 10^{-2}}, \text{ м}^2 \quad (3.87)$$

где K_3 – плотность застройки территории, % (табл. 3.29 [2, с. 125]).

Таблица 3.29. Плотность застройки территории

| Тип автомобилей на АТП | Количество автомобилей на АТП, ед. | K_3 , % |
|------------------------|------------------------------------|-----------|
| Грузовые | До 300 | 45 |
| | От 300 до 500 | 50 |
| Автобусы | До 300 | 50 |
| | От 300 до 500 | 55 |
| | Более 500 | 60 |
| Легковые автомобили | До 500 | 52 |
| | От 500 до 800 | 55 |
| | От 800 до 1000 | 56 |
| | Более 1000 | 58 |

Указанную плотность застройки допускается уменьшать, но не более чем на 10 % при наличии соответствующих технико-экономических обоснований, в том числе при расширении и реконструкции предприятия.

Площадь озеленения должна составлять не менее 15 % площади предприятия и не менее 10 % при плотности более 50 %.

3.6. Технологическая карта

Время каждой операции определяют нормированием с учетом типовых технологических карт. При отсутствии последних время устанавливается путем хронометража на рабочем посту.

В курсовых проектах технологические карты (кроме операционных) могут составляться также на:

- специализированный пост ТО (постовая карта);
- пост диагностирования (карта диагностирования);

- определенный вид работ ТО, ТР.

Формулировка операций и переходов в технологической карте должна указываться в строгой технологической последовательности, кратко, глаголы ставятся в повелительном наклонении, например: «Расшплинтовать», «Отвернуть контргайку» и т.д. Технологическую карту выполняют в виде табл. 3.30.

Таблица 3.30. Технологическая карта

| Наименование операций | Количество мест или точек обслуживания | Оборудование и инструмент | Норма времени, мин | Технические требования и указания |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| <i>i.</i> | | | | |

4. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНСТРУКТОРСКОЙ ЧАСТИ

Конструкторская часть состоит из пояснительной записки (объемом 20-22 страницы А 4) и графической части (1 лист А 1).

В конструкторской части студент выполняет разработку проекта конструкции оборудования, повышающего эффективность технической эксплуатации автомобилей.

Задание на конструирование выбирается студентом совместно с руководителем ВКР с учетом целесообразности применения данной конструкции в условиях проектируемого (реконструируемого) АТП.

Допускается выполнять проектирование изделия, не отвечающего данному требованию, по согласованию с руководителем ВКР и консультантом по конструкторской части.

Обязательным условием является индивидуальность работы студента, т.е. задания на проектирование не должны повторяться в текущем году.

Примерная структура конструкторской части.

1. Обоснование необходимости проектирования данного изделия.
2. Формулирование технического задания на проектирование (Примерные ТТХ, условия применения, ограничения,...).
3. Выбор и анализ существующих аналогов конструкции (при отсутствии серийно изготавливаемых аналогов не проводится).
4. Эскизный проект (аксонометрический вид с вырезом при необходимости вид в рабочем и транспортном положении).
5. Расчет привода (двигатель, передачи, редукторы и т.д.).
6. Прочностной расчет деталей конструкции (рассчитываются все детали, изготавливаемые специально для данной конструкции)

7. Сборочный чертеж (лист А1: детализовка, виды соединений, размеры, краткая техническая характеристика).

8. Предположения об ожидаемом эффекте от внедрения спроектированного изделия (с приведением методики расчета).

9. Спецификация (приложение 1).

Примечания

1. Допускается выполнять чертежи с помощью компьютерного графопостроителя с обязательным соблюдением требований ЕСКД.

2. По согласованию с руководителем ВКР и руководителем конструкторской части допускается изменение структуры конструкторской части с сохранением объема.

При выполнении динамических, прочностных и иных видов расчетов применяется методика расчета, изложенная в соответствующих курсах (сопротивление материалов, детали машин, гидропривод, электропривод и др.), изученных студентами в процессе обучения (см. список литературы).

Пояснительная записка выполняется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на оформление текстовых документов (ГОСТ 2.105-95, ЕСКД).

Сборочный чертеж выполняется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на оформление графических материалов (ЕСКД, ЕСТД).

Спецификация выполняется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (ГОСТ 2.106-96).

5. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОХРАНЫ ТРУДА

5.1. Общие положения

В «Общих положениях» следует рассмотреть вопросы:

- Организация работы по охране труда на предприятиях автомобильного транспорта.

- Функции по охране труда и ответственность руководителя и специалистов.

- Безопасные условия труда при техническом обслуживании и ремонте автомобилей.

- Пожарная безопасность на предприятиях автомобильного транспорта.

- Первая (доврачебная) помощь при несчастных случаях на производстве.

5.2. Расчет вентиляции на предприятиях автомобильного транспорта

В помещениях для обслуживания и ремонта автомобилей основными производственными вредностями следует считать окись углерода, окислы азота и альдегиды.

Основой расчета воздухообмена служат данные о внутривыпускном расходе топлива, продолжительности работы автомобиля, содержание окиси углерода, окислов азота и альдегидов, их предельно допустимые концентрации.

Все расчеты вентиляционных объемов воздуха проводят исходя из задачи растворения наиболее токсичных веществ:

- для бензиновых автомобилей – окись углерода, акролеин;
- для дизелей – окись углерода, окислы азота, альдегиды.

Количество окиси углерода и акролеина, выделяемых бензиновым автомобилем при его работе:

$$G_B = \frac{15BP}{100}, \text{ кг/ч.} \quad (5.1)$$

где B – расход топлива одним бензиновым автомобилем при движении в помещении;

P – содержание окиси углерода и акролеина, выделяемых автомобилем при работе, %.

$$B = 0,6 + 0,8V, \text{ кг/ч.} \quad (5.2)$$

где V – рабочий объем двигателя

Для зон обслуживания и ремонта следует принимать:

- окись углерода 1,5 %,
- акролеин 0,15 %.

Для автомобиля с дизелем количество окиси углерода, окислов азота и альдегидов, следует определять по формуле

$$G_D = \frac{(160 + 13,5V)P}{100}, \text{ кг/ч.} \quad (5.3)$$

Содержание вредностей в отработавших газах дизеля P , %, для зоны обслуживания и ремонта автомобилей:

- окись углерода 0,071;
- окислы азота 0,669;
- альдегиды 0,054.

При расчете вентиляционных обменов воздуха в помещениях пользуются средними показателями продолжительности работы двигателя автомобиля, t мин.

1) на постах технического обслуживания:

- при наличии мойки – 3,0
- при отсутствии мойки – 1,5;

2) для ремонтной зоны:

- при кратковременном ремонте – 1,5
- ремонте, продолжительностью 1 ч – 4,0
- регулировочных работах – 10,0.

Потребный воздухообмен, необходимый для растворения выделяющихся газов, определяют следующим образом:

при работе автомобилей различных моделей в помещениях технического обслуживания и ремонта:

$$V_{co} = \frac{1000G_{1co}t_1n_1}{60d} + \frac{1000G_{2co}t_2n_2}{60d} + \dots + \frac{1000G_{nco}t_n n_n}{60d}, \text{ м}^3/r \quad (5.4)$$

где V_{co} – объем воздуха, необходимый для растворения окиси углерода (альдегидов, окислов азота), $\text{м}^3/r$;

$G_{co1,2\dots n}$ – количество окиси углерода (окислов азота, альдегидов), содержащихся в отработавших газах, которые выделяют автомобили при их работе в течение 1 ч., кг/ч;

$t_{1,2\dots n}$ – средняя продолжительность работы автомобилей различных марок, мин;

n – число работающих в течение часа автомобилей различных марок;

d – предельно допустимая концентрация вредных выделений в рабочей зоне помещений, $\text{г}/\text{м}^3$.

Предельно допустимые концентрации вредностей, $\text{г}/\text{м}^3$:

- окись углерода 0,02
- альдегиды (акролеин) 0,0007
- окислы азота 0,005.

При работе автомобилей одинаковых моделей:

$$V_{co} = \frac{1000G t_n}{60d} \quad (5.5)$$

Суммарный воздухообмен, $\text{м}^3/r$

- для бензиновых автомобилей $V_{\Sigma} = V_{co} + V_{акр.}$

- для дизелей $V_{\Sigma} = V_{co} + V_{NOx} + V_{альд.}$

Зоны обслуживания и ремонта автомобилей должны быть оборудованы общеобменной и местной вентиляцией. Общеобменную вентиляцию в помещениях следует предусматривать по следующей схеме: вытяжку воздуха из верхней зоны над тупиковыми постами и торцами поточных линий; приток воздуха в рабочую зону и в рабочие осмотровые канавы. Подавать воздух осмотровые канавы следует из расчета $125 \text{ м}^3/ \text{ч}$ со скоростью выпуска воздуха из приточных отверстий 2,0-2,5 м/с под углом 45° к плоскости пола канавы. Температура подаваемого воздуха в осмотровые канавы в холодный период года должна быть не ниже 16°C и не выше 25°C .

5.3. Расчет системы освещения производственных помещений

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учетом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

В данном расчетном задании для помещений, где производится ремонт и техническое обслуживание автотранспортных средств, рассчитывается общее равномерное освещение.

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95. Выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объема различения контраста с фоном.

Для работ по обслуживанию и ремонту автомобилей за характеристику зрительной работы следует принимать работу малой точности при освещенности 200–300 лк.

Расчет общего равномерного искусственного освещения выполняется методом коэффициента светового потока.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле

$$\Phi = \frac{E_n S K_3 \cdot 100}{n \mu}, \quad (5.6)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, задымленность и наличие пыли в помещении, принимаемым 1,5;

z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp} / E_{min} (1,1–1,5);

n – число светильников;

μ – коэффициент использования светового потока, принимается 0,5.

После определения требуемого светового потока лампы подбирают по справочным данным ближайшую стандартную лампу и находят отклонение ее светового потока от расчетного:

$$\gamma = \left| \frac{(\Phi_{ст} - \Phi_{расч})}{\Phi_{расч}} \right| 100\% \quad (5.7)$$

Допускается отклонение 30 %.

Список рекомендуемой литературы:

1. Напольский, Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания : учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1985. – 231 с.
2. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М. : Транспорт, 1972. – 56 с.
3. Краткий автомобильный справочник: в 4 т. Т. 1 : Автобусы / Б. В. Кисуленко [и др.]; под общ. ред. А. П. Насонова; Науч.-исслед. ин-т автомоб. транспорта (НИИАТ), Межотрасл. фонд "Сертификация автотранспорта" (САТР-фонд). – М. : Трансконсалтинг, 2002. – 360 с.
4. Краткий автомобильный справочник: в 4 т. Т. 2 : Грузовые автомобили / Б. В. Кисуленко [и др.]; под общ. ред. А. П. Насонова; Науч.-исслед. ин-т автомоб. транспорта (НИИАТ), Межотрасл. фонд "Сертификация автотранспорта" (САТР-фонд). – М. : Трансконсалтинг, 2002. – 370 с.
5. Краткий автомобильный справочник: в 4 т. Т. 3, Ч. 1 : Легковые автомобили / И. А. Венгеров [и др.]; под общ. ред. Б. В. Кисуленко. – М. : Автополис-плюс, 2004. – 488 с.
6. Краткий автомобильный справочник: в 4 т. Т. 3, Ч. 1 : Легковые автомобили / И. А. Венгеров [и др.]; под общ. ред. А. П. Насонова. – М. : Автополис-плюс, 2004. – 560 с.
7. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. – М. : Транспорт, 1982. – 368 с.
8. Архангельский, Ю. А. Охрана труда и противопожарная защита на автомобильном транспорте / Ю. А. Архангельский, Э. И. Коган, В. А. Хайкин. – М. : Транспорт, 1975. – 178 с.
9. Салов, А. И. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта : учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1985. – 352 с.
10. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов / И. Н. Миролубов, С. А. Енгальчев, Н. Д. Сергиевский, Ф. З. Алмаметов, Н. А. Курицын, К. Г. Смирнов-Васильев. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1985.
11. Иванов М. Н. Детали машин. – М.: Высшая школа, 1976. – 398 с.
12. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов О. П. – М. : Высшая школа, 2001. – 447с.
13. Фесик С. П. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев, 1970. – 307с.
14. Дорнов, А. В. Сопротивление материалов: учебник для технических вузов / А. В. Дорнов, Г.С. Шпира. – М.: Высшая школа, 1989. – 624 с.
15. Богданов, В. К. Справочное руководство по черчению/ В. К. Богданов, И. Ф. Маложик, А. П. Верхола. – М. : Машиностроение, 1989. – 864 с.

Составители

Александр Иванович Подгорный
Дмитрий Владимирович Стенин
Александр Геннадьевич Кульпин
Виталий Евгеньевич Ашихмин
Андрей Сергеевич Фурман

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выпускной квалификационной работе
для студентов направления подготовки 23.03.03 (190600.62)
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 09.02.2015. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.
Уч.-изд. л. 2,9. Тираж 74 экз. Заказ

КузГТУ.
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Издательский центр КузГТУ.
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.