Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 13.08.2026 10:35:49
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Кафедра «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»

Надарейшвили Г.Г., Курмаев Р.Х., Апелинский Д.В.

ТЕОРИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Методические указания

по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Поршневые двигатели и турбомашины»

Одобрено учебно-методической комиссией транспортного факультета

Москва 2026 г.

УДК 621.43
ББК 39.33-08
Н15

Рецензенты:
Д.Ю. Балашов, начальник отдела НТС ФГУП «НАМИ»
Щербин Алексей Михайлович, Начальник отдела центра «Специальные транспортные средства» ФГУП «НАМИ», кандидат технических наук

Авторский коллектив: Надарейшвили Г.Г., Курмаев Р.Х., Апелинский Д.В.

Теория рабочих процессов поршневых двигателей: Методические указания. – М.: Московский политехнический университет, 2026.– 69 с.

Методические указания содержат подробный алгоритм выполнения теплового расчёта рабочего цикла поршневого двигателя, включая расчёт параметров рабочего тела, процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения и выпуска. В пособии приведены требования к построению индикаторной диаграммы, внешней скоростной характеристики, теплового баланса и оформлению пояснительной записки. Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Поршневые двигатели и турбомашины».

УДК 621.43
ББК 39.33-08

Содержание

Введение **7**
Место дисциплины в образовательной программе 7
Роль дисциплины в сквозном проектировании 8
Связь с формируемыми компетенциями 9
Цель и задачи учебного пособия 9
Структура пособия 10
Раздел 1. Цели и задачи курсовой работы 11
1.1. Цель выполнения курсовой работы 11
1.2. Задачи курсовой работы 11
1.3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения 12
1.4. Результат выполнения курсовой работы 13
Раздел 2. Требования к содержанию и структуре работы . 14
2.1. Примерный перечень тем курсовых работ 14
2.2. Структура пояснительной записки 15
2.3. Состав графической части 17
2.4. Требования к оформлению расчётной части 18
Раздел 3. Исходные данные и их получение 19
3.1. Источники исходных данных 19
3.2. Связь с предшествующими дисциплинами 20
3.3. Порядок получения индивидуального задания и согласования темы 21
3.4. Сроки выполнения этапов 22
Раздел 4. Методические указания по выполнению курсовой работы 23
4.1. Подготовительный этап 23
4.2. Выбор и обоснование исходных данных 24
4.3. Расчёт параметров рабочего тела 25
4.4. Расчёт процесса впуска 26
4.5. Расчёт процесса сжатия 26

4.6. Расчёт процесса сгорания 27
4.7. Расчёт процесса расширения 28
4.8. Расчёт индикаторных показателей 28
4.9. Расчёт эффективных показателей 29
4.9. Построение индикаторной диаграммы 29
4.10. Построение внешней скоростной характеристики 30
4.11. Типичные ошибки и способы их предотвращения 30
Раздел 5. Требования к оформлению пояснительной записки 32
5.1. Общие требования к оформлению 32
5.2. Оформление текста 33
5.3. Оформление иллюстраций (рисунков) 33
5.4. Оформление таблиц 34
5.5. Оформление формул 35
5.6. Оформление ссылок и списка литературы 36
5.7. Оформление приложений 37
5.8. Контрольный список проверки оформления 37
Раздел 6. Требования к оформлению графической части 38
6.1. Состав графической части 38
6.2. Требования к выполнению индикаторной диаграммы (p–V) 39
6.3. Требования к выполнению развёрнутой индикаторной диаграммы (p–φ) 40
6.4. Требования к выполнению внешней скоростной характеристики 40
6.5. Требования к выполнению диаграммы теплового баланса 41
6.6. Требования к презентации (при наличии) 41
6.7. Контрольный список проверки графической части 42
Раздел 7. Программное обеспечение и инструменты 43
7.1. Основное программное обеспечение 43
7.2. Вспомогательное программное обеспечение 44

7.3. Учебные ресурсы по программному обеспечению 44
7.4. Требования к форматам сдаваемых файлов 45
7.5. Структура электронного архива 45
Раздел 8. Организация выполнения и защиты курсовой работы 46
8.1. Календарный план выполнения курсовой работы 46
8.2. Взаимодействие с руководителем 47
8.3. Порядок сдачи курсовой работы 47
8.4. Защита курсовой работы 48
8.5. Рекомендации по подготовке к защите 49
Раздел 9. Критерии оценки курсовой работы 49
9.1. Оценка «отлично» 50
9.2. Оценка «хорошо» 51
9.3. Оценка «удовлетворительно» 51
9.4. Оценка «неудовлетворительно» 52
9.5. Порядок апелляции 52
Раздел 10. Список рекомендуемой литературы 53
10.1. Основная литература 53
10.2. Дополнительная литература 54
10.3. Нормативно-техническая документация 54
10.4. Периодические издания 54
10.5. Электронные ресурсы 55
10.6. Рекомендации по работе с литературой 55
Приложения 56
Приложение А. Образец титульного листа пояснительной записки 56
Приложение Б. Образец индивидуального задания 57
Приложение В. Образец календарного плана 58
Приложение Г. Образец рабочего дневника студента 60
Приложение Д. Пример оформления индикаторной диаграммы 62
Приложение Е. Пример расчёта с таблицами и формулами 63

Приложение Ж. Перечень вопросов для защиты курсовой работы 64
Приложение З. Образец презентации (миниатюры слайдов)..... 65
Заключение..... 66
Библиографический список..... 68

Введение

Дисциплина Б1.1.20 «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» занимает центральное место в структуре подготовки бакалавров по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» (профиль «Поршневые двигатели и турбомашины»). Она изучается в четвёртом семестре и относится к обязательной части блока Б1 учебного плана. Если предыдущие дисциплины знакомили студента с конструкцией двигателя и основами черчения, то данная дисциплина раскрывает физическую сущность процессов, превращающих тепловую энергию топлива в механическую работу, — ради чего, собственно, и создаётся двигатель.

Место дисциплины в образовательной программе

Дисциплина опирается на фундаментальные знания, полученные студентами при изучении таких дисциплин, как «Физика» (термодинамика, теплопередача), «Математический анализ» (дифференциальные и интегральные уравнения, численные методы), «Термодинамика» (законы термодинамики, циклы, термодинамические потенциалы), «Топлива и смазочные материалы» (свойства топлив, реакции горения), а также «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» (начальные сведения о рабочих процессах). Важно отметить, что расчёт выполняется для двигателя, 3D-модель которого была создана на предыдущем этапе сквозного проекта (дисциплина Б1.1.12 «Автоматизированное проектирование в двигателестроении»). Это обеспечивает преемственность и позволяет студенту работать над единым объектом проектирования.

В свою очередь, результаты освоения дисциплины «Теория рабочих процессов» являются фундаментом для последующего изучения целого ряда профильных дисциплин. Курсовая работа по данной дисциплине даёт исходные данные для выполнения курсового проекта по дисциплине «Динамический расчет поршневых двигателей» (Б1.2.4) — в частности, значение давления газов в цилиндре как функцию угла поворота коленчатого вала. Эти же дан-

ные используются при выполнении курсового проекта по дисциплине «Конструирование и расчет поршневых двигателей» (Б1.2.8) для задания граничных условий при прочностном анализе деталей кривошипно-шатунного механизма. Кроме того, результаты теплового расчёта используются при изучении дисциплин «Теплообмен и теплообменные аппараты», «Агрегаты наддува», а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

Роль дисциплины в сквозном проектировании

Образовательная программа построена на принципе сквозного проектирования, который пронизывает все четыре года обучения. Единый сквозной проект, выполняемый студентом индивидуально на протяжении 1–8 семестров, объединяет все профильные дисциплины и практики в единую логическую последовательность, результатом которой становится целостная выпускная квалификационная работа.

Курсовая работа по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» является составной частью отчёта по **третьему этапу сквозного проекта — «CAE. Расчёты» (4 семестр)**. Результатом выполнения данной курсовой работы становится **термодинамический расчёт рабочего цикла проектируемого двигателя**, который включает следующие ключевые артефакты:

- давление газов в цилиндре как функция угла поворота коленчатого вала (индикаторная диаграмма);
- основные геометрические параметры двигателя (диаметр цилиндра, ход поршня, рабочий объём);
- индикаторные и эффективные показатели двигателя (мощность, крутящий момент, удельный расход топлива, КПД);
- тепловой баланс двигателя;
- скоростную характеристику двигателя.

В ходе выполнения работы студент определяет параметры рабочего тела в цилиндре на всех тактах рабочего цикла: впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск. Оцениваются энергетические и экономические показатели проектируемого двигателя: эффективная мощность, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива.

Результаты теплового расчёта имеют критическое значение для последующих этапов сквозного проектирования. Значение давления газов в цилиндре, полученное в курсовой работе, используется при выполнении курсового проекта по дисциплине «Динамический расчет поршневых двигателей» (Б1.2.4) для определения сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме. В свою очередь, эти силы являются исходными данными для прочностного анализа деталей двигателя в курсовом проекте по дисциплине «Конструирование и расчет поршневых двигателей» (Б1.2.8). Таким образом, тепловой расчёт является первым и необходимым звеном в цепочке расчётов, ведущей к созданию работоспособной и надёжной конструкции.

Связь с формируемыми компетенциями

Выполнение курсовой работы направлено на формирование универсальной компетенции УК-1: «Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач». Студент учится анализировать задачу теплового расчёта, выделяя её базовые составляющие (расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения, выпуска) — индикатор ИУК-1.1. Осуществляет поиск и критическую оценку информации о влиянии степени сжатия, состава смеси, угла опережения зажигания на показатели двигателя, её обобщение и систематизацию — индикатор ИУК-1.2. Рассматривает и предлагает рациональные варианты оптимизации рабочего процесса (выбор степени сжатия, фаз газораспределения, способа смесеобразования) с использованием системного подхода и критической оценкой их достоинств и недостатков — индикатор ИУК-1.3.

Цель и задачи учебного пособия

Цель настоящего пособия — оказать методическую помощь студенту в выполнении, оформлении и защите курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» в контексте третьего этапа сквозного проектирования.

Задачи пособия:

- разъяснить место и роль курсовой работы в структуре сквозного проектирования;
- дать рекомендации по выбору исходных данных и организации расчёта;
- изложить требования к содержанию и структуре пояснительной записки;
- предоставить пошаговые методические указания по выполнению теплового расчёта двигателя;
- описать порядок построения индикаторной диаграммы и скоростной характеристики;
- привести требования к оформлению пояснительной записки и графической части;
- описать порядок защиты курсовой работы и критерии оценки.

Структура пособия

Пособие состоит из следующих разделов. Введение, в котором описывается место дисциплины в образовательной программе и сквозном проекте. Раздел 1, посвящённый целям, задачам и планируемым результатам курсовой работы. Раздел 2, содержащий требования к содержанию и структуре работы. Раздел 3, в котором приведены примерные темы курсовых работ. Раздел 4, содержащий методические указания по выполнению работы (пошаговый алгоритм теплового расчёта). Раздел 5, описывающий требования к оформлению пояснительной записки и графической части. Раздел 6, содержащий перечень рекомендуемого программного обеспечения и литературы. Раздел 7, описывающий организацию выполнения и защиты работы, а также критерии оценки. В приложениях приведены образцы оформления титульного листа, индивидуального задания, а также справочные таблицы (свойства топлив, коэффициенты, теплоёмкости) для выполнения расчёта.

Пособие предназначено для студентов очной формы обучения по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и может быть использовано как при выполнении курсовой работы, так и при подготовке к экзаменам и зачётам по дисциплине.

Раздел 1. Цели и задачи курсовой работы

1.1. Цель выполнения курсовой работы

Целью курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» является выполнение термодинамического расчёта рабочего цикла проектируемого поршневого двигателя, определение его основных геометрических параметров (диаметра цилиндра и хода поршня), а также оценка индикаторных и эффективных показателей, характеризующих энергетическую и экономическую эффективность двигателя.

Результаты расчёта служат основой для обоснования параметров проектируемого двигателя, выбора рациональных конструктивных решений и являются исходными данными для последующих этапов сквозного проектирования — динамического и прочностного расчётов деталей двигателя.

1.2. Задачи курсовой работы

Для достижения поставленной цели студент должен решить следующие задачи.

Первая задача — выбрать и обосновать исходные данные для расчёта: тип двигателя (бензиновый или дизельный), назначение двигателя, эффективную мощность, частоту вращения коленчатого вала, число и расположение цилиндров, степень сжатия, тип охлаждения, коэффициент избытка воздуха.

Вторая задача — рассчитать параметры рабочего тела: теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, действительное количество воздуха, состав и количество продуктов сгорания, коэффициент молекулярного изменения, теплоёмкости свежего заряда и продуктов сгорания.

Третья задача — выполнить расчёт процессов рабочего цикла: впуска (давление и температура в конце впуска, коэффициент наполнения), сжатия (давление и температура в конце сжатия, показатель политропы сжатия), сгорания (давление и температура в конце сгорания, коэффициент использования теплоты, степень повышения давления), расширения (давление и температура в

конце расширения, показатель политропы расширения), выпуска (давление и температура в конце выпуска).

Четвёртая задача — построить индикаторную диаграмму рабочего цикла в координатах давление–объём (p–V) и развернутую индикаторную диаграмму в координатах давление–угол поворота коленчатого вала (p–φ).

Пятая задача — определить индикаторные показатели двигателя: среднее индикаторное давление (расчётное и по индикаторной диаграмме), индикаторную мощность, индикаторный КПД, удельный индикаторный расход топлива.

Шестая задача — рассчитать эффективные показатели двигателя: среднее давление механических потерь, механический КПД, среднее эффективное давление, эффективную мощность, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива.

Седьмая задача — построить внешнюю скоростную характеристику двигателя, определив зависимость эффективной мощности, крутящего момента и удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала.

Восьмая задача — составить тепловой баланс двигателя, определив распределение теплоты, внесённой с топливом, на полезную работу, потери теплоты с отработавшими газами, в систему охлаждения и прочие потери.

1.3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения

В результате выполнения курсовой работы у студента формируется следующая универсальная компетенция.

Универсальная компетенция УК-1: «Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач».

Данная компетенция формируется в процессе выполнения теплового расчёта, анализа его результатов и обоснования выбора конструктивных параметров. Индикаторы достижения:

- ИУК-1.1: студент анализирует задачу теплового расчёта, выделяя её базовые составляющие (расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения, выпуска; определение индикаторных и эффективных показателей).

• ИУК-1.2: студент осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию о влиянии степени сжатия, состава смеси, угла опережения зажигания (впрыска) на индикаторные и эффективные показатели двигателя.

• ИУК-1.3: студент рассматривает и предлагает рациональные варианты оптимизации рабочего процесса (выбор степени сжатия, фаз газораспределения, способа смесеобразования, типа камеры сгорания) с использованием системного подхода, критически оценивая их достоинства и недостатки.

1.4. Результат выполнения курсовой работы

По завершении курсовой работы студент представляет следующий комплект материалов.

Пояснительная записка объёмом 20–30 страниц, оформленная в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета. Пояснительная записка включает: титульный лист, индивидуальное задание, реферат, содержание, введение, аналитический обзор, расчётную часть (с таблицами и формулами), анализ результатов, заключение, список литературы и приложения.

Графическая часть включает следующие материалы, оформленные на листах формата А3 или А4 (в зависимости от требований руководителя) или включённые в пояснительную записку в качестве иллюстраций:

• индикаторная диаграмма рабочего цикла в координатах p–V;

• развёрнутая индикаторная диаграмма в координатах p–φ;

• внешняя скоростная характеристика двигателя (графики зависимости Ne, Me, ge от частоты вращения коленчатого вала);

• диаграмма теплового баланса (круговая или столбчатая).

Электронный архив содержит файл пояснительной записки в форматах .docx и .pdf, файлы с графическими материалами в форматах .pdf или .jpg, а также файл с расчётами в формате Microsoft Excel (при выполнении расчёта в электронных таблицах).

Все эти материалы являются составной частью отчёта по третьему этапу сквозного проекта «CAE. Расчёты» и служат исход-

ными данными для выполнения курсовых проектов по дисциплинам «Динамический расчет поршневых двигателей» (Б1.2.4) и «Конструирование и расчет поршневых двигателей» (Б1.2.8).

Раздел 2. Требования к содержанию и структуре работы

2.1. Примерный перечень тем курсовых работ

Тематика курсовых работ по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» формируется в зависимости от типа двигателя, его назначения и исходных параметров. Студент выполняет расчёт для двигателя, 3D-модель которого была создана на предыдущем этапе сквозного проекта. Это обеспечивает преемственность и позволяет студенту работать над единым объектом проектирования.

Ниже приведён примерный перечень тем, сгруппированных по типам двигателей.

По бензиновым двигателям:

- Тепловой расчёт бензинового двигателя с искровым зажиганием для легкового автомобиля (с указанием рабочего объёма и мощности).
- Тепловой расчёт бензинового двигателя с распределённым впрыском топлива.
- Тепловой расчёт бензинового двигателя с непосредственным впрыском топлива.
- Тепловой расчёт бензинового двигателя с турбонаддувом.
- Тепловой расчёт двигателя, работающего на сжатом природном газе (метане).

По дизельным двигателям:

- Тепловой расчёт дизельного двигателя без наддува для легкового автомобиля.
- Тепловой расчёт дизельного двигателя с турбонаддувом для грузового автомобиля.
- Тепловой расчёт дизельного двигателя с непосредственным впрыском топлива.

• Тепловой расчёт дизельного двигателя с разделённой камерой сгорания (вихревой или предкамерной).

• Тепловой расчёт дизельного двигателя, работающего на биодизельном топливе.

По двигателям общего назначения:

• Тепловой расчёт двигателя для стационарной энергетической установки.

• Тепловой расчёт двигателя для трактора или сельскохозяйственной техники.

• Тепловой расчёт двигателя для судовой установки.

• Тепловой расчёт двигателя для мотоцикла или снегохода.

Выбранная тема должна соответствовать техническому заданию и эскизной компоновке, разработанным на первом этапе сквозного проекта. Результаты теплового расчёта (давление газов в цилиндре, диаметр цилиндра и ход поршня) используются при выполнении последующих курсовых работ по динамическому расчёту и прочностному анализу.

2.2. Структура пояснительной записки

Пояснительная записка курсовой работы оформляется на листах формата А4 и должна иметь следующую структуру.

Титульный лист является первой страницей пояснительной записки. Он оформляется в соответствии с установленным образцом (приводится в Приложении А) и содержит наименование университета, факультета, кафедры, направление подготовки, профиль, тему курсовой работы, сведения о студенте и руководителе, город и год выполнения. На титульном листе также указывается гриф «К защите на этапе 3 сквозного проекта».

Индивидуальное задание выдаётся руководителем и содержит перечень подлежащих разработке вопросов, исходные данные (тип двигателя, эффективную мощность, частоту вращения, степень сжатия и т.д.), сроки выполнения и требования к результатам. Задание подписывается студентом и руководителем.

Реферат представляет собой краткую характеристику работы объёмом 500–800 знаков. В реферате указываются: объём пояснительной записки, количество рисунков, таблиц, источников; перечень ключевых слов (5–7 слов); объект расчёта (тип двигателя);

цель работы; краткое содержание работы по разделам; основные результаты (индикаторные и эффективные показатели, диаметр цилиндра и ход поршня).

Содержание включает наименования всех разделов, подразделов и приложений с указанием номеров страниц. Содержание должно соответствовать тексту пояснительной записки и оформляться в виде автоматически генерируемого оглавления.

Введение (объёмом 1–2 страницы) содержит обоснование актуальности темы, описание объекта расчёта, формулировку цели и задач курсовой работы, а также краткую характеристику структуры работы.

Глава 1. Аналитический обзор и выбор исходных данных (объёмом 3–5 страниц) включает: обзор существующих конструкций двигателей-аналогов; анализ факторов, влияющих на рабочий процесс (степень сжатия, коэффициент избытка воздуха, угол опережения зажигания/впрыска, фазы газораспределения); обоснование выбора исходных данных для расчёта (тип двигателя, эффективная мощность, частота вращения, число цилиндров, степень сжатия, коэффициент избытка воздуха, тип охлаждения, тип камеры сгорания).

Глава 2. Расчёт параметров рабочего тела (объёмом 3–5 страниц) включает: определение элементарного состава топлива (для бензина или дизельного топлива); расчёт теоретически необходимого количества воздуха; расчёт действительного количества воздуха; определение состава и количества продуктов сгорания; расчёт коэффициента молекулярного изменения; определение теплоёмкостей свежего заряда и продуктов сгорания.

Глава 3. Расчёт процессов рабочего цикла (объёмом 5–7 страниц) включает последовательный расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения и выпуска. Для каждого процесса определяются давление и температура в начале и конце процесса, показатель политропы (для процессов сжатия и расширения), коэффициент наполнения (для впуска), степень повышения давления (для сгорания в бензиновых двигателях) или степень предварительного расширения (для сгорания в дизелях). Расчёт сопровождается пояснениями и ссылками на справочные данные.

Глава 4. Индикаторные и эффективные показатели (объёмом 3–5 страниц) включает: расчёт среднего индикаторного давления (расчётного и по индикаторной диаграмме); расчёт индикаторной мощности, индикаторного КПД, удельного индикаторного расхода топлива; расчёт среднего давления механических потерь; расчёт механического КПД; расчёт эффективных показателей (среднее эффективное давление, эффективная мощность, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива); построение внешней скоростной характеристики; составление теплового баланса.

Заключение (объёмом 1–2 страницы) содержит краткие выводы по результатам выполнения курсовой работы: основные параметры двигателя (диаметр цилиндра, ход поршня, рабочий объём), индикаторные и эффективные показатели, оценку соответствия полученных результатов требованиям технического задания, а также указание на то, как результаты данной работы будут использованы на последующих этапах сквозного проекта (для динамического и прочностного расчётов).

Список использованных источников включает все источники, на которые имеются ссылки в тексте пояснительной записки (не менее 10–15 наименований). Список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82.

Приложения содержат вспомогательные материалы: подробные таблицы с промежуточными результатами расчёта, распечатки расчётов в Mathcad или Excel, копии графиков и диаграмм в увеличенном формате. Приложения не входят в основной объём пояснительной записки.

2.3. Состав графической части

Графическая часть курсовой работы включает следующие материалы, которые могут быть представлены на отдельных листах формата А3 или А4 либо включены в пояснительную записку в качестве иллюстраций.

Индикаторная диаграмма в координатах $p - V$ строится на основе расчёта процессов сжатия и расширения. На диаграмме отмечаются характерные точки: a (начало сжатия), c (конец сжатия),

z (конец сгорания), b (конец расширения). Для бензинового двигателя точка z находится на линии сгорания (изохора), для дизеля — на линии сгорания (изобара). Диаграмма выполняется в масштабе, обеспечивающем наглядность. Рекомендуемые масштабы: по оси давлений — 1 МПа = 30–50 мм, по оси объёмов — 1 л = 20–30 мм.

Развёрнутая индикаторная диаграмма в координатах $p - \varphi$ строится в зависимости от угла поворота коленчатого вала (от 0 до 720 градусов для четырёхтактного двигателя или от 0 до 360 градусов для двухтактного). На диаграмме показываются все такты: впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск. Характерные точки наносятся с учётом фаз газораспределения и угла опережения зажигания (впрыска). Диаграмма позволяет наглядно оценить протекание рабочего цикла.

Внешняя скоростная характеристика представляет собой графики зависимости эффективной мощности Ne (кВт), крутящего момента Me (Н·м) и удельного эффективного расхода топлива ge (г/кВт·ч) от частоты вращения коленчатого вала n (мин$^{-1}$). Характеристика строится для диапазона частот вращения от минимально устойчивой (n_{min} = 500–800 мин$^{-1}$) до максимальной (n_{max} = 1,05–1,2 от номинальной). Характеристика выполняется на миллиметровой бумаге или с использованием графических средств Excel.

Диаграмма теплового баланса может быть представлена в виде круговой диаграммы (секторной) или столбчатой диаграммы. На диаграмме показывается распределение теплоты, внесённой с топливом (100%), на полезную работу (q_e), потери теплоты с отработавшими газами ($q_г$), потери теплоты в систему охлаждения ($q_в$), потери теплоты от неполноты сгорания ($q_{н.с.}$) и прочие потери ($q_{ост}$). Диаграмма наглядно демонстрирует эффективность использования теплоты в проектируемом двигателе.

2.4. Требования к оформлению расчётной части

Расчётная часть курсовой работы выполняется с использованием электронных таблиц (Microsoft Excel) или математических пакетов (Mathcad, MATLAB). Все расчёты должны быть представлены в пояснительной записке в виде таблиц и формул с пояснениями. Каждая формула должна сопровождаться расшифровкой

входящих в неё символов. Все исходные и расчётные данные должны быть сведены в таблицы с указанием единиц измерения. Промежуточные вычисления допускается не приводить полностью, но должны быть указаны конечные результаты каждого этапа расчёта. Расчёты должны быть проверены на соответствие физическому смыслу (например, давление в конце сжатия должно быть выше давления в начале сжатия, температура в конце сгорания должна быть выше температуры в конце сжатия и т.д.).

Раздел 3. Исходные данные и их получение

3.1. Источники исходных данных

Для успешного выполнения курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» студенту необходимо получить и проанализировать исходные данные, которые могут поступать из нескольких источников.

Первым источником является результат первого и второго этапов сквозного проекта. Техническое задание и эскизная компоновка, разработанные при выполнении курсового проекта по дисциплине «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» (Б1.1.9), а также 3D-модель двигателя, созданная в рамках курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» (Б1.1.12), содержат информацию о типе двигателя, его назначении, примерных геометрических параметрах. Эти материалы позволяют студенту осознанно подойти к выбору исходных данных для теплового расчёта.

Вторым источником являются дисциплины, изучаемые на предыдущих курсах. Дисциплина «Физика» (Б1.1.26.3) даёт фундаментальные знания в области термодинамики, теплопередачи, молекулярно-кинетической теории газов. Дисциплина «Термодинамика» (Б1.1.17) обеспечивает понимание законов термодинамики, термодинамических циклов, свойств рабочих тел. Дисциплина «Топлива и смазочные материалы энергетических установок» (Б1.1.18) даёт сведения о составе и свойствах топлив, реак-

циях горения, октановом и цетановом числах. Дисциплина «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» (Б1.1.11) закладывает начальные знания о рабочих процессах в двигателях.

Третьим источником является учебная и справочная литература. Студент должен изучить учебники по теории двигателей внутреннего сгорания, справочники по теплофизическим свойствам рабочих тел, таблицы стандартных параметров двигателей-аналогов. Рекомендуемые источники приведены в разделе 6 настоящего пособия.

Четвёртым источником является нормативно-техническая документация. Для расчётов используются государственные стандарты на топлива (ГОСТ Р 51105-97 для бензинов, ГОСТ 305-2013 для дизельного топлива), стандарты на методы испытаний, а также отраслевые нормали.

Пятым источником (при наличии) могут быть данные с предприятия-партнёра. Для студентов, проходящих практику на предприятиях-партнёрах, исходными данными могут служить реальные параметры выпускаемых двигателей, технические задания на проектирование, данные испытаний.

3.2. Связь с предшествующими дисциплинами

Выполнение курсовой работы опирается на результаты, полученные студентом при изучении следующих дисциплин первого, второго и третьего семестров.

Б1.1.26.3 «Физика» — разделы термодинамики, молекулярной физики, теплопередачи. Используются знания о первом и втором законах термодинамики, теплоёмкости газов, процессах теплопередачи.

Б1.1.17 «Термодинамика» — термодинамические циклы, свойства идеальных и реальных газов, термодинамические процессы, уравнения состояния. Эти знания непосредственно применяются при расчёте рабочего цикла двигателя.

Б1.1.18 «Топлива и смазочные материалы» — элементарный состав топлив, теплота сгорания, стехиометрические реакции, октановое и цетановое числа. Используются при расчёте параметров рабочего тела.

Б1.1.11 «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» — начальные сведения о четырёхтактном и двухтактном циклах, принципах работы двигателей, конструктивных особенностях. Используются для общего понимания рабочего процесса.

Б1.1.9 «Графическое проектирование» и **Б1.1.12 «Автоматизированное проектирование»** — результаты этих дисциплин (техническое задание, эскизная компоновка, 3D-модель) используются для определения типа двигателя, его назначения и примерных геометрических параметров.

3.3. Порядок получения индивидуального задания и согласования темы

Процедура получения задания и согласования темы курсовой работы включает несколько этапов.

Первый этап — получение исходных параметров. В начале четвёртого семестра студент получает от руководителя индивидуальное задание, в котором указываются основные исходные данные для расчёта: тип двигателя (бензиновый или дизельный), назначение двигателя (легковой автомобиль, грузовой автомобиль, трактор, стационарная установка), эффективная мощность Ne (кВт) или литраж двигателя, номинальная частота вращения n_N (мин$^{-1}$), число цилиндров i и их расположение (рядное, V-образное), тип охлаждения (жидкостное или воздушное). Если тема курсовой работы является продолжением темы сквозного проекта, исходные данные могут быть взяты из технического задания, разработанного на первом этапе.

Второй этап — выбор дополнительных параметров. На основе типа двигателя и его назначения студент самостоятельно (с консультацией руководителя) выбирает следующие параметры: степень сжатия ε (в диапазоне, характерном для данного типа двигателя: для бензиновых — 8–12, для дизелей — 14–22); коэффициент избытка воздуха α (для бензиновых — 0,85–1,1, для дизелей — 1,3–1,7); угол опережения зажигания (для бензиновых) или угол опережения впрыска (для дизелей); фазы газораспределения; тип

камеры сгорания (для дизелей — неразделённая, вихревая, предкамерная). Выбор параметров должен быть обоснован в пояснительной записке.

Третий этап — согласование исходных данных с руководителем. Все выбранные исходные данные должны быть согласованы с руководителем. При необходимости руководитель корректирует параметры, исходя из опыта и требований к курсовой работе.

Четвёртый этап — утверждение задания. После согласования всех исходных данных индивидуальное задание подписывается студентом и руководителем, после чего утверждается заведующим кафедрой. Задание является основанием для выполнения расчёта.

3.4. Сроки выполнения этапов

Выполнение курсовой работы рассчитано на четвёртый семестр. Рекомендуемый календарный план представлен ниже.

На первой-второй неделях студент получает индивидуальное задание, знакомится с требованиями к курсовой работе, подбирает литературные источники.

На третьей-четвёртой неделях проводится выбор и обоснование исходных данных, выполняются расчёты параметров рабочего тела.

На пятой-восьмой неделях выполняется расчёт процессов рабочего цикла: впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск.

На девятой-десятой неделях определяются индикаторные и эффективные показатели, строится индикаторная диаграмма.

На одиннадцатой-двенадцатой неделях строится внешняя скоростная характеристика, составляется тепловой баланс.

На тринадцатой-пятнадцатой неделях оформляется пояснительная записка, подготавливаются графические материалы.

На шестнадцатой-восемнадцатой неделях работа сдаётся на проверку, проводится нормоконтроль, защита курсовой работы (дифференцированный зачёт).

Соблюдение календарного плана является обязательным требованием. При нарушении сроков без уважительной причины руководитель вправе снизить оценку.

Раздел 4. Методические указания по выполнению курсовой работы

Данный раздел является основным в пособии. Он содержит пошаговое описание выполнения теплового расчёта поршневого двигателя. Рекомендуется внимательно изучить весь раздел перед началом работы и обращаться к нему по мере выполнения отдельных этапов расчёта.

4.1. Подготовительный этап

Подготовительный этап является фундаментом всей дальнейшей работы. От того, насколько тщательно он будет выполнен, зависит качество курсовой работы в целом.

Анализ исходных данных. Первым делом необходимо внимательно изучить индивидуальное задание, полученное от руководителя. В задании указан тип двигателя (бензиновый или дизельный), его назначение, эффективная мощность, частота вращения, число цилиндров. Если какие-либо данные отсутствуют или вызывают вопросы, их необходимо уточнить у руководителя до начала расчёта.

Изучение литературы. Следующий шаг — подбор и изучение литературы по теории рабочих процессов поршневых двигателей. Рекомендуется использовать учебники Луканина В.Н., Дьяченко В.Г., Крутова В.И., а также справочники по теплофизическим свойствам рабочих тел. При изучении литературы рекомендуется делать выписки основных формул, табличных значений, характерных диапазонов параметров.

Составление плана расчёта. На основе индивидуального задания составляется детальный план расчёта. План должен включать: последовательность расчёта параметров рабочего тела; расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения, выпуска; расчёт индикаторных и эффективных показателей; построение характеристик. План согласовывается с руководителем.

Выбор метода расчёта. Для выполнения теплового расчёта может быть использован аналитический метод (с использованием

формул и табличных значений) или метод с применением программного обеспечения (Mathcad, Excel, специализированные программы). В данном пособии рассматривается аналитический метод, который позволяет глубже понять физику процессов. Расчёт рекомендуется выполнять в Microsoft Excel с автоматическим пересчётом формул при изменении параметров.

4.2. Выбор и обоснование исходных данных

Выбор топлива. Для бензиновых двигателей используется бензин марки АИ-92, АИ-95 или АИ-98. Элементарный состав бензина: углерод $C = 0{,}855$, водород $H = 0{,}145$. Теплота сгорания бензина $H_u = 44\,000$ кДж/кг. Для дизельных двигателей используется дизельное топливо. Элементарный состав дизельного топлива: углерод $C = 0{,}870$, водород $H = 0{,}126$, кислород $O = 0{,}004$. Теплота сгорания дизельного топлива $H_u = 42\,500$ кДж/кг.

Выбор степени сжатия ε. Степень сжатия выбирается в зависимости от типа двигателя и октанового (цетанового) числа топлива. Для бензиновых двигателей без наддува $\varepsilon = 8{,}0 \ldots 10{,}0$. Для бензиновых двигателей с наддувом $\varepsilon = 8{,}0 \ldots 9{,}0$. Для дизелей без наддува $\varepsilon = 14 \ldots 18$. Для дизелей с наддувом $\varepsilon = 12 \ldots 16$. Пример для бензинового двигателя: $\varepsilon = 9{,}5$. Пример для дизеля: $\varepsilon = 16$.

Выбор коэффициента избытка воздуха α. Коэффициент избытка воздуха выбирается в зависимости от типа двигателя и способа смесеобразования. Для бензиновых двигателей на номинальном режиме $\alpha = 0{,}85 \ldots 0{,}98$ (обогащённая смесь для получения максимальной мощности). Для дизелей на номинальном режиме $\alpha = 1{,}3 \ldots 1{,}7$ (обеднённая смесь для экономичности). Пример для бензинового двигателя: $\alpha = 0{,}95$. Пример для дизеля: $\alpha = 1{,}5$.

Выбор параметров окружающей среды. Давление окружающей среды $p_0 = 0{,}1$ МПа. Температура окружающей среды $T_0 = 288$ К (15°С). Для двигателей с наддувом задаётся давление наддува $p_к$ и температура наддува $T_к$.

Выбор параметров выпуска. Давление выпускных газов $p_г = (1{,}05 \ldots 1{,}15) \times p_0$ для двигателей без наддува, $p_г =$

$(1{,}0 \ldots 1{,}05) \times p_к$ для двигателей с наддувом. Температура выпускных газов $T_г = 900 \ldots 1100$ К для бензиновых двигателей, $T_г = 700 \ldots 900$ К для дизелей.

Выбор параметров нагрева заряда. Температура подогрева свежего заряда $\Delta T = 5 \ldots 20$ К (меньше для дизелей, больше для бензиновых двигателей).

4.3. Расчёт параметров рабочего тела

Определение элементарного состава топлива. Для бензина: $C = 0{,}855$; $H = 0{,}145$; $O = 0$. Для дизельного топлива: $C = 0{,}870$; $H = 0{,}126$; $O = 0{,}004$; сумма равна 1.

Расчёт теоретически необходимого количества воздуха. Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива определяется по формуле:

$L_0 = (1/0{,}23) \times (C/12 + H/4 - O/32)$, кмоль/кг

Пример для бензина: $L_0 = (1/0{,}23) \times (0{,}855/12 + 0{,}145/4 - 0/32) = (1/0{,}23) \times (0{,}07125 + 0{,}03625) = (1/0{,}23) \times 0{,}1075 = 0{,}467$ кмоль/кг.

Расчёт действительного количества воздуха. Действительное количество воздуха определяется по формуле: $L = \alpha \times L_0$, кмоль/кг.

Пример для бензина при $\alpha = 0{,}95$: $L = 0{,}95 \times 0{,}467 = 0{,}444$ кмоль/кг.

Расчёт количества продуктов сгорания. Количество продуктов сгорания определяется по формуле:

$M_{пс} = C/12 + H/2 + 0{,}79 \times L + (\alpha - 1) \times L_0$, кмоль/кг

Пример для бензина при $\alpha = 0{,}95$: $M_{пс} = 0{,}855/12 + 0{,}145/2 + 0{,}79 \times 0{,}444 + (0{,}95 - 1) \times 0{,}467 = 0{,}07125 + 0{,}0725 + 0{,}3508 - 0{,}0234 = 0{,}471$ кмоль/кг.

Расчёт коэффициента молекулярного изменения. Коэффициент молекулярного изменения определяется по формуле: $\beta = M_{пс} / M_{св}$, где $M_{св} = L + 1/\mu_т$ ($\mu_т$— молекулярная масса топлива, ≈ 115 кг/кмоль для бензина, ≈ 200 кг/кмоль для дизельного топлива). Для приближённых расчётов можно принимать $\beta = 1{,}02 \ldots 1{,}05$.

4.4. Расчёт процесса впуска

Давление в конце впуска. Давление в конце впуска определяется по формуле: $p_a = p_0 - \Delta p_{\text{вп}}$, МПа, где $\Delta p_{\text{вп}}$ — потери давления во впускной системе. Для двигателей без наддува $\Delta p_{\text{вп}} = (0{,}01 \ldots 0{,}03) \times p_0$. Пример: $p_a = 0{,}1 - 0{,}02 = 0{,}08$ МПа.

Температура в конце впуска. Температура в конце впуска определяется по формуле: $T_a = (T_0 + \Delta T + \gamma \times T_{\text{г}}) / (1 + \gamma)$, К, где γ — коэффициент остаточных газов ($\gamma = 0{,}03 \ldots 0{,}08$), $T_{\text{г}}$ — температура выпускных газов (900…1100 К для бензиновых, 700…900 К для дизелей), ΔT — подогрев свежего заряда (5…20 К).

Пример для бензинового двигателя: $\gamma = 0{,}05, T_{\text{г}} = 1000$ К, $\Delta T = 10$ К. $T_a = (288 + 10 + 0{,}05 \times 1000) / (1 + 0{,}05) = (288 + 10 + 50) / 1{,}05 = 348 / 1{,}05 = 331$ К.

Коэффициент наполнения. Коэффициент наполнения определяется по формуле:

$$\eta_v = (p_a \times T_0) / ((p_0 - p_{\text{г}}) \times T_a \times (\varepsilon - 1)) \times (\varepsilon \times p_0 - p_{\text{г}}) / p_0$$

Для приближённых расчётов $\eta_v = 0{,}75 \ldots 0{,}90$ для бензиновых двигателей, $\eta_v = 0{,}80 \ldots 0{,}95$ для дизелей.

4.5. Расчёт процесса сжатия

Показатель политропы сжатия n_1. Показатель политропы сжатия зависит от частоты вращения, нагрузки, теплового состояния двигателя. Для бензиновых двигателей $n_1 = 1{,}30 \ldots 1{,}38$. Для дизелей $n_1 = 1{,}32 \ldots 1{,}38$. Пример для бензинового двигателя: $n_1 = 1{,}35$.

Давление в конце сжатия. Давление в конце сжатия определяется по формуле: $p_{\text{с}} = p_a \times \varepsilon\text{^}(n_1)$, МПа.

Пример для $\varepsilon = 9{,}5, n_1 = 1{,}35$: $p_{\text{с}} = 0{,}08 \times 9{,}5^{1{,}35}$. $9{,}5^{1{,}35} = e^{(1{,}35 \times ln\, 9{,}5)} = e^{(1{,}35 \times 2{,}251)} = e^{3{,}039} = 20{,}9$. $p_{\text{с}} = 0{,}08 \times 20{,}9 = 1{,}67$ МПа.

Температура в конце сжатия. Температура в конце сжатия определяется по формуле: $T_c = T_a \times \varepsilon^{(n_1 - 1)}$, К.

Пример: $T_c = 331 \times 9{,}5^{0{,}35} = 331 \times e^{(0{,}35 \times 2{,}251)} = 331 \times e^{0{,}788} = 331 \times 2{,}20 = 728$ К.

4.6. Расчёт процесса сгорания

4.6.1. Для бензиновых двигателей

Химический коэффициент молекулярного изменения. $\beta_0 = M_{\text{пс}} / M_{\text{св}}$. Приближённо $\beta_0 = 1{,}03 \ldots 1{,}05$.

Действительный коэффициент молекулярного изменения. $\beta = (\beta_0 + \gamma) / (1 + \gamma)$.

Количество теплоты, потерянной вследствие химической неполноты сгорания. Для $\alpha \geq 1$: $\Delta H_u = 0$. Для $\alpha < 1$: $\Delta H_u = 119\,950 \times (1 - \alpha) \times L_0$, кДж/кг.

Низшая теплота сгорания рабочей смеси. $H_{\text{раб}} = (H_u - \Delta H_u) / (L + 1/\mu_{\text{т}})$, кДж/кмоль.

Коэффициент использования теплоты. $\xi_z = 0{,}85 \ldots 0{,}95$ (зависит от типа камеры сгорания, частоты вращения).

Уравнение сгорания. Уравнение сгорания для бензинового двигателя имеет вид:

$$\xi_z \times H_{\text{раб}} + (m_{Cv'} \times T_{\text{с}}) = \beta \times (m_{Cv''} \times T_z)$$

где $m_{Cv'}$— средняя мольная теплоёмкость свежего заряда при постоянном объёме, кДж/(кмоль·К); $m_{Cv''}$ — средняя мольная теплоёмкость продуктов сгорания при постоянном объёме, кДж/(кмоль·К).

Уравнение решается методом последовательных приближений. В результате определяется температура в конце сгорания T_z. Для бензиновых двигателей $T_z = 2400 \ldots 2800$ К.

Давление в конце сгорания. $p_z = \lambda \times p_c$, МПа, где $\lambda = \beta \times T_z / T_c$ — степень повышения давления. Для бензиновых двигателей $\lambda = 3{,}0 \ldots 4{,}5$. Пример: $p_z = 4{,}0 \times 1{,}67 = 6{,}68$ МПа.

4.6.2. Для дизелей

Химический коэффициент молекулярного изменения. $\beta_0 = M_{\text{пс}} / M_{\text{св}} \approx 1{,}03 \ldots 1{,}04$.

Коэффициент использования теплоты. $\xi_Z = 0{,}70 \ldots 0{,}85$ (зависит от типа камеры сгорания, качества смесеобразования).

Уравнение сгорания для дизеля. Уравнение сгорания имеет вид:

$$\xi_Z \times H_u + (m_{Cp'} \times T_c + 8{,}315 \times \lambda \times \beta) = \beta \times (m_{Cv''} \times T_z)$$

где $m_{Cp'}$ — средняя мольная теплоёмкость свежего заряда при постоянном давлении, кДж/(кмоль·К). В результате определяется температура в конце сгорания T_z. Для дизелей $T_z = 1800 \ldots 2300$ К.

Степень предварительного расширения. $\rho = \beta \times T_z / (\lambda \times T_c)$, где λ — степень повышения давления ($\lambda = p_z / p_c$). Для дизелей $\lambda = 1{,}2 \ldots 2{,}2$. Для вихревых и предкамерных дизелей $\lambda = 1{,}2 \ldots 1{,}8$.

Давление в конце сгорания. $p_z = \lambda \times p_c$, МПа.

4.7. Расчёт процесса расширения

Показатель политропы расширения n_2. Показатель политропы расширения зависит от типа двигателя и режима работы. Для бензиновых двигателей $n_2 = 1{,}20 \ldots 1{,}28$. Для дизелей $n_2 = 1{,}20 \ldots 1{,}30$.

Давление в конце расширения. Для бензиновых двигателей: $p_b = p_z / \delta^{n_2}$, МПа, где $\delta = \varepsilon$ — степень последующего расширения. Для дизелей: $p_b = p_z / (\varepsilon / \rho)^{n_2}$, МПа.

Пример для бензинового двигателя: $p_b = 6{,}68 / 9{,}5^{1{,}24} = 6{,}68 / e^{(1{,}24 \times 2{,}251)} = 6{,}68 / e^{2{,}79} = 6{,}68 / 16{,}3 = 0{,}41$ МПа.

Температура в конце расширения. Для бензиновых двигателей: $T_b = T_z / \delta^{(n_2-1)}$, К. Для дизелей: $T_b = T_z / (\varepsilon / \rho)^{(n_2-1)}$, К.

Пример для бензинового двигателя: $T_b = 2600 / 9{,}5^{0{,}24} = 2600 / e^{(0{,}24 \times 2{,}251)} = 2600 / e^{0{,}540} = 2600 / 1{,}716 = 1515$ К.

4.8. Расчёт индикаторных показателей

Среднее индикаторное давление (теоретическое). Для бензиновых двигателей: $p_i' = p_c \times [\lambda \times (\varepsilon - 1) + \lambda \times \rho / (n_2 - 1) \times (1 - 1/\varepsilon^{(n_2-1)}) - 1/((n_1 - 1)) \times (1 - 1/\varepsilon^{(n_1-1)})] / (\varepsilon - 1)$, МПа. Для дизелей формула аналогична с учётом ρ.

Среднее индикаторное давление (действительное). $p_i = p_i' \times \varphi_н$, МПа, где $\varphi_н = 0{,}92 \ldots 0{,}97$ — коэффициент полноты индикаторной диаграммы.

Индикаторная мощность. $N_i = p_i \times V_h \times i \times n / (30 \times \tau)$, кВт, где V_h — рабочий объём одного цилиндра, л; i — число цилиндров; n — частота вращения, мин⁻¹; $\tau = 4$ для четырёхтактного двигателя, $\tau = 2$ для двухтактного.

Индикаторный КПД. $\eta_i = p_i \times l_0 / (H_u \times \rho_0 \times \eta_v)$, где $l_0 = 1 / (L_0 \times 0{,}23)$ — теоретически необходимое количество воздуха в кг/кг.

Удельный индикаторный расход топлива. $g_i = 3\,600 / (\eta_i \times H_u)$, г/(кВт·ч).

4.9. Расчёт эффективных показателей

Среднее давление механических потерь. $p_м = 0{,}05 + 0{,}015 \times v_{п.ср}$, МПа, где $v_{п.ср} = S \times n / 30$ — средняя скорость поршня, м/с; S — ход поршня, м.

Механический КПД. $\eta_м = 1 - p_м / p_i$.

Среднее эффективное давление. $p_e = p_i \times \eta_м$, МПа.

Эффективная мощность. $N_e = N_i \times \eta_м$, кВт.

Эффективный КПД. $\eta_e = \eta_i \times \eta_м$.

Удельный эффективный расход топлива. $g_e = 3\,600 / (\eta_e \times H_u)$, г/(кВт·ч).

4.9. Построение индикаторной диаграммы

Индикаторная диаграмма строится в координатах давление p (МПа) — объём V (л) или отношение объёмов V/V_c.

Порядок построения:

1. По оси абсцисс откладывается объём V. Крайняя левая точка соответствует объёму камеры сгорания V_c, крайняя правая — полному объёму цилиндра $V_h + V_c$.

2. По оси ординат откладывается давление p.

3. Строится политропа сжатия по точкам. Для этого задаются промежуточные значения V_xи по формуле $p_x = p_a \times (V_a / V_x)^{n_1}$ вычисляются соответствующие давления.

4. Строится политропа расширения по точкам по формуле $p_x = p_b \times (V_b / V_x)^{n_2}$(для бензиновых двигателей) или с учётом ρ для дизелей.

5. Наносятся характерные точки: a (начало сжатия), c (конец сжатия), z (конец сгорания), b (конец расширения).

6. Для бензинового двигателя точка z находится на линии постоянного объёма (изохора). Для дизеля точка z находится на линии постоянного давления (изобара).

Диаграмма вычерчивается на миллиметровой бумаге или строится с использованием графических средств Excel.

4.10. Построение внешней скоростной характеристики

Внешняя скоростная характеристика строится для диапазона частот вращения от $n_{min} = 500 \ldots 800$ мин$^{-1}$ до $n_{max} = 1{,}05 \ldots 1{,}2 \times n_N$.

Порядок расчёта:

1. Задаются 5–6 точек частоты вращения: n_{min}, n_1, n_2, n_N, n_{max}.

2. Для каждой точки определяются мощность $N_e = N_{eN} \times (n/n_N) \times [1 + (n/n_N) - (n/n_N)^2]$ (эмпирическая формула).

3. Крутящий момент $M_e = 30\,000 \times N_e / (\pi \times n)$, Н·м.

4. Удельный эффективный расход топлива $g_e = g_{eN} \times [1{,}2 - (n/n_N) + 0{,}8 \times (n/n_N)^2]$, г/(кВт·ч).

5. Строятся графики $N_e = f(n), M_e = f(n), g_e = f(n)$.

4.11. Типичные ошибки и способы их предотвращения

Ниже приведены наиболее частые ошибки, допускаемые студентами при выполнении курсовой работы, и рекомендации по их предотвращению.

Ошибка: Неправильный выбор степени сжатия или коэффициента избытка воздуха (не соответствуют типу двигателя). **Как избежать:** Использовать справочные данные из учебников. Согласовать выбранные параметры с руководителем.

Ошибка: Ошибки в расчёте параметров рабочего тела (неправильное определение L_0, $M_{\text{пс}}$). **Как избежать:** Внимательно проверять формулы. Использовать размерности (кмоль/кг). Выполнять расчёт в Excel с автоматическим пересчётом.

Ошибка: Неправильное определение показателей политропы сжатия и расширения. **Как избежать:** Использовать рекомендованные диапазоны: $n_1 = 1{,}30 \ldots 1{,}38; n_2 = 1{,}20 \ldots 1{,}28$. Приводить обоснование выбора конкретного значения.

Ошибка: Несогласованность размерностей (например, подстановка давления в МПа в формулу, где требуется Па). **Как избежать:** Всегда проверять размерности величин. В расчётах использовать единицы СИ.

Ошибка: Отсутствие расшифровки формул. **Как избежать:** Каждую формулу сопровождать пояснением: что обозначает каждый символ, в каких единицах измеряется.

Ошибка: Неправильное построение индикаторной диаграммы (не соблюдены масштабы, не нанесены характерные точки). **Как избежать:** Использовать миллиметровую бумагу или строить диаграмму в Excel с правильным масштабированием.

Ошибка: Отсутствие анализа полученных результатов. **Как избежать:** В заключении сравнить полученные показатели с данными для двигателей-аналогов. Объяснить, почему получены именно такие значения.

Ошибка: Неправильное оформление списка литературы. **Как избежать:** Оформлять список литературы строго по ГОСТ 7.1-2003. Указывать все выходные данные: авторов, название, издательство, год, страницы.

Раздел 5. Требования к оформлению пояснительной записки

5.1. Общие требования к оформлению

Пояснительная записка курсовой работы является текстовым документом, который оформляется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и локальными нормативными актами Московского политехнического университета. Соблюдение изложенных ниже требований является обязательным. Небрежно оформленная записка может быть возвращена на доработку даже при правильном содержании.

Формат и поля. Пояснительная записка выполняется на листах белой бумаги формата А4 (297×210 мм). Текст печатается на одной стороне листа. Поля страницы должны иметь следующие размеры: левое поле — 30 мм (для подшивки), правое поле — 10 мм, верхнее поле — 15 мм, нижнее поле — 20 мм.

Шрифты и межстрочный интервал. Основной текст печатается шрифтом Times New Roman, 14 кегль, полуторный межстрочный интервал. Цвет шрифта — чёрный. Допускается использование шрифтов других гарнитур в таблицах и приложениях, но при этом должен обеспечиваться хороший контраст и читаемость.

Выравнивание текста. Основной текст выравнивается по ширине страницы. Заголовки выравниваются по центру. Абзацный отступ (красная строка) должен быть одинаковым по всему тексту и составлять 1,25 см. Отступ задаётся средствами текстового редактора, использование пробелов для создания абзацного отступа не допускается.

Нумерация страниц. Страницы пояснительной записки нумеруются сквозной нумерацией арабскими цифрами. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу без точки, без дополнительных знаков (тире, скобок). Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер страницы на нём не проставляется.

Нумерация начинается со второй страницы (номер 2). Приложения включаются в общую нумерацию страниц.

5.2. Оформление текста

Заголовки. Заголовки разделов (например, «Введение», «Глава 1. Аналитический обзор и выбор исходных данных», «Заключение», «Список литературы») печатаются полужирным шрифтом, 14 кегль, по центру строки. Точка в конце заголовка не ставится. Заголовки отделяются от последующего текста одной пустой строкой. Заголовки подразделов печатаются полужирным шрифтом, 14 кегль, с абзацного отступа. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Абзацы и отступы. Каждый абзац начинается с красной строки (абзацный отступ 1,25 см). Интервал между абзацами не устанавливается (регулируется полуторным межстрочным интервалом). Не допускается использование пустых строк между абзацами внутри одного раздела.

Списки. Перечисления оформляются в виде маркированных или нумерованных списков. Маркеры списков — тире или кружки. При нумерации используются арабские цифры с точкой. Каждый пункт списка начинается с новой строки. После маркера или номера ставится пробел. Текст пункта списка может начинаться со строчной буквы (если пункт не является законченным предложением) или с прописной буквы (если пункт представляет собой законченное предложение). В конце каждого пункта ставится точка с запятой, кроме последнего пункта, после которого ставится точка.

Выделения в тексте. Важные термины, названия, ключевые слова могут быть выделены полужирным шрифтом или курсивом. Подчёркивание текста не допускается. Цветные выделения не допускаются (за исключением цветных иллюстраций). Следует избегать избыточных выделений.

5.3. Оформление иллюстраций (рисунков)

Виды иллюстраций. В пояснительной записке могут быть представлены рисунки различных типов: индикаторная диаграмма ($p - V$), развёрнутая индикаторная диаграмма ($p - \varphi$), внешняя скоростная характеристика (графики Ne, Me, ge), диаграмма теплового баланса, схемы камер сгорания, графики зависимостей. Все иллюстрации именуются рисунками.

Нумерация рисунков. Рисунки нумеруются арабскими цифрами. Рекомендуется нумерация в пределах раздела (рисунок 1.1, рисунок 1.2, рисунок 2.1 и т.д.). Номер рисунка указывается после его подписи.

Подписи рисунков. Подпись располагается под рисунком по центру строки. Подпись начинается со слова «Рисунок» (без сокращений), затем указывается номер рисунка, затем ставится тире и приводится наименование рисунка. Точка в конце подписи не ставится. Пример: «Рисунок 4.1 — Индикаторная диаграмма рабочего цикла».

Ссылки на рисунки в тексте. В тексте записки должны быть ссылки на все рисунки. Ссылка оформляется в виде «(рисунок 4.1)» или «как показано на рисунке 4.1». Не допускается использовать обороты «на следующем рисунке», «на рисунке ниже».

Требования к качеству иллюстраций. Все иллюстрации должны быть чёткими, с читаемыми надписями. Графики должны быть построены на миллиметровой бумаге или с использованием графических средств Excel. На осях графиков должны быть указаны обозначения и единицы измерения величин. Масштаб должен обеспечивать наглядность.

5.4. Оформление таблиц

Нумерация таблиц. Таблицы нумеруются арабскими цифрами аналогично рисункам: нумерация в пределах раздела (таблица 1.1, таблица 1.2, таблица 2.1 и т.д.). Номер таблицы указывается в её заголовке.

Заголовок таблицы. Каждая таблица должна иметь заголовок, который располагается над таблицей слева, без абзацного отступа. Заголовок начинается со слова «Таблица», затем указыва-

ется номер таблицы, затем ставится тире и приводится наименование таблицы. Точка в конце заголовка не ставится. Пример: «Таблица 1.1 — Исходные данные для расчёта».

Оформление шапки таблицы. Заголовки граф (шапка таблицы) печатаются полужирным шрифтом, выравниваются по центру. Единицы измерения величин указываются в заголовках граф после запятой. Пример: «Давление, МПа», «Температура, К».

Большие таблицы. Если таблица не помещается на одной странице, её переносят на следующую страницу. При переносе на следующей странице над продолжением таблицы пишут «Продолжение таблицы 1.1» (выравнивание по правому краю). Заголовок таблицы на следующей странице не повторяется, но повторяется шапка (заголовки граф). Допускается нумеровать графы и на следующей странице приводить только их номера.

Ссылки на таблицы в тексте. В тексте записки должны быть ссылки на все таблицы. Ссылка оформляется в виде «(таблица 1.1)» или «как показано в таблице 1.1».

5.5. Оформление формул

Набор формул. Формулы набираются с использованием редактора формул (Microsoft Equation, MathType или встроенный редактор LibreOffice Math). Не допускается вставка формул в виде изображений. Переменные в формулах обозначаются курсивом (латинскими или греческими буквами), а константы, индексы и пояснения — прямым шрифтом.

Нумерация формул. Формулы нумеруются арабскими цифрами. Номер указывается в круглых скобках у правого края строки, на уровне формулы. Рекомендуется нумерация в пределах раздела (1.1, 1.2, 2.1 и т.д.). Пример:

$$p_c = p_a \times \varepsilon^{n_1} \qquad (1.1)$$

Расположение формул. Формула располагается на отдельной строке, выравнивается по центру. Выше и ниже формулы оставляется по одной пустой строке. Пояснения символов (расшифровка буквенных обозначений) приводятся после формулы под словом «где» (без двоеточия). Пояснения располагаются столбиком: сначала указывается символ, затем тире, затем расшифровка. Пример:

$$p_c = p_a \times \varepsilon^{n_1} \qquad (1.1)$$

где p_c — давление в конце сжатия, МПа; p_a — давление в конце впуска, МПа; ε — степень сжатия; n_1 — показатель политропы сжатия.

Ссылки на формулы в тексте. В тексте записки должны быть ссылки на все формулы. Ссылка оформляется в виде «в формуле (1.1)» или «по формуле (1.1)».

5.6. Оформление ссылок и списка литературы

Ссылки на литературу в тексте. Библиографические ссылки в тексте оформляются в квадратных скобках. В скобках указывается номер источника по списку литературы. При необходимости указывается номер страницы через запятую. Пример: «…согласно данным [5, с. 44]» или «…в работе [7] показано, что…». Не допускается использование ссылок вида «(Иванов, 2020)» или «[Иванов, 2020]».

Состав списка литературы. Список литературы должен включать все источники, на которые есть ссылки в тексте. Рекомендуемое количество источников — не менее 10–15. Список оформляется в алфавитном порядке: сначала отечественные источники, затем иностранные. Внутри каждого блока — по алфавиту фамилий авторов или названий.

Оформление библиографических записей. Библиографические записей оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 (для книг, статей, патентов) и ГОСТ 7.82-2001 (для электронных ресурсов). Примеры оформления:

Для книги: Луканин В.Н., Морозов К.А., Хачиян А.С. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 2015. — 479 с.

Для статьи из журнала: Шатров М.Г., Зленко М.А., Якушев М.В. Метод параметрического синтеза системы нейтрализации отработавших газов дизеля // Двигателестроение. — 2019. — № 2. — С. 14–20.

Для электронного ресурса: ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. — URL: http://docs.cntd.ru/document/1200072512 (дата обращения: 01.02.2026).

5.7. Оформление приложений

Назначение приложений. В приложения выносятся вспомогательные материалы, которые загромождают основной текст. К таким материалам относятся: подробные таблицы с промежуточными результатами расчёта; распечатки расчётов в Mathcad или Excel; копии графиков и диаграмм в увеличенном формате; справочные данные (свойства топлив, коэффициенты, теплоёмкости).

Оформление приложений. Каждое приложение начинается с новой страницы. Вверху страницы по центру пишется слово «Приложение» с заглавной буквы, затем указывается обозначение приложения (прописными буквами русского алфавита, например, А, Б, В). Приложения могут обозначаться также латинскими буквами (A, B, C) или арабскими цифрами. Пример: «Приложение А».

Заголовок приложения. Ниже обозначения приложения на отдельной строке по центру помещается заголовок приложения (содержательное наименование). Пример: «Приложение А» (на первой строке), «Справочные данные для теплового расчёта» (на второй строке).

Нумерация страниц приложений. Приложения включаются в общую нумерацию страниц пояснительной записки. На страницах приложений номера проставляются в правом верхнем углу.

Ссылки на приложения в тексте. В основном тексте должны быть ссылки на все приложения. Ссылка оформляется в виде «(приложение А)» или «как показано в приложении А».

5.8. Контрольный список проверки оформления

Перед сдачей курсовой работы рекомендуется проверить выполнение следующих требований.

По общему оформлению: соблюдены ли поля (левое 30 мм, правое 10 мм, верхнее 15 мм, нижнее 20 мм)? Шрифт Times New Roman, 14 кегль? Полуторный межстрочный интервал? Нумерация страниц начинается со второй страницы?

По тексту: заголовки выделены полужирным шрифтом и выровнены по центру? Абзацный отступ везде одинаковый (1,25 см)? Нет ли пустых строк между абзацами внутри разделов?

По иллюстрациям: каждый рисунок имеет подпись (Рисунок X.X — наименование)? Есть ли в тексте ссылки на все рисунки? На осях графиков указаны обозначения и единицы измерения?

По таблицам: каждая таблица имеет заголовок? Есть ли в тексте ссылки на все таблицы? Шапка таблицы отделена от основной части?

По формулам: формулы набраны в редакторе формул? Формулы имеют номера? Есть ли в тексте ссылки на формулы? Расшифровка символов приведена после формулы?

По ссылкам и списку литературы: все ссылки в тексте оформлены в квадратных скобках? Список литературы оформлен по ГОСТ? Все источники из списка имеют ссылки в тексте?

По приложениям: каждое приложение имеет обозначение и заголовок? Есть ли в тексте ссылки на приложения? Приложения включены в общую нумерацию страниц?

Раздел 6. Требования к оформлению графической части

6.1. Состав графической части

Графическая часть курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» включает следующие материалы, которые могут быть представлены на отдельных листах формата А3 или А4 либо включены в пояснительную записку в качестве иллюстраций.

Индикаторная диаграмма в координатах $p - V$ строится на основе расчёта процессов сжатия и расширения. На диаграмме отмечаются характерные точки: a (начало сжатия), c (конец сжатия), z (конец сгорания), b (конец расширения). Для бензинового двигателя точка z находится на линии сгорания (изохора), для дизеля — на линии сгорания (изобара).

Развёрнутая индикаторная диаграмма в координатах $p - \varphi$ строится в зависимости от угла поворота коленчатого вала (от 0 до 720 градусов для четырёхтактного двигателя или от 0 до 360 градусов для двухтактного). На диаграмме показываются все такты: впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск. Характерные точки наносятся с учётом фаз газораспределения и угла опережения зажигания (впрыска).

Внешняя скоростная характеристика представляет собой графики зависимости эффективной мощности Ne (кВт), крутящего момента Me (Н·м) и удельного эффективного расхода топлива ge (г/кВт·ч) от частоты вращения коленчатого вала n (мин$^{-1}$). Характеристика строится для диапазона частот вращения от минимально устойчивой ($n_{min} = 500 - 800$ мин$^{-1}$) до максимальной ($n_{max} = 1{,}05 - 1{,}2$ от номинальной).

Диаграмма теплового баланса может быть представлена в виде круговой диаграммы (секторной) или столбчатой диаграммы. На диаграмме показывается распределение теплоты, внесённой с топливом (100%), на полезную работу (q_e), потери теплоты с отработавшими газами ($q_г$), потери теплоты в систему охлаждения ($q_в$), потери теплоты от неполноты сгорания ($q_{н.с.}$) и прочие потери ($q_{ост}$).

6.2. Требования к выполнению индикаторной диаграммы ($p - V$)

Масштабы. Рекомендуемые масштабы: по оси давлений — 1 МПа = 30–50 мм; по оси объёмов — 1 л = 20–30 мм. Допускается построение в относительных единицах ($p/p_c, V/V_c$).

Порядок построения. По оси абсцисс откладывается объём V. Крайняя левая точка соответствует объёму камеры сгорания V_c, крайняя правая — полному объёму цилиндра $V_h + V_c$. По оси ординат откладывается давление p. Строится политропа сжатия по точкам. Для этого задаются промежуточные значения V_x и по формуле $p_x = p_a \times (V_a / V_x)^{n_1}$ вычисляются соответствующие давления. Аналогично строится политропа расширения. Наносятся характерные точки.

Оформление. Диаграмма выполняется на миллиметровой бумаге или строится с использованием графических средств Excel. На диаграмме должны быть указаны обозначения осей, единицы измерения, характерные точки. Допускается выполнение диаграммы на листе формата А4 с последующим сканированием и вставкой в пояснительную записку.

6.3. Требования к выполнению развёрнутой индикаторной диаграммы ($p - \varphi$)

Масштабы. По оси абсцисс (угол поворота коленчатого вала) рекомендуется масштаб: 10 мм = 30°…60°. По оси ординат (давление) масштаб: 1 МПа = 20–40 мм.

Порядок построения. Для четырёхтактного двигателя диаграмма строится на 720 градусах (два оборота коленчатого вала). Наносятся такты: впуск (0–180°), сжатие (180–360°), сгорание и расширение (360–540°), выпуск (540–720°). На диаграмме показываются фазы газораспределения (открытие и закрытие впускных и выпускных клапанов) и угол опережения зажигания (впрыска).

Оформление. Диаграмма выполняется на миллиметровой бумаге. Допускается построение в Excel. На диаграмме должны быть указаны обозначения осей, единицы измерения, характерные углы.

6.4. Требования к выполнению внешней скоростной характеристики

Построение. Характеристика строится для 5–6 точек частоты вращения. Расчётные данные сводятся в таблицу. По таблице строятся графики $N_e = f(n), M_e = f(n), g_e = f(n)$. Графики могут быть построены на одном листе (с разными осями ординат) или на отдельных листах.

Масштабы. По оси абсцисс (частота вращения) масштаб выбирается так, чтобы охватить диапазон от n_{min} до n_{max}. По оси ординат для каждого графика выбирается свой масштаб.

Оформление. На графиках должны быть указаны обозначения осей и единицы измерения. Должны быть нанесены точки, соответствующие номинальному режиму ($n_N, N_{eN}, M_{eN}, g_{eN}$). Графики могут быть построены в Excel с последующей вставкой в пояснительную записку.

6.5. Требования к выполнению диаграммы теплового баланса

Круговая диаграмма. Круговая диаграмма строится в виде секторов, площади которых пропорциональны соответствующим долям теплоты (в процентах). Секторы должны быть подписаны с указанием вида потерь и их величины. Рекомендуется использовать разные цвета или штриховку для различных секторов.

Столбчатая диаграмма. Столбчатая диаграмма строится в виде столбцов, высота которых соответствует долям теплоты (в процентах). Столбцы должны быть подписаны.

Оформление. Диаграмма выполняется с использованием графических средств Excel или Word. На диаграмме должны быть указаны: общее количество теплоты (100%), значения каждого вида потерь в процентах.

6.6. Требования к презентации (при наличии)

В некоторых случаях (по требованию руководителя) результаты курсовой работы могут быть представлены в виде презентации. Презентация не заменяет пояснительную записку, но может быть использована при защите для наглядной демонстрации основных результатов.

Количество слайдов. Рекомендуемое количество слайдов для защиты курсовой работы по третьему этапу сквозного проектирования — 10–14 слайдов.

Структура презентации. Титульный слайд содержит тему курсовой работы, фамилию студента и руководителя. Слайд «Цель и задачи» формулирует цель работы и перечень задач. Слайд «Исходные данные» показывает выбранные параметры двигателя. Слайды «Результаты расчёта» представляют основные расчётные

параметры в табличной форме (давление и температура в характерных точках, индикаторные и эффективные показатели). Слайд «Индикаторная диаграмма» показывает $p - V$ диаграмму. Слайд «Развёрнутая индикаторная диаграмма» показывает $p - \varphi$ диаграмму. Слайд «Внешняя скоростная характеристика» показывает графики Ne, Me, ge. Слайд «Тепловой баланс» показывает распределение теплоты. Слайд «Выводы» суммирует результаты работы.

Оформление презентации. Единый стиль оформления всех слайдов. Фон — светлый (белый или светло-серый), текст — тёмный (чёрный или тёмно-синий). Шрифт для заголовков — 28–32 пункта, для основного текста — 20–24 пункта. Текст должен быть кратким, тезисным (не более 50–70 слов на слайд). Графики и диаграммы должны быть чёткими и читаемыми. Анимация допускается минимальная (появление текста и графиков), избыточная анимация не рекомендуется.

6.7. Контрольный список проверки графической части

Перед сдачей курсовой работы рекомендуется проверить выполнение следующих требований.

По индикаторной диаграмме ($p - V$): правильно ли построены политропы сжатия и расширения? Нанесены ли характерные точки (a, c, z, b)? Указаны ли обозначения осей и единицы измерения? Соблюдены ли масштабы?

По развёрнутой индикаторной диаграмме ($p - \varphi$): отображены ли все такты? Указаны ли фазы газораспределения? Указан ли угол опережения зажигания (впрыска)?

По внешней скоростной характеристике: построены ли графики Ne, Me, ge? Указаны ли обозначения осей и единицы измерения? Нанесена ли точка номинального режима?

По диаграмме теплового баланса: указаны ли все составляющие? Сумма составляет ли 100%?

По презентации (при наличии): количество слайдов соответствует рекомендациям? Структура соответствует содержанию работы? Все ли графики и диаграммы читаемы?

Раздел 7. Программное обеспечение и инструменты

7.1. Основное программное обеспечение

Для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» студенту может потребоваться следующее программное обеспечение.

Microsoft Excel (версия 2016 или выше). Это основной инструмент для выполнения теплового расчёта. Excel позволяет создавать таблицы с формулами, автоматически пересчитывать результаты при изменении исходных данных, строить графики и диаграммы. Для выполнения расчёта рекомендуется создать книгу Excel с несколькими листами: «Исходные данные», «Параметры рабочего тела», «Процесс впуска», «Процесс сжатия», «Процесс сгорания», «Процесс расширения», «Индикаторные показатели», «Эффективные показатели», «Скоростная характеристика». Студенческая версия Microsoft 365 доступна бесплатно для студентов Московского политехнического университета.

Mathcad (версия Prime или выше). Альтернативный инструмент для выполнения инженерных расчётов. Mathcad позволяет записывать формулы в математической нотации, автоматически пересчитывать результаты, использовать встроенные функции и единицы измерения. Студенческая версия доступна на сайте PTC Education.

MATLAB (версия с Toolbox). Для студентов, желающих углублённо изучить методы математического моделирования рабочих процессов, может быть использован MATLAB. Студенческая версия доступна на сайте MathWorks.

Специализированное программное обеспечение для расчёта двигателей. Для углублённого расчёта могут быть использованы специализированные программы: GT-Power (Gamma Technologies), AVL Simulation Suite, Siemens Amesim. Эти программы позволяют выполнять одномерное моделирование рабочих процессов, рассчитывать газообмен, сгорание, теплообмен, строить скоростные характеристики. Доступ к этим программам предоставляется университетом в рамках лицензионных соглашений. Использование этих программ не является обязательным для

курсовой работы, но может быть рекомендовано студентам, проявляющим повышенный интерес.

7.2. Вспомогательное программное обеспечение

Для оформления пояснительной записки и подготовки презентации потребуется следующий набор вспомогательного программного обеспечения.

Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint) или LibreOffice. Пояснительная записка оформляется в текстовом редакторе (Word или Writer). Для расчётов и построения таблиц используется Excel или Calc. Для подготовки презентации к защите (если требуется) используется PowerPoint или Impress. Студенты Московского политехнического университета имеют доступ к бесплатной подписке Microsoft Office 365 Education.

Adobe Acrobat Reader или любой другой PDF-просмотрщик. Для просмотра и проверки готовой пояснительной записки и графических материалов в формате PDF.

PDF-принтер (например, PDF Creator или встроенный в Windows «Microsoft Print to PDF»). Необходим для конвертации пояснительной записки и графических материалов в формат PDF для сдачи в электронном архиве.

Архиватор (7-Zip, WinRAR). Для упаковки электронного архива при сдаче работы (если требуется).

7.3. Учебные ресурсы по программному обеспечению

Для самостоятельного освоения программного обеспечения студент может использовать следующие ресурсы.

По Microsoft Excel: на платформе Microsoft Learn доступны бесплатные курсы по работе с формулами, построению диаграмм, анализу данных. На YouTube — многочисленные видеоуроки по Excel для инженерных расчётов.

По Mathcad: на сайте PTC Education доступны учебные пособия и вебинары. Встроенная справка Mathcad содержит множество примеров. Также есть книга «Mathcad для студентов и инженеров» (Кудрявцев Е.М.).

По MATLAB: на сайте MathWorks доступны бесплатные онлайн-курсы MATLAB Academy. Встроенная документация MATLAB содержит подробные руководства.

По специализированному ПО: официальные сайты производителей предоставляют документацию, учебные примеры и видеоуроки: GT-Suite Tutorials, AVL BOOST Tutorials.

7.4. Требования к форматам сдаваемых файлов

Все материалы курсовой работы сдаются в электронном виде. Состав и форматы файлов приведены ниже.

Пояснительная записка: файл в исходном формате текстового редактора (.docx для Word или .odt для LibreOffice) и файл в формате .pdf.

Графические материалы: файлы с индикаторной диаграммой, развёрнутой индикаторной диаграммой, внешней скоростной характеристикой, диаграммой теплового баланса могут быть представлены в форматах .pdf, .jpg или .png. Допускается включение этих материалов непосредственно в пояснительную записку.

Расчётный файл: файл с расчётами в формате .xlsx (Excel) или .xmcd (Mathcad). Этот файл должен содержать все формулы и промежуточные вычисления.

Презентация (при наличии): файл в исходном формате (.pptx или .odp) и при необходимости в формате .pdf.

7.5. Структура электронного архива

Электронный архив должен иметь следующую структуру папок. Корневая папка называется по фамилии студента и номеру группы (например, «Иванов_241-111_Б1.1.20»). Внутри неё располагаются папки: «Report» (содержит файл пояснительной записки в .docx и .pdf); «Calculations» (содержит расчётный файл в .xlsx или .xmcd); «Graphics» (содержит файлы графических материалов в .pdf, .jpg или .png); «Presentation» (содержит файлы презентации, если требуется). Все файлы должны быть названы в соответствии

с их содержанием. Недопустимы названия файлов типа «расчет.xlsx», «график.jpg». Пример правильного названия: «Тепловой_расчёт_Иванов_241-111.xlsx», «Индикаторная_диаграмма_Иванов_241-111.pdf».

Перед сдачей все файлы должны быть проверены на открываемость и отсутствие вирусов. Студент обязан иметь резервную копию всех материалов на отдельном носителе или в облачном хранилище.

Раздел 8. Организация выполнения и защиты курсовой работы

8.1. Календарный план выполнения курсовой работы

Курсовая работа выполняется в четвёртом семестре, продолжительность которого составляет 18 недель. Для обеспечения систематической работы и своевременной сдачи работы рекомендуется придерживаться приведённого ниже календарного плана.

1–2 недели. Получение индивидуального задания от руководителя, ознакомление с требованиями к курсовой работе, подбор литературных источников.

3–4 недели. Выбор и обоснование исходных данных (тип двигателя, степень сжатия, коэффициент избытка воздуха и др.). Расчёт параметров рабочего тела.

5–8 недели. Расчёт процессов рабочего цикла: впуск, сжатие, сгорание, расширение, выпуск.

9–10 недели. Расчёт индикаторных и эффективных показателей. Построение индикаторной диаграммы в координатах $p - V$.

11–12 недели. Построение внешней скоростной характеристики. Составление теплового баланса. Построение развёрнутой индикаторной диаграммы $p - \varphi$.

13–15 недели. Оформление пояснительной записки. Подготовка графических материалов.

16–18 недели. Сдача работы на проверку руководителю, прохождение нормоконтроля, защита курсовой работы (дифференцированный зачёт).

8.2. Взаимодействие с руководителем

Руководитель курсовой работы назначается кафедрой. Основной формой взаимодействия являются регулярные консультации, которые проводятся в соответствии с графиком, утверждённым на кафедре. Рекомендуемая частота консультаций — не реже одного раза в две недели, а в периоды интенсивной работы (5–10 недели) — еженедельно.

На каждой консультации студент должен показывать результаты выполнения этапа в соответствии с календарным планом. К консультации необходимо готовиться: заранее продумывать вопросы, подготавливать материалы для показа (таблицы с расчётами, черновики графиков). Не следует приходить на консультацию с вопросами «что делать дальше», не имея собственных наработок.

Формы промежуточной отчётности могут включать: проверку выбора исходных данных (4 неделя), проверку расчёта параметров рабочего тела (5 неделя), проверку расчёта процессов сгорания (8 неделя), проверку индикаторной диаграммы (10 неделя), проверку внешней скоростной характеристики (12 неделя), проверку пояснительной записки (14–15 недели). Результаты каждой проверки фиксируются руководителем.

При возникновении серьёзных трудностей (болезнь, семейные обстоятельства) студент обязан незамедлительно информировать руководителя для корректировки календарного плана. Систематическое нарушение сроков без уважительных причин является основанием для снижения оценки.

8.3. Порядок сдачи курсовой работы

После завершения всех этапов работы и устранения замечаний руководителя студент сдаёт курсовую работу для прохождения нормоконтроля. Нормоконтроль проводится назначенным кафедрой преподавателем (нормоконтролёром) или самим руководителем. Нормоконтролёр проверяет соответствие оформления пояснительной записки и графических материалов требованиям ЕСКД и локальным нормативным актам университета. При обнаружении ошибок работа возвращается на доработку. После исправления

ошибок нормоконтролёр ставит свою подпись на титульном листе пояснительной записки.

Для сдачи курсовой работы студент предоставляет следующие документы. Пояснительная записка в сброшюрованном виде (распечатанная и подписанная) и в электронном виде (в форматах .docx и .pdf). Графические материалы (индикаторная диаграмма, развёрнутая индикаторная диаграмма, внешняя скоростная характеристика, диаграмма теплового баланса) на листах формата А3 или А4 (по требованию руководителя) или включённые в пояснительную записку. Расчётный файл в формате .xlsx или .xmcd на электронном носителе. Электронный архив на флеш-накопителе с полной структурой папок.

Срок сдачи работы устанавливается кафедрой и указывается в индивидуальном задании. Опоздание с сдачей без уважительной причины может привести к снижению оценки.

8.4. Защита курсовой работы

Защита курсовой работы проводится в форме дифференцированного зачёта в конце четвёртого семестра (обычно на 17–18 неделях). Защита может быть индивидуальной или в присутствии комиссии кафедры. Продолжительность защиты на одного студента составляет 10–15 минут.

Порядок защиты. Студент выступает с кратким докладом (5–7 минут), в котором освещает следующие вопросы: тип и назначение проектируемого двигателя; основные исходные данные (степень сжатия, коэффициент избытка воздуха); основные результаты теплового расчёта (давление и температура в характерных точках, индикаторные и эффективные показатели, диаметр цилиндра и ход поршня); анализ полученных результатов (соответствие двигателям-аналогам); как результаты данной работы будут использованы на последующих этапах сквозного проекта (для динамического и прочностного расчётов). Доклад сопровождается демонстрацией презентации (10–14 слайдов) или демонстрацией графических материалов на экране.

После доклада руководитель (или члены комиссии) задают вопросы по содержанию работы. Вопросы могут касаться: выбора исходных данных, физического смысла полученных параметров,

влияния различных факторов на рабочий процесс, методов расчёта, а также связи данной работы со сквозным проектом в целом. Студент должен дать аргументированные ответы. При затруднениях допускается обращение к пояснительной записке.

Критерии оценки. Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено в полном объёме и в установленный срок, расчёт выполнен правильно, индикаторная диаграмма и характеристики построены верно, пояснительная записка оформлена безупречно, студент демонстрирует глубокое понимание физики рабочих процессов и свободно отвечает на вопросы. Оценка «хорошо» выставляется при наличии незначительных замечаний по содержанию или оформлению. Оценка «удовлетворительно» — при существенных замечаниях, студент отвечает с трудом. Оценка «неудовлетворительно» — задание не выполнено или выполнено с грубыми нарушениями.

8.5. Рекомендации по подготовке к защите

Для успешной защиты рекомендуется выполнить следующие действия. Подготовить тезисы доклада (не более 2 страниц) и отрепетировать выступление с замером времени. Убедиться, что доклад укладывается в 5–7 минут. Подготовить ответы на возможные вопросы. Для этого полезно ещё раз просмотреть пояснительную записку, обратив внимание на физический смысл полученных параметров и их соответствие нормальным значениям для данного типа двигателя. Подготовить презентацию (10–14 слайдов) с наглядными графиками и диаграммами. Прийти на защиту заранее, чтобы настроить презентацию (если она требуется) и успокоиться. Внимательно выслушать вопросы, не перебивать отвечающего. Если вопрос непонятен, попросить уточнить. Отвечать чётко, по существу, без лишних отступлений. В случае ошибки не бояться её признать и тут же исправить. Помнить, что цель защиты — не «отчитаться», а показать, что студент действительно понимает физику рабочих процессов и способен применять методы теплового расчёта на практике.

Раздел 9. Критерии оценки курсовой работы

Оценка курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» осуществляется по четырёхбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При выставлении оценки учитываются правильность выполнения теплового расчёта, качество построения индикаторных диаграмм и характеристик, полнота пояснительной записки, соблюдение сроков выполнения этапов, а также уровень понимания физики рабочих процессов, демонстрируемый студентом при защите.

9.1. Оценка «отлично»

Оценка «отлично» выставляется при выполнении следующих условий.

Задание выполнено в полном объёме и в установленный календарным планом срок. Исходные данные выбраны и обоснованы правильно, соответствуют типу и назначению двигателя. Расчёт параметров рабочего тела выполнен без ошибок. Расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения и выпуска выполнен корректно с использованием правильных формул и коэффициентов. Индикаторная диаграмма в координатах $p - V$ построена правильно: политропы сжатия и расширения построены по точкам, характерные точки (a, c, z, b) нанесены верно. Развёрнутая индикаторная диаграмма в координатах $p - \varphi$ построена с учётом фаз газораспределения и угла опережения зажигания (впрыска). Внешняя скоростная характеристика построена для диапазона частот вращения, графики Ne, Me, ge оформлены правильно. Тепловой баланс составлен верно, сумма составляющих равна 100%. Пояснительная записка оформлена безупречно в соответствии с требованиями ЕСКД. При защите студент демонстрирует глубокое понимание физики рабочих процессов, свободно объясняет влияние различных факторов (степени сжатия, состава смеси, угла опережения зажигания) на показатели двигателя, аргументированно отвечает на все вопросы, показывает понимание связи данной работы с последующими этапами сквозного проекта (динамическим и прочностным расчётами).

9.2. Оценка «хорошо»

Оценка «хорошо» выставляется при выполнении следующих условий.

Задание выполнено в полном объёме, в установленный срок. Однако имеются незначительные замечания по содержанию или оформлению. К незначительным замечаниям могут относиться: отдельные исходные данные выбраны без достаточного обоснования; в расчётах допущены незначительные арифметические ошибки, не влияющие на конечные результаты; индикаторная диаграмма построена с небольшими отклонениями; на графиках внешней скоростной характеристики отсутствуют точки номинального режима; в оформлении пояснительной записки имеются отдельные нарушения (незначительные ошибки в оформлении списка литературы, пропущены одна-две ссылки на рисунки). При защите студент демонстрирует уверенное владение материалом, отвечает на вопросы, но допускает незначительные неточности, которые может исправить после уточняющих вопросов руководителя.

9.3. Оценка «удовлетворительно»

Оценка «удовлетворительно» выставляется при выполнении следующих условий.

Задание выполнено в основном, но имеются существенные замечания по содержанию или оформлению. Сроки выполнения отдельных этапов могли быть нарушены без уважительных причин. К существенным замечаниям относятся: исходные данные выбраны неправильно (степень сжатия не соответствует типу двигателя, коэффициент избытка воздуха выбран вне допустимого диапазона); в расчётах допущены ошибки, приведшие к неверным значениям давлений и температур; индикаторная диаграмма построена неверно (политропы построены не по точкам, отсутствуют характерные точки); внешняя скоростная характеристика не построена или построена не для всего диапазона частот вращения; тепловой баланс составлен с ошибками; пояснительная записка оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент испытывает затруднения при ответах на вопросы, отвечает неуверенно,

требует наводящих вопросов руководителя, допускает ошибки в понимании физики рабочих процессов.

Оценка «удовлетворительно» является минимальной положительной оценкой. Студент, получивший эту оценку, считается выполнившим курсовую работу, но с существенными недостатками.

9.4. Оценка «неудовлетворительно»

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в следующих случаях.

Задание не выполнено в целом (отсутствует расчёт, нет пояснительной записки, не построены диаграммы). Либо задание выполнено, но с грубыми нарушениями, которые не позволяют считать работу удовлетворительной. К грубым нарушениям относятся: расчёт выполнен с использованием неверных формул; полученные значения давлений и температур физически невозможны (например, давление в конце сжатия выше давления в конце сгорания, температура в конце сгорания ниже температуры в конце сжатия); индикаторная диаграмма отсутствует; внешняя скоростная характеристика отсутствует; пояснительная записка отсутствует или имеет объём менее 10 страниц без основных разделов. При защите студент не владеет материалом, не отвечает на вопросы или ответы полностью неверные.

Оценка «неудовлетворительно» означает, что курсовая работа не засчитана. Студент обязан устранить все выявленные недостатки и представить работу к повторной защите в установленные кафедрой сроки. Без положительной оценки по курсовой работе студент не может быть допущен к следующему этапу сквозного проекта и к последующим дисциплинам, опирающимся на результаты данной работы.

9.5. Порядок апелляции

Студент имеет право на апелляцию результатов оценки курсовой работы в порядке, установленном локальными нормативными актами Московского политехнического университета. Апелляция подаётся в письменной форме на имя заведующего кафедрой

«Энергоустановки для транспорта и малой энергетики» не позднее трёх рабочих дней после объявления оценки. Апелляция рассматривается комиссией, создаваемой приказом декана транспортного факультета. По результатам рассмотрения комиссия может оставить оценку без изменения либо изменить её (повысить или понизить). Решение апелляционной комиссии является окончательным и обжалованию не подлежит.

Раздел 10. Список рекомендуемой литературы

10.1. Основная литература

Основная литература включает учебники и учебные пособия, в которых систематически изложены теория рабочих процессов поршневых двигателей, методы теплового расчёта и анализа индикаторных и эффективных показателей.

Луканин В.Н., Морозов К.А., Хачиян А.С. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 2015. — 479 с. В учебнике изложены основы теории рабочих процессов поршневых двигателей: термодинамические циклы, процессы газообмена, сжатия, сгорания, расширения, индикаторные и эффективные показатели, характеристики, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов. Книга содержит примеры теплового расчёта.

Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 2017. — 432 с. Рассмотрены теоретические основы рабочих процессов, методы расчёта, особенности бензиновых и дизельных двигателей, альтернативных топлив.

Колчин А.И., Демидов В.П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 2017. — 496 с. Пособие содержит подробную методику теплового, динамического и прочностного расчёта двигателей. Приведены примеры расчёта с реальными цифрами.

10.2. Дополнительная литература

Дополнительная литература включает справочники, методические пособия и издания, которые могут быть полезны при углублённом изучении отдельных вопросов.

Крутов В.И. Автомобильные двигатели: теория и расчёт: учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2018. — 320 с.

Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчёт автотракторных двигателей. — М.: Колос, 2019. — 512 с.

Абрамчук Ф.И., Кислов В.Г. Теория рабочих процессов поршневых двигателей: методические указания к курсовой работе. — М.: МАМИ, 2019. — 48 с.

10.3. Нормативно-техническая документация

Для выполнения курсовой работы могут потребоваться следующие нормативно-технические документы.

ГОСТ Р 51105-97. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Бензины неэтилированные. Технические условия.

ГОСТ 305-2013. Топливо дизельное. Технические условия.

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

10.4. Периодические издания

Периодические издания позволяют ознакомиться с современными исследованиями в области рабочих процессов поршневых двигателей.

«Двигателестроение». Межотраслевой научно-технический и производственный журнал. Основан в 1979 году. Журнал включён в перечень ВАК и индексируется в РИНЦ. ISSN: 0202-1633. В журнале публикуются статьи по теории рабочих процессов, сгоранию, газообмену, теплообмену в поршневых двигателях.

«Автомобильная промышленность». Научно-технический журнал, освещающий вопросы проектирования, производства и эксплуатации автомобилей и двигателей. Публикует статьи о новых конструктивных решениях, результатах испытаний.

«Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение». Научный журнал, публикующий результаты исследований в области машиностроения и двигателестроения. Включён в перечень ВАК.

10.5. Электронные ресурсы

Электронные ресурсы включают электронные библиотечные системы, образовательные порталы и официальные сайты.

Электронно-библиотечные системы:

Znanium.com — электронно-библиотечная система, содержащая учебную и научную литературу по теории двигателей (доступ через университетскую подписку).

eLIBRARY.RU — научная электронная библиотека, содержащая полнотекстовые статьи из российских научных журналов, включая «Двигателестроение».

Образовательные ресурсы:

Intuit.ru — курс «Двигатели внутреннего сгорания» (лекции, тесты).

Stepik.org — курсы по термодинамике и двигателям внутреннего сгорания.

10.6. Рекомендации по работе с литературой

При работе с литературными источниками рекомендуется придерживаться следующих правил. При изучении учебников следует делать выписки основных формул и табличных значений, характерных диапазонов параметров. Для теплового расчёта рекомендуется использовать несколько источников для сравнения формул и коэффициентов. При использовании электронных ресурсов следует фиксировать дату обращения к ресурсу для корректного

оформления ссылки в списке литературы. Все использованные источники должны быть указаны в списке литературы, а ссылки на них приведены в тексте пояснительной записки.

Приложения

В приложениях к учебному пособию размещаются образцы документов, шаблоны и примеры, которые студент может использовать в качестве ориентира при выполнении курсовой работы. Приложения не входят в основной объём пособия, но являются его неотъемлемой частью. Рекомендуемый объём приложений — от 5 до 15 страниц.

Ниже приведено описание содержания каждого приложения. В реальном пособии после каждого описания должны следовать соответствующие образцы, шаблоны и примеры, оформленные в соответствии с требованиями.

Приложение А. Образец титульного листа пояснительной записки

Титульный лист является первой страницей пояснительной записки. Он должен содержать полное наименование университета, факультета и кафедры, направление подготовки и профиль, тему курсовой работы, сведения о студенте (фамилия, имя, отчество, номер учебной группы), сведения о руководителе (должность, учёная степень, учёное звание, фамилия и инициалы), город и год выполнения. Также на титульном листе указывается гриф «К защите на этапе 3 сквозного проекта».

Ниже приведён шаблон титульного листа. В реальном пособии этот шаблон приводится в виде полностью оформленного образца на отдельной странице.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

Кафедра «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»

Направление подготовки: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль: «Поршневые двигатели и турбомашины»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей»

на тему: «Тепловой расчёт бензинового двигателя для легкового автомобиля»

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Руководитель: доцент, к.т.н. Петров П.П.

К защите на этапе 3 сквозного проекта

Москва — 2026

Приложение Б. Образец индивидуального задания

Индивидуальное задание выдаётся руководителем и содержит перечень подлежащих разработке вопросов, исходные данные, сроки выполнения и требования к результатам. Задание подписывается студентом и руководителем, после чего утверждается заведующим кафедрой.

Ниже приведён шаблон индивидуального задания. В реальном пособии этот шаблон приводится в виде заполненного образца для конкретной темы.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 3

на выполнение курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей»

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Тема курсовой работы: Тепловой расчёт бензинового двигателя для легкового автомобиля

Исходные данные:

- Тип двигателя: бензиновый, четырёхтактный
- Номинальная мощность: $N_e = 90$ кВт
- Номинальная частота вращения: $n_N = 5500$ мин$^{-1}$
- Число цилиндров: $i = 4$
- Расположение цилиндров: рядное
- Степень сжатия: $\varepsilon = 9{,}5$
- Коэффициент избытка воздуха: $\alpha = 0{,}95$
- Охлаждение: жидкостное

Перечень подлежащих разработке вопросов:

- рассчитать параметры рабочего тела;
- выполнить расчёт процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения, выпуска;
- построить индикаторную диаграмму в координатах $p - V$;
- построить развёрнутую индикаторную диаграмму $p - \varphi$;
- определить индикаторные и эффективные показатели двигателя;
- построить внешнюю скоростную характеристику;
- составить тепловой баланс.

Срок сдачи работы: 15 мая 2026 г.

Руководитель: Петров П.П.

Задание принял: Иванов И.И.

Утверждаю: заведующий кафедрой Сидоров С.С.

Приложение В. Образец календарного плана

Календарный план содержит перечень этапов выполнения курсовой работы с указанием сроков начала и окончания каждого этапа. Календарный план составляется студентом совместно с руководителем в начале семестра и служит инструментом контроля за ходом выполнения работы.

Ниже приведён образец календарного плана в виде таблицы. В реальном пособии таблица приводится с конкретными датами для текущего учебного года.

Таблица В.1

Календарный план выполнения курсовой работы студента Иванова И.И., группа 241-111

№ п/п	Наименование этапа	Срок начала	Срок окончания	Отметка о выполнении
1	Получение задания, подбор литературы	01.02.2026	14.02.2026	
2	Выбор и обоснование исходных данных	15.02.2026	28.02.2026	
3	Расчёт параметров рабочего тела	01.03.2026	14.03.2026	
4	Расчёт процессов впуска и сжатия	15.03.2026	28.03.2026	
5	Расчёт процессов сгорания и расширения	29.03.2026	11.04.2026	
6	Расчёт индикаторных и эффективных показателей	12.04.2026	25.04.2026	
7	Построение индикаторных диаграмм	26.04.2026	02.05.2026	

№ п/п	Наименование этапа	Срок начала	Срок окончания	Отметка о выполнении
8	Построение скоростной характеристики и теплового баланса	03.05.2026	09.05.2026	
9	Оформление пояснительной записки	10.05.2026	16.05.2026	
10	Сдача работы на проверку	17.05.2026	23.05.2026	
11	Защита курсовой работы	01.06.2026	05.06.2026	

Приложение Г. Образец рабочего дневника студента

Рабочий дневник служит для фиксации хода выполнения курсовой работы. В дневнике студент отражает даты выполнения работ, затраченное время, возникшие трудности и рекомендации руководителя. Дневник предоставляется руководителю при сдаче работы.

Ниже приведён образец рабочего дневника в виде таблицы. В реальном пособии приводится форма дневника на несколько страниц.

Таблица Г.1

Рабочий дневник студента Иванова И.И., группа 241-111, по курсовой работе на тему «Тепловой расчёт бензинового двигателя для легкового автомобиля»

Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Рекомендации руководителя	Отметка о выполнении
05.02	Подбор литературы в библиотеке	3	Не найдены свежие источники	Использовать eLIBRARY.RU	+
10.02	Консультация с руководителем	1	—	Уточнить степень сжатия	+
15.02	Выбор исходных данных	2	Нет	—	+

Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Рекомендации руководителя	Отметка о выполнении
20.02	Расчёт параметров рабочего тела	4	Ошибка в формуле L_0	Проверить размерности	+
...	...	...	...	...	...

Приложение Д. Пример оформления индикаторной диаграммы

В данном приложении приводится пример оформления индикаторной диаграммы рабочего цикла в координатах $p - V$. Это позволяет студенту визуально оценить правильность построения политроп сжатия и расширения, расположение характерных точек.

В реальном пособии на отдельной странице помещается индикаторная диаграмма, построенная на миллиметровой бумаге или с использованием графических средств Excel. На диаграмме должны быть указаны: обозначения осей (p, МПа; V, л или V/V_c), единицы измерения, характерные точки (a, c, z, b), политропы сжатия и расширения. Обязательно указывается масштаб по осям. Пример подписи: «Рисунок Д.1 — Индикаторная диаграмма бензинового двигателя ($\varepsilon = 9{,}5, n = 5500$ мин$^{-1}$)».

Приложение Е. Пример расчёта с таблицами и формулами

В данном приложении приводится пример выполнения расчётной части курсовой работы. Приводится фрагмент теплового расчёта с таблицами и формулами, показывающий последовательность вычислений.

Ниже приведён фрагмент такого расчёта. В реальном пособии приводится более полный расчёт с подробными пояснениями.

Пример. Расчёт параметров рабочего тела для бензинового двигателя

Исходные данные: бензин АИ-95, $C = 0{,}855$, $H = 0{,}145$, $\alpha = 0{,}95$.

Теоретически необходимое количество воздуха: $L_0 = (1/0{,}23) \times (C/12 + H/4) = (1/0{,}23) \times (0{,}855/12 + 0{,}145/4) = (1/0{,}23) \times (0{,}07125 + 0{,}03625) = 0{,}467$ кмоль/кг.

Действительное количество воздуха: $L = \alpha \times L_0 = 0{,}95 \times 0{,}467 = 0{,}444$ кмоль/кг.

Количество продуктов сгорания: $M_{\text{пс}} = C/12 + H/2 + 0{,}79 \times L = 0{,}07125 + 0{,}0725 + 0{,}79 \times 0{,}444 = 0{,}07125 + 0{,}0725 + 0{,}3508 = 0{,}4945$ кмоль/кг.

Результаты расчёта сведены в таблицу Е.1.

Таблица Е.1 — Параметры рабочего тела

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Теоретически необходимое количество воздуха	L_0	0,467	кмоль/кг
Действительное количество воздуха	L	0,444	кмоль/кг

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Количество продуктов сгорания	$M_{\text{пс}}$	0,4945	кмоль/кг

Приложение Ж. Перечень вопросов для защиты курсовой работы

В данном приложении приводится примерный перечень вопросов, которые могут быть заданы руководителем или комиссией при защите курсовой работы. Студент может использовать этот перечень для самопроверки при подготовке к защите.

Примерные вопросы для защиты курсовой работы:

1. Какова цель вашей курсовой работы и как она связана с третьим этапом сквозного проекта?
2. Какие исходные данные вы выбрали для расчёта? Почему?
3. Что такое степень сжатия и как она влияет на эффективность двигателя?
4. Что такое коэффициент избытка воздуха и как он влияет на процесс сгорания?
5. Как определяются параметры рабочего тела (L_0, $M_{\text{пс}}$)?
6. Как рассчитывается давление и температура в конце сжатия?
7. Как рассчитывается процесс сгорания для бензинового двигателя? Чем он отличается от дизеля?
8. Что такое индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива?
9. Что такое механический КПД и от чего он зависит?
10. Как строится внешняя скоростная характеристика двигателя?
11. Как составляется тепловой баланс двигателя?
12. Какие результаты вашего расчёта будут использованы в динамическом и прочностном расчётах?

13. Какие трудности возникли при выполнении курсовой работы и как вы их преодолели?

Приложение 3. Образец презентации (миниатюры слайдов)

В данном приложении приводится образец презентации для защиты курсовой работы в виде миниатюр слайдов. Студент может использовать эту структуру для подготовки собственной презентации. Рекомендуемое количество слайдов — 10–14.

Ниже приведено описание содержания слайдов. В реальном пособии каждый слайд представляется в виде уменьшенной копии (скриншота) с указанием номера слайда и его содержания.

Слайд 1 (титульный): тема курсовой работы, фамилия студента и руководителя.

Слайд 2: цель и задачи работы.

Слайд 3: исходные данные для расчёта (тип двигателя, мощность, частота вращения, степень сжатия, α).

Слайд 4: результаты расчёта параметров рабочего тела (таблица).

Слайд 5: результаты расчёта процессов впуска, сжатия, сгорания, расширения (таблица p, T в характерных точках).

Слайд 6: индикаторная диаграмма p–V.

Слайд 7: развёрнутая индикаторная диаграмма p–φ.

Слайд 8: индикаторные и эффективные показатели (таблица).

Слайд 9: внешняя скоростная характеристика (графики Ne, Me, ge).

Слайд 10: тепловой баланс (круговая диаграмма).

Слайд 11: основные выводы и результаты работы.

Слайд 12: связь со сквозным проектом (использование результатов в динамическом и прочностном расчётах).

Слайд 13: благодарность за внимание.

В реальном пособии на отдельной странице (или нескольких страницах) приводятся миниатюры всех слайдов с указанием их номеров и кратким описанием содержания. Например: «Рисунок З.1 — Слайд 1. Титульный слайд», «Рисунок З.2 — Слайд 2. Цель и задачи» и т.д. Это позволяет студенту наглядно представить структуру презентации и подготовить доклад в соответствии с ней.

Заключение

Настоящее учебное пособие предназначено для оказания методической помощи студентам при выполнении курсовой работы по дисциплине «Теория рабочих процессов поршневых двигателей». В пособии последовательно изложены все этапы работы: от выбора исходных данных и расчёта параметров рабочего тела до построения индикаторных диаграмм, внешней скоростной характеристики, теплового баланса и защиты работы.

Особое внимание уделено месту данной курсовой работы в структуре сквозного проектирования. Результаты теплового расчёта — давление газов в цилиндре, геометрические параметры двигателя (диаметр цилиндра и ход поршня), индикаторные и эффективные показатели — являются основой для всех последующих этапов: динамического расчёта (дисциплина Б1.2.4) и прочностного анализа деталей (дисциплина Б1.2.8). Без правильно выполненного теплового расчёта невозможно корректно определить силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме, и, следовательно, невозможно обеспечить прочность и надёжность проектируемого двигателя.

Успех в выполнении курсовой работы зависит от трёх составляющих: внимательного изучения теоретического материала, аккуратного выполнения расчётов с проверкой размерностей и физической достоверности результатов, а также своевременных консультаций с руководителем. Не откладывайте работу на последние недели семестра — тепловой расчёт требует времени и внимания к деталям. Ошибки, обнаруженные на поздних этапах, исправлять значительно труднее.

Регулярно консультируйтесь с руководителем, показывайте промежуточные результаты, не стесняйтесь задавать вопросы. Руководитель заинтересован в вашем успехе и готов помочь разобраться в сложных вопросах термодинамики и газодинамики рабочего цикла.

Желаем вам успешного выполнения курсовой работы, глубокого понимания физики процессов, происходящих в поршневых двигателях, и уверенного применения полученных знаний на последующих этапах сквозного проекта. Пусть этот третий этап станет прочным фундаментом для создания надёжного и экономичного двигателя.

Библиографический список

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. — М.: Машиностроение. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14 / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; Под общ. ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. 2013. 784 с.: ил.

2. Тракторы. Конструкция: учебник для студентов вузов. 3-е изд., перераб. и доп. /|В.М. Шарипов|, А.В. Акимов, Д.В. Апелинский и др.; под общ. ред. В.М. Шарипова. — М.: Инновационное машиностроение, 2019. —804 с.: ил.

3. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 720 с.: ил.

4. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб, пособие для вузов,- 3-е изд., перераб. и доп,- М., 2003.

5. Олисевич О.В. Разработка математических моделей и расчетно-экспериментальное исследование дизельных аккумуляторных топливных систем с электрогидравлическими форсунками. Диссер. на соиск. учен. степ. кандид. техн. наук. – М. 2008, 161 стр.

6. Покровский Г.П. Электроника в системе подачи топлива автомобильных двигателей / Г.П. Покровский. – М.: Машиностроение, 1990. – 176 стр., ил.

7. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. — М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. — 480 с.: ил.

8. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. — 432 с.: ил.

9. Райков И. Я., Макаров А. Р., Сергиевский А. В. Конструкция автомобиля: учебник для вузов: в 4 т. / Райков И. Я., Макаров А. Р., Сергиевский А. В. [и др.]; ред. Райков И. Я.; общ. ред. Карунин А. Л. – М. : Изд-во МГТУ "МАМИ", 2001. Т. 2 : Двигатель. - 2001. - 567 с. : ил.

10. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура системы управления дизелей: учебник для вузов.- М., 2004.

11. Eichlseder H., Baumann E., Muller P., Neugebauer S. Chansen und Risiken von Ottomotoren mit Direkteinspritzung // MTZ. N 3. 2000. S.144-152.

12. Hoppe N., Weberbauer F., Woschni G., Zeilinger K. Experimentel-le Erfassung und Simulation des Betriebsverhaltens von Ottomotoren mit Direkteinspritzung // MTZ. N 7/8. 2003. S. 628-635.