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.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Методические указания

по подготовке курсового проекта 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:
Уртаев Денис Алексеевич, Главный металлург, ГНЦ РФ ФГУП “НАМИ”, г. Москва
Голосов Андрей Сергеевич, Ведущий инженер-исследователь отдела альтернативных энергоустановок ФГУП «НАМИ»

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

Автоматизированное проектирование в двигателестроении: Методические указания. – М.: Московский политехнический университет, 2026.– 75 с.

Методические указания содержат пошаговое описание создания параметрических 3D-моделей деталей поршневого двигателя, сборки сборочной единицы и ассоциативных чертежей в CAD-системах. Пособие включает требования к оформлению электронного архива, экспорту моделей в нейтральные форматы для последующего CAE-анализа и подготовку к защите проекта. 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 7
Связь с формируемыми компетенциями 9
Цель и задачи учебного пособия 9
Структура пособия 10
Раздел 1. Цели и задачи курсового проекта 10
1.1. Цель выполнения курсового проекта 10
1.2. Задачи курсового проекта 11
1.3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения 12
1.4. Результат выполнения курсового проекта 13
Раздел 2. Требования к содержанию и структуре работы . 15
2.1. Примерный перечень тем курсовых проектов 15
2.2. Структура пояснительной записки 16
2.3. Состав графической части 18
2.4. Требования к электронному архиву 20
Раздел 3. Исходные данные и их получение 20
3.1. Источники исходных данных 20
3.2. Связь с предшествующими дисциплинами 22
3.3. Порядок получения индивидуального задания и согласования темы 23
3.4. Сроки выполнения этапов 24
Раздел 4. Методические указания по выполнению курсового проекта 25
4.1. Подготовительный этап 25
4.2. Создание параметрических 3D-моделей деталей 26
4.3. Создание параметрических моделей других деталей 29
4.4. Формирование сборочной единицы 30
4.5. Определение масс-центровочных характеристик 31

4.6. Оформление ассоциативных чертежей 32
4.7. Требования ЕСКД к чертежам 33
4.8. Подготовка моделей для CAE-анализа 33
4.9. Типичные ошибки и способы их предотвращения 34
4.10. Пример выполнения 3D-модели поршня (краткая иллюстрация) 35
Раздел 5. Требования к оформлению пояснительной записки 36
5.1. Общие требования к оформлению 36
5.2. Оформление текста 37
5.3. Оформление иллюстраций (рисунков) 38
5.4. Оформление таблиц 38
5.5. Оформление формул 39
5.6. Оформление ссылок и списка литературы 40
5.7. Оформление приложений 41
5.8. Контрольный список проверки оформления 41
Раздел 6. Требования к оформлению графической части . 42
6.1. Состав графической части 42
6.2. Выбор форматов и масштабов 43
6.3. Требования к выполнению чертежей 44
6.4. Особенности выполнения сборочного чертежа 44
6.5. Особенности выполнения рабочих чертежей деталей .. 45
6.6. Требования к презентации (при наличии) 46
6.7. Контрольный список проверки графической части 47
Раздел 7. Программное обеспечение и инструменты 47
7.1. Основное программное обеспечение 47
7.2. Вспомогательное программное обеспечение 49
7.3. Учебные ресурсы по программному обеспечению 49
7.4. Требования к форматам сдаваемых файлов 50
7.5. Структура электронного архива 50
Раздел 8. Организация выполнения и защиты курсового проекта 51

8.1. Календарный план выполнения курсового проекта 51
8.2. Взаимодействие с руководителем 52
8.3. Порядок сдачи курсового проекта 53
8.4. Защита курсового проекта 53
8.5. Рекомендации по подготовке к защите 54
Раздел 9. Критерии оценки курсового проекта 55
9.1. Оценка «отлично» 55
9.2. Оценка «хорошо» 56
9.3. Оценка «удовлетворительно» 57
9.4. Оценка «неудовлетворительно» 58
9.5. Порядок апелляции 58
Раздел 10. Список рекомендуемой литературы 59
10.1. Основная литература 59
10.2. Нормативно-техническая документация (стандарты ЕСКД) 59
10.3. Дополнительная литература 60
10.4. Периодические издания 61
10.5. Электронные ресурсы 61
10.6. Рекомендации по работе с литературой 62
Приложения 62
Приложение А. Образец титульного листа пояснительной записки 63
Приложение Б. Образец индивидуального задания 64
Приложение В. Образец календарного плана 65
Приложение Г. Образец рабочего дневника студента 66
Приложение Д. Пример оформления чертежа в уменьшенном масштабе 68
Приложение Е. Пример определения масс-центровочных характеристик 68
Приложение Ж. Перечень вопросов для защиты курсового проекта 69

Приложение 3. Образец презентации (миниатюры слайдов).....70
Заключение.....72
Библиографический список.....74

Введение

Дисциплина Б1.1.12 «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» занимает ключевое место в структуре подготовки бакалавров по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» (профиль «Поршневые двигатели и турбомашины»). Она изучается во втором и третьем семестрах и относится к обязательной части блока Б1 учебного плана. Если дисциплина «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» закладывает основы выполнения чертежей «на бумаге», то «Автоматизированное проектирование» выводит студента на принципиально новый уровень — уровень цифрового 3D-моделирования с использованием современных CAD-систем.

Место дисциплины в образовательной программе

Дисциплина опирается на результаты, полученные студентами при изучении дисциплины «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» (Б1.1.9), где были освоены основы начертательной геометрии и машиностроительного черчения. Также используются знания из дисциплин «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» (Б1.1.11), «Прикладное двигателестроение» (Б1.ЭД.1) и «Конструкция поршневых двигателей» (Б1.2.2), которые дают понимание устройства и принципов работы двигателя.

В свою очередь, результаты освоения дисциплины «Автоматизированное проектирование» являются фундаментом для последующего изучения целого ряда профильных дисциплин. Созданные 3D-модели деталей и сборочных единиц используются при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Динамический расчет поршневых двигателей» (Б1.2.4), «Конструирование и расчет поршневых двигателей» (Б1.2.8), «Расчет и оптимизация деталей двигателя» (Б1.2.9), а также при подготовке конструкторской документации в рамках производственных практик и 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.

Курсовой проект по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» является формализованным отчётом по **второму этапу сквозного проекта — «CAD. Освоение» (3 семестр)**. Результатом выполнения данного курсового проекта становится создание **комплекта параметрических 3D-моделей деталей проектируемого узла, сборочной единицы и ассоциативных чертежей**, оформленных в соответствии с требованиями ЕСКД.

Именно на этом этапе студент впервые создаёт цифровой двойник проектируемого узла — трёхмерную модель, которая становится основой для всего последующего проектирования. Техническое задание и эскизная компоновка, разработанные на первом этапе, получают своё воплощение в виде параметрических 3D-моделей.

Важно понимать, что созданная на втором этапе 3D-модель не является окончательной. В дальнейшем она будет многократно уточняться и корректироваться при изучении ряда дисциплин. Дисциплина «Конструирование и расчет поршневых двигателей» (Б1.2.8) потребует внесения изменений в геометрию деталей по результатам прочностных расчётов. Дисциплина «Расчет и оптимизация деталей двигателя» (Б1.2.9) может привести к топологической или параметрической оптимизации, изменяющей форму и массу деталей. Дисциплина «Технологическая подготовка производства в машиностроении» (Б1.2.16) заставит взглянуть на модель с точки зрения технологичности: возможно, потребуется упростить некоторые элементы, изменить радиусы скруглений или добавить технологические уклоны. Дисциплина «Нормирование точности и метрология» (Б1.1.14) повлияет на простановку допусков и посадок, что может потребовать изменения сопрягаемых размеров в модели. Кроме того, при изучении «Вычислительной гидрогазодинамики» (Б1.1.19) может потребоваться

упрощение модели для подготовки её к CFD-анализу (удаление мелких фасок и отверстий, не влияющих на течение). Таким образом, второй этап закладывает основу, которая будет развиваться и совершенствоваться на протяжении всего обучения.

Связь с формируемыми компетенциями

Выполнение курсового проекта направлено на формирование следующих компетенций. В рамках общепрофессиональной компетенции ОПК-1 студент овладевает навыками работы с прикладным программным обеспечением — CAD-системами (ИОПК-1.3), а также понимает принципы работы современных информационных технологий и учится использовать их для решения задач проектирования энергетических установок (ИОПК-1.4). В рамках универсальной компетенции УК-2 студент учится формулировать совокупность задач в рамках поставленной цели (ИУК-2.1), определять связи между задачами, компонентами проекта и ожидаемыми результатами (ИУК-2.2), а также выбирать оптимальные способы планирования и решения задач с учётом действующих правовых норм (стандартов ЕСКД), имеющихся ресурсов и ограничений (ИУК-2.3).

Цель и задачи учебного пособия

Цель настоящего пособия — оказать методическую помощь студенту в выполнении, оформлении и защите курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» в контексте второго этапа сквозного проектирования.

Задачи пособия:

- разъяснить место и роль курсового проекта в структуре сквозного проектирования;
- дать рекомендации по выбору темы и организации работы;
- изложить требования к содержанию и структуре пояснительной записки и графической части;
- предоставить пошаговые методические указания по параметрическому 3D-моделированию деталей поршневого двигателя;

• описать принципы создания сборочных единиц с заданными геометрическими сопряжениями и проверку на интерференции;

• привести требования к оформлению ассоциативных чертежей в соответствии с ЕСКД;

• описать порядок защиты курсового проекта 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 курсового проекта. Раздел 2, содержащий требования к содержанию и структуре работы. Раздел 3, в котором приведены примерные темы курсовых проектов. Раздел 4, содержащий методические указания по выполнению работы (поэтапно). 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, спецификации и других документов.

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

Раздел 1. Цели и задачи курсового проекта

1.1. Цель выполнения курсового проекта

Целью курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» является формирование у студента практических навыков создания параметрических 3D-

моделей деталей и сборочных единиц поршневого двигателя с использованием современных CAD-систем (КОМПАС-3D, SolidWorks или Siemens NX), а также оформления ассоциативных чертежей в строгом соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) как основы для второго этапа сквозного проекта «CAD. Освоение».

Достижение поставленной цели предполагает выполнение комплекса взаимосвязанных задач, решение которых позволяет студенту не только освоить инструментарий параметрического моделирования, но и научиться создавать цифровые двойники деталей и узлов поршневого двигателя, пригодные для последующего инженерного анализа (CAE) и разработки конструкторской документации.

1.2. Задачи курсового проекта

Для достижения поставленной цели студент должен решить следующие задачи.

Первая задача — освоить интерфейс и инструменты выбранной CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks или Siemens NX), настроить рабочую среду, шаблоны документов, изучить основные типы файлов (деталь, сборка, чертёж) и принципы управления деревом построения модели.

Вторая задача — на основе технического задания и эскизной компоновки, разработанных на первом этапе сквозного проекта, создать параметрические 3D-модели всех деталей, входящих в проектируемый узел поршневого двигателя. Модели должны быть параметризованы: основные размеры должны задаваться через переменные, что позволяет легко вносить изменения на последующих этапах проектирования.

Третья задача — сформировать сборочную единицу из созданных 3D-моделей деталей, задав геометрические сопряжения (соосность, совпадение, параллельность, касательность, расстояние, угол). При этом необходимо обеспечить правильное взаимное расположение деталей и, при необходимости, подвижность механизма (например, вращение коленчатого вала, перемещение поршня).

Четвёртая задача — выполнить проверку сборки на интерференции (пересечения деталей) и зазоры. При обнаружении интерференций или недопустимых зазоров внести соответствующие корректировки в 3D-модели и повторить проверку.

Пятая задача — определить масс-центровочные характеристики разработанной модели (массу, объём, координаты центра масс, моменты инерции) с использованием встроенных инструментов CAD-системы. Провести анализ влияния геометрических параметров на массу детали.

Шестая задача — оформить ассоциативные чертежи на основе созданных 3D-моделей: сборочный чертёж проектируемого узла с необходимыми разрезами и сечениями, спецификацию на сборочную единицу, рабочие чертежи оригинальных деталей. Чертежи должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД: проставлены размеры, допуски, посадки, шероховатость, допуски формы и расположения поверхностей, заполнены основные надписи.

Седьмая задача — подготовить электронный архив конструкторской документации, включающий все 3D-модели (в исходных форматах CAD-системы), ассоциативные чертежи (в форматах CAD и PDF) и пояснительную записку. Архив должен иметь чёткую структуру папок, позволяющую легко идентифицировать каждый документ.

Восьмая задача — подготовить материалы для последующих этапов сквозного проектирования, а именно: экспортировать 3D-модели в нейтральные форматы (STEP, IGES, Parasolid) для импорта в CAE-системы при выполнении прочностных и динамических расчётов на третьем этапе.

1.3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения

В результате выполнения курсового проекта у студента формируются следующие компетенции.

Универсальная компетенция УК-2: «Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений».

Данная компетенция формируется в процессе планирования и выполнения работ по 3D-моделированию и оформлению чертежей. Индикаторы достижения:

- ИУК-2.1: студент формулирует совокупность задач в рамках поставленной цели проекта (создание параметрических моделей, сборка, проверка интерференций, оформление чертежей), решение которых обеспечивает достижение цели.
- ИУК-2.2: студент определяет связи между поставленными задачами, основными компонентами проекта (3D-модели деталей, сборочная единица, чертежи, спецификация) и ожидаемыми результатами.
- ИУК-2.3: студент выбирает оптимальные способы планирования и решения задач с учётом действующих правовых норм (стандартов ЕСКД), имеющихся условий, ресурсов и ограничений (время, доступное программное обеспечение, вычислительные ресурсы).

Общепрофессиональная компетенция ОПК-1: «Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности».

Данная компетенция формируется в процессе работы с CAD-системами для параметрического моделирования и оформления чертежей. Индикаторы достижения:

- ИОПК-1.3: студент владеет навыками работы с прикладным программным обеспечением — CAD-системами (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX) для создания параметрических 3D-моделей деталей, сборочных единиц и ассоциативных чертежей.
- ИОПК-1.4: студент понимает принципы работы современных информационных технологий и может использовать их для решения задач по разработке конструкторской документации на энергетические установки, включая подготовку моделей для последующего CAE-анализа.

1.4. Результат выполнения курсового проекта

По завершении курсового проекта студент представляет следующий комплект материалов.

Пояснительная записка объёмом 15–25 страниц, оформленная в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета. Пояснительная записка включает: титульный лист, индивидуальное задание на курсовой проект, введение, описание CAD-системы и методов моделирования, описание созданных 3D-моделей деталей (с иллюстрациями), описание сборочной единицы (сопряжения, проверка интерференций), описание оформленных чертежей, заключение, список использованных источников и приложения.

Графическая часть включает следующие документы, оформленные в соответствии с ЕСКД:

- сборочный чертёж проектируемого узла (формат А1 или А2) с необходимыми разрезами и сечениями;
- спецификация на сборочную единицу (формат А4);
- рабочие чертежи оригинальных деталей, входящих в узел (форматы А3 или А4), с простановкой размеров, допусков, посадок, шероховатости и технических требований.

Электронный архив содержит:

- файлы 3D-моделей деталей в исходном формате CAD-системы (для КОМПАС-3D — .m3d, для SolidWorks — .sldprt, для Siemens NX — .prt);
- файл сборочной единицы в исходном формате CAD-системы (для КОМПАС-3D — .a3d, для SolidWorks — .sldasm);
- файлы чертежей в исходном формате CAD-системы (для КОМПАС-3D — .cdw, для SolidWorks — .slddrw) и в формате PDF;
- файлы моделей в нейтральных форматах (STEP, IGES, Parasolid) для последующего импорта в CAE-системы;
- файл пояснительной записки в форматах .docx и .pdf.

Все эти материалы являются составной частью отчёта по второму этапу сквозного проекта «CAD. Освоение» и в дальнейшем будут использоваться при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Динамический расчет поршневых двигателей», «Конструирование и расчет поршневых двигателей», «Расчет и оптимизация деталей двигателя», а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

Раздел 2. Требования к содержанию и структуре работы

2.1. Примерный перечень тем курсовых проектов

Тематика курсовых проектов по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» формируется таким образом, чтобы, с одной стороны, охватить основные аспекты параметрического 3D-моделирования деталей и сборочных единиц поршневого двигателя, а с другой стороны, обеспечить преемственность со сквозным проектом. Студент выбирает тему в начале второго семестра и согласовывает её с руководителем. Как правило, тема курсового проекта продолжает тему, выбранную для курсового проекта по дисциплине «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» (первый этап сквозного проекта), и предполагает создание 3D-моделей того же узла двигателя.

Ниже приведён примерный перечень тем, сгруппированных по объектам проектирования.

По кривошипно-шатунному механизму:

- разработка параметрических 3D-моделей и сборочной единицы поршневой группы рядного четырёхцилиндрового двигателя;
- создание 3D-моделей деталей и сборки шатунно-поршневой группы с заданием кинематических сопряжений;
- параметрическое моделирование коленчатого вала рядного двигателя с масляными каналами и галтелями;
- разработка 3D-модели шатуна с двутавровым сечением стержня и верхней/нижней головками;
- создание сборки кривошипно-шатунного механизма с проверкой интерференций и анализом подвижности.

По газораспределительному механизму:

- разработка 3D-моделей деталей и сборки газораспределительного механизма (распределительный вал, клапаны, толкатели, коромысла);
- параметрическое моделирование распределительного вала с кулачками заданного профиля;

• создание 3D-моделей клапанной группы (клапан, направляющая втулка, седло, пружина, сухари);

• разработка сборки головки блока цилиндров с клапанным механизмом.

По системам двигателя:

• разработка 3D-моделей и сборки масляного насоса шестеренчатого типа;

• параметрическое моделирование деталей водяного насоса (помпы) системы охлаждения;

• создание 3D-модели поршня с бочкообразной юбкой, канавками под кольца и внутренними полостями для охлаждения;

• разработка 3D-модели корпуса турбокомпрессора с проточной частью.

По впускным и выпускным системам:

• создание поверхностных 3D-моделей впускного и выпускного коллекторов;

• разработка 3D-модели дроссельного узла с поворотной заслонкой;

• параметрическое моделирование воздушного фильтра.

По топливной аппаратуре:

• разработка 3D-моделей плунжерной пары топливного насоса высокого давления;

• создание 3D-модели форсунки дизельного двигателя с распылителем.

Выбранная тема должна соответствовать техническому заданию и эскизной компоновке, разработанным на первом этапе сквозного проекта. Результаты данного курсового проекта (3D-модели и чертежи) становятся основой для последующих этапов проектирования.

2.2. Структура пояснительной записки

Пояснительная записка курсового проекта 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 уни-

верситета, факультета, кафедры, направление подготовки, профиль, тему курсового проекта, сведения о студенте и руководителе, город и год выполнения. На титульном листе также указывается гриф «К защите на этапе 2 сквозного проекта».

Индивидуальное задание выдаётся руководителем и содержит перечень подлежащих разработке вопросов, сроки выполнения, исходные данные 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 проектирования; цель работы; краткое содержание работы по разделам; основные результаты (состав разработанной 3D-модели и конструкторской документации).

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 выбранной темы, описание объекта проектирования, формулировку цели и задач курсового проекта, а также краткую характеристику структуры работы.

Глава 1. Описание CAD-системы и методов моделирования (объёмом 2–3 страницы) включает: обоснование выбора CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks или Siemens NX); описание основных принципов параметрического моделирования, используемых в работе; описание интерфейса и инструментов, применявшихся при создании моделей.

Глава 2. Разработка 3D-моделей деталей (объёмом 5–7 страниц) содержит: перечень и описание всех созданных 3D-моделей деталей, входящих в проектируемый узел; для каждой детали приводятся наименование, назначение, основные геометрические параметры, особенности параметризации; описание сопровождается скриншотами моделей с пояснениями (не менее 5–10 изображений).

Глава 3. Создание сборочной единицы и оформление чертежей (объёмом 4–6 страниц) включает: описание процесса создания сборочной единицы из разработанных 3D-моделей деталей; описание заданных геометрических сопряжений (соосность, совпадение, касание и др.); анализ сборки на интерференции (пересечения деталей); перечень и описание оформленных чертежей (сборочный чертёж, спецификация, рабочие чертежи деталей); описание соответствия оформления чертежей требованиям ЕСКД; описание сопровождается скриншотами сборки в сборе и в разрезе, а также уменьшенными копиями чертежей.

Глава 4. Анализ геометрических параметров и подготовка к CAE (объёмом 2–3 страницы) включает: определение масс-центровочных характеристик (масса, объём, центр масс, моменты инерции); анализ влияния геометрических параметров на массу детали; описание подготовки моделей для последующего CAE-анализа (упрощение геометрии, удаление мелких элементов, экспорт в нейтральные форматы STEP, IGES, Parasolid).

Заключение (объёмом 1 страница) содержит краткие выводы по результатам выполнения курсового проекта: оценку достижения поставленной цели и задач, соответствие созданных моделей и чертежей техническому заданию, а также указание на то, как результаты данного этапа будут использованы на последующих этапах сквозного проекта (для прочностных расчётов, технологической проработки и т.д.).

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: распечатки экранных форм с 3D-моделями (в увеличенном формате), ведомость покупных изделий (при необходимости), копии чертежей в уменьшенном масштабе (если они не приведены в основном тексте). Приложения не входят в основной объём пояснительной записки.

2.3. Состав графической части

Графическая часть курсового проекта является обязательным элементом работы и выполняется с использованием CAD-системы с последующим выводом на печать или сохранением в формате PDF. Состав графической части включает следующие документы.

Сборочный чертёж проектируемого узла выполняется на формате А1 или А2. На чертеже должны быть представлены: изображение узла в сборе с необходимыми разрезами и сечениями, позволяющими понять внутреннее устройство и принцип работы; габаритные, установочные и присоединительные размеры; номера позиций всех составных частей изделия; технические требования к сборке (зазоры, натяги, способы стопорения и т.п.); основная надпись по форме 1 ГОСТ 2.104. Для узлов поршневого двигателя рекомендуется выполнять соединение части вида и части разреза для симметричных изображений.

Спецификация выполняется на формате А4 и оформляется по форме 1 ГОСТ 2.108. Спецификация содержит перечень всех составных частей, входящих в сборочную единицу, с указанием наименования, обозначения, количества и материала (для деталей). Спецификация заполняется в следующем порядке: документация (сборочный чертёж, пояснительная записка), сборочные единицы (если узел входит в состав более крупной сборки), детали (оригинальные детали), стандартные изделия (крепёж, подшипники), прочие изделия, материалы. Спецификация подшивается в пояснительную записку (формат А4) или выпускается отдельным листом.

Рабочие чертежи деталей выполняются на форматах А3 или А4. Для каждой оригинальной детали, входящей в узел, разрабатывается отдельный рабочий чертёж. На чертеже должны быть представлены: необходимое количество видов, разрезов и сечений для полного представления геометрической формы детали; все размеры (габаритные, посадочные, конструктивные, справочные); предельные отклонения размеров (допуски) для сопрягаемых поверхностей; обозначения шероховатости поверхностей; допуски формы и расположения поверхностей (при необходимости); технические требования на изготовление (термообработка, покрытие и т.п.); основная надпись по форме 2 или 2а ГОСТ 2.104; указание материала детали с обозначением по ГОСТ.

Дополнительные материалы (по согласованию с руководителем) могут включать: аксонометрическое изображение сборочной единицы в «разнесённом» виде (взрыв-схема), анимацию сборки (в электронном виде), распечатки с результатами анализа интерференций.

2.4. Требования к электронному архиву

Все материалы курсового проекта сдаются в электронном виде на флеш-накопителе или загружаются в систему электронного документооборота университета. Структура электронного архива должна быть следующей:

- корневая папка (название — «Фамилия_И.О._группа_Б1.1.12», например «Иванов_И.И._241-111_Б1.1.12»);
- папка «3D_Models» (файлы 3D-моделей деталей в исходном формате CAD-системы, файл сборки);
- папка «Drawings» (файлы чертежей в исходном формате CAD-системы и в формате PDF);
- папка «CAE_Export» (файлы моделей в нейтральных форматах STEP, IGES, Parasolid);
- папка «Report» (файл пояснительной записки в форматах .docx и .pdf);
- папка «Attachments» (дополнительные материалы — скриншоты, анимация, распечатки).

Именование файлов должно соответствовать обозначению чертежа или названию документа. Недопустимы названия файлов типа «деталь1.sldprt», «чертеж.dwg». Пример правильного названия: «Поршень_Иванов_241-111.m3d», «МПУ.13.03.03.ПД.241-111.001_Сборочный_чертеж.pdf».

Раздел 3. Исходные данные и их получение

3.1. Источники исходных данных

Для успешного выполнения курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» студенту необходимо получить и проанализировать исходные данные, которые могут поступать из нескольких источников.

Первым и вторым источником является результат первого этапа сквозного проекта. Техническое задание и эскизная компоновка, разработанные при выполнении курсового проекта по дисциплине «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» (Б1.1.9), содержат все необходимые исходные данные для 3D-моделирования: основные геометрические параметры проектируемого узла, взаимное расположение элементов, технические требования к деталям и сборке. Без этих материалов выполнение курсового проекта по автоматизированному проектированию невозможно. Студент должен использовать результаты первого этапа как основу для создания 3D-моделей.

Вторым источником являются дисциплины, изучаемые на первом и втором курсах. Дисциплина «Конструкция поршневых двигателей» (Б1.2.2) даёт систематизированные знания об устройстве кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, систем смазки, охлаждения, питания и выпуска. Эти знания необходимы для понимания назначения каждой детали и её взаимодействия с другими деталями в узле. Дисциплина «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» (Б1.1.11) позволяет понять рабочие процессы, что важно для осознанного выбора параметров модели. Дисциплина «Прикладное двигателестроение» (Б1.ЭД.1) даёт представление об областях применения двигателей и их технических характеристиках.

Третьим источником являются литературные и справочные источники. Студент должен изучить учебники и учебные пособия по конструкции двигателей, справочники по стандартным изделиям (болты, гайки, подшипники, уплотнения), каталоги производителей комплектующих. Особое значение имеют справочники по допускам и посадкам, материалам и их свойствам.

Четвёртым источником является нормативно-техническая документация. Как и на первом этапе, основным документом является Единая система конструкторской документации (ЕСКД) — комплекс государственных стандартов, устанавливающих единые правила выполнения и оформления конструкторских

документов. Для 3D-моделирования особое значение имеют стандарты, регламентирующие правила оформления электронных моделей (ГОСТ 2.052-2015) и правила выполнения чертежей (ГОСТ 2.305, ГОСТ 2.307, ГОСТ 2.309 и др.).

Пятым источником (при наличии) могут быть данные с предприятия-партнёра. Для студентов, проходящих практику на предприятиях-партнёрах (ПАО «КАМАЗ», АО «ОДК», АО «Трансмашхолдинг» и др.), исходными данными могут служить реальные 3D-модели, чертежи, технологические регламенты, корпоративные стандарты. В этом случае курсовой проект может выполняться на основе реальной производственной задачи, что повышает его практическую значимость.

3.2. Связь с предшествующими дисциплинами

Выполнение курсового проекта опирается на результаты, полученные студентом при изучении следующих дисциплин первого и второго семестров.

Б1.1.9 «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» является основным источником исходных данных. Из этой дисциплины студент использует: техническое задание на проектирование (содержит основные требования к узлу); эскизную компоновку (содержит основные геометрические параметры и взаимное расположение элементов); знания о правилах оформления чертежей по ЕСКД; навыки чтения и выполнения чертежей.

Б1.2.2 «Конструкция поршневых двигателей» (изучается параллельно со вторым семестром) даёт систематизированные знания об устройстве всех систем и механизмов двигателя. Конкретно используются: знание конструкции кривошипно-шатунного механизма (поршень, шатун, коленчатый вал, поршневые кольца, поршневой палец); знание конструкции газораспределительного механизма (распределительный вал, клапаны, толкатели, коромысла); знание конструкции систем смазки, охлаждения, питания; понимание взаимодействия деталей в узле.

Б1.1.11 «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» даёт понимание рабочих процессов: термодинамические циклы; индикаторные и эффективные показатели; силы,

действующие в кривошипно-шатунном механизме. Это знание необходимо для понимания того, почему детали имеют ту или иную форму, почему предусмотрены те или иные зазоры и посадки.

Б1.ЭД.1 «Прикладное двигателестроение в энергетическом машиностроении» (элективная дисциплина) предоставляет знания об областях применения двигателей, их технических характеристиках в зависимости от сферы эксплуатации. Это используется при обосновании выбора конструктивных решений при моделировании.

ФТД.2 «3D-моделирование деталей энергоустановок» (факультативная дисциплина, при наличии) даёт дополнительные навыки работы в CAD-системах. Если студент прослушал этот факультатив, он имеет преимущество при выполнении курсового проекта.

3.3. Порядок получения индивидуального задания и согласования темы

Процедура получения задания и согласования темы курсового проекта включает несколько этапов.

Первый этап — выбор темы. В конце второго семестра (или в начале третьего, в зависимости от графика учебного процесса) студент знакомится с примерным перечнем тем курсовых проектов, представленным в разделе 2 настоящего пособия, а также с перечнем тем, утверждённым на заседании кафедры. Как правило, тема курсового проекта по автоматизированному проектированию является продолжением темы, выбранной для курсового проекта по графическому проектированию. Это обеспечивает преемственность между первым и вторым этапами сквозного проекта. Студент может выбрать тему из утверждённого перечня или предложить собственную тему по согласованию с руководителем.

Второй этап — согласование темы с руководителем. После предварительного выбора темы студент обращается к руководителю (преподавателю кафедры, за которым закреплено руководство курсовыми проектами). Руководитель оценивает актуальность и реализуемость темы, её соответствие задачам сквозного

проекта, наличие исходных данных (технического задания и эскизной компоновки с первого этапа). При необходимости тема уточняется или корректируется. Согласованная тема фиксируется в индивидуальном задании.

Третий этап — оформление и выдача индивидуального задания. Индивидуальное задание на курсовой проект оформляется руководителем по установленной форме (образец приведён в Приложении Б). В задании указываются: тема курсового проекта; исходные данные (техническое задание и эскизная компоновка с первого этапа); перечень подлежащих разработке вопросов (какие детали нужно смоделировать, какую сборку выполнить, какие чертежи оформить); требования к результатам (форматы чертежей, состав электронного архива); сроки выполнения этапов (календарный план); рекомендуемая литература. Задание подписывается руководителем и студентом, после чего утверждается заведующим кафедрой.

Четвёртый этап — получение исходных данных от руководителя. В процессе выполнения курсового проекта студент может получать дополнительные исходные данные от руководителя: чертежи-аналоги, 3D-модели для参考, каталожные данные, справочные материалы. При наличии договорённости с предприятием-партнёром студент может запросить техническую документацию на реальные изделия (с соблюдением режима конфиденциальности). Все полученные материалы фиксируются в рабочем дневнике студента.

3.4. Сроки выполнения этапов

Выполнение курсового проекта рассчитано на третий семестр продолжительностью 18 недель. Рекомендуемый календарный план представлен ниже.

На первой-второй неделях студент получает индивидуальное задание, знакомится с требованиями к курсовому проекту, восстанавливает материалы первого этапа (техническое задание и эскизную компоновку), устанавливает и настраивает CAD-систему.

На третьей-четвёртой неделях осваивается интерфейс CAD-системы, выполняются упражнения по созданию простых моделей (элементы выдавливания, вращения, кинематические операции).

На пятой-восьмой неделях создаются параметрические 3D-модели деталей проектируемого узла. Для каждой детали выполняется анализ геометрической формы, построение эскизов с размерными и геометрическими зависимостями, применение формообразующих операций, настройка параметров.

На девятой-одиннадцатой неделях формируется сборочная единица из созданных 3D-моделей деталей. Задаются геометрические сопряжения, выполняется проверка сборки на интерференции и зазоры, при необходимости корректируются модели.

На двенадцатой-четырнадцатой неделях оформляются ассоциативные чертежи: сборочный чертёж, спецификация, рабочие чертежи деталей. Проставляются размеры, допуски, шероховатость.

На пятнадцатой-шестнадцатой неделях оформляется пояснительная записка, формируется электронный архив, проводится проверка чертежей руководителем.

На семнадцатой-восемнадцатой неделях работа сдаётся на проверку, проводится нормоконтроль, защита курсового проекта (дифференцированный зачёт).

Соблюдение календарного плана является обязательным требованием. При нарушении сроков без уважительной причины руководитель вправе снизить оценку. При возникновении серьёзных трудностей (болезнь, семейные обстоятельства) студент обязан незамедлительно информировать руководителя для корректировки календарного плана.

Раздел 4. Методические указания по выполнению курсового проекта

Данный раздел является основным в пособии. Он содержит пошаговое описание всех этапов выполнения курсового проекта, от анализа исходных данных до оформления чертежей и экспорта моделей для CAE-анализа. Рекомендуется внимательно изучить весь раздел перед началом работы и обращаться к нему по мере выполнения отдельных этапов.

4.1. Подготовительный этап

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

Анализ исходных данных. Первым делом необходимо внимательно изучить индивидуальное задание, полученное от руководителя. В задании указана тема проекта, перечень деталей, подлежащих моделированию, требования к параметризации и оформлению чертежей. Также необходимо восстановить материалы первого этапа сквозного проекта — техническое задание и эскизную компоновку. Если какие-либо данные отсутствуют или вызывают вопросы, их необходимо уточнить у руководителя до начала работы.

Изучение литературы. Следующий шаг — подбор и изучение литературы по выбранной CAD-системе. Рекомендуется использовать следующие источники: встроенные учебные пособия (tutorials) CAD-системы; официальную документацию и видеоуроки на сайте производителя; учебные пособия, такие как «Самоучитель КОМПАС-3D» А.А. Герасимова или «SolidWorks. Оформление проектной документации» Н.Ю. Дударевой и Ю.А. Загайко. При изучении литературы рекомендуется выполнять упражнения для освоения базовых операций: создание эскизов, применение формообразующих операций, задание сопряжений.

Составление плана работы. На основе индивидуального задания и изученных материалов составляется детальный план работы. План должен включать: последовательность создания 3D-моделей деталей; порядок сборки; перечень чертежей с указанием форматов; сроки выполнения каждого этапа. План согласовывается с руководителем.

Настройка CAD-системы. Перед началом моделирования необходимо выполнить настройку CAD-системы. Для КОМПАС-3D рекомендуется: настроить единицы измерения (мм); создать шаблоны документов с требуемыми параметрами (формат, основная надпись); настроить отображение осей, размеров, шрифтов. Для SolidWorks: настроить единицы измерения; создать шаблоны детали, сборки, чертежа; настроить параметры сохранения.

4.2. Создание параметрических 3D-моделей деталей

Этот этап является наиболее трудоёмким. Рассмотрим процесс создания параметрических 3D-моделей на примере поршневой группы. Для других узлов (шатун, коленчатый вал, клапан) логика аналогична.

Анализ геометрической формы детали. Прежде чем приступать к моделированию, необходимо проанализировать форму детали, определить, из каких простых геометрических тел она состоит, и спланировать последовательность операций. Для поршня основными элементами являются: днище (верхняя часть), канавки под поршневые кольца, юбка, бобышки с отверстием под поршневой палец, внутренние полости.

Создание эскизов с размерными и геометрическими зависимостями. Эскиз — основа параметрической модели. При создании эскиза необходимо соблюдать следующие правила.

Во-первых, эскиз должен быть полностью определён (все линии чёрного цвета в КОМПАС-3D или все размеры и зависимости заданы в SolidWorks). Недопустимо оставлять неопределённые элементы (синие линии).

Во-вторых, размеры должны задаваться через переменные. В КОМПАС-3D это можно сделать через меню «Переменные», в SolidWorks — через «Уравнения» или «Глобальные переменные». Например, диаметр цилиндра D, ход поршня S, высота поршня $H = 0{,}9 \times D$. Использование переменных позволяет легко изменять модель под другие параметры.

В-третьих, должны быть заданы геометрические зависимости: параллельность, перпендикулярность, соосность, касание, симметрия. Это обеспечивает устойчивость модели при изменении параметров.

Пример создания эскиза днища поршня (вид сверху). В плоскости, перпендикулярной оси поршня, создаётся эскиз. Строится окружность диаметром D. Задаётся размер D через переменную. Строится вытеснитель (для бензинового двигателя) — фигура сложной формы, размеры которой также задаются через переменные (глубина вытеснителя, радиусы скруглений).

Формообразующие операции. Основные операции, используемые при моделировании деталей двигателя:

• Операция выдавливания (Extrude) — создаёт тело путём выдавливания эскиза в перпендикулярном направлении. Применяется для создания основных объёмов поршня, шатуна, блока цилиндров.

• Операция вращения (Revolve) — создаёт тело путём вращения эскиза вокруг оси. Применяется для создания деталей типа тел вращения: поршневой палец, клапан, распределительный вал, коленчатый вал.

• Операция по сечениям (Loft) — создаёт тело путём плавного перехода между несколькими эскизами. Применяется для создания впускных и выпускных коллекторов, лопаток турбокомпрессора.

• Кинематическая операция (Sweep) — создаёт тело путём перемещения эскиза вдоль направляющей. Применяется для создания масляных каналов, пружин.

• Массив элементов (Pattern) — создаёт копии элементов по кругу или в линейном порядке. Применяется для создания канавок под поршневые кольца, отверстий под болты.

Пример моделирования поршня (пошагово).

Шаг 1. Создаётся новый документ «Деталь». В плоскости *ZX* (фронтальная плоскость) создаётся эскиз половины профиля поршня (в силу симметрии). Профиль включает: линию днища, канавки под кольца, контур юбки, бобышки. Размеры задаются через переменные.

Шаг 2. Применяется операция вращения. Получается тело поршня.

Шаг 3. Создаются канавки под поршневые кольца. Для этого в плоскости, перпендикулярной оси, создаются эскизы прямоугольников в месте расположения канавок. Применяется операция вырезания вращением (или выдавливанием). Для создания трёх канавок удобно использовать массив элементов.

Шаг 4. Создаются отверстия под поршневой палец. В плоскости, проходящей через ось поршня, создаётся эскиз двух окружностей (отверстия в бобышках). Применяется операция вырезания выдавливанием «через всё». Для создания масляных каналов в отверстии (продольные канавки) используется операция вырезания вращением.

Шаг 5. Создаются масляные каналы в юбке поршня (для улучшения смазки). Создаётся эскиз на поверхности юбки, затем применяется операция вырезания выдавливанием на заданную глубину.

Шаг 6. Применяются скругления. На переходах между днищем и канавками, между юбкой и бобышками задаются радиусы скруглений (параметризованные). Скругления снижают концентрацию напряжений.

Шаг 7. Задаются литейные уклоны. Если поршень изготавливается литьём, на вертикальных поверхностях задаётся уклон 1–2 градуса (операция «Уклон» в SolidWorks или «Уклон грани» в КОМПАС-3D).

Параметризация модели. Все основные размеры поршня должны быть заданы через переменные. Пример переменных для поршня: D (диаметр цилиндра), H (высота поршня), H_k (высота компрессионной части), δ_{dn} (толщина днища), d_p (диаметр отверстия под палец), r_{skryg} (радиусы скруглений). При изменении значения переменной D модель автоматически перестраивается. Это свойство будет использоваться на следующих этапах сквозного проекта при оптимизации.

4.3. Создание параметрических моделей других деталей

Шатун. Моделирование шатуна начинается с создания эскиза половины шатуна (в силу симметрии) в плоскости, проходящей через его ось. Применяется операция выдавливания в двух направлениях. Создаются отверстия в верхней и нижней головках. В нижней головке создаётся разъём (для шатунной крышки). Моделируется шатунная крышка как отдельная деталь. Задаются радиусы скруглений в галтелях (переход от стержня к головкам). Параметризуются: длина шатуна L, диаметр верхней головки $d_{\text{в}}$, диаметр нижней головки $d_{\text{н}}$, толщина стержня t.

Коленчатый вал. Моделирование коленчатого вала удобно выполнять с использованием операции вращения для каждой шейки и щеки с последующим смещением. Альтернативный подход — создание эскиза на плоскости, перпендикулярной оси вала, с последующим выдавливанием. Для создания масляных каналов

используется операция вырезания по траектории (кинематическая). Параметризуются: диаметр коренных шеек $D_{к}$, диаметр шатунных шеек $D_{ш}$, радиус кривошипа R, ширина щеки b.

Поршневое кольцо. Моделирование поршневого кольца начинается с создания эскиза прямоугольника, затем применяется операция вращения. Кольцо должно иметь разрез (замок). Для этого создаётся вырез в одном месте кольца. Параметризуются: наружный диаметр $D_{нар}$ (равен диаметру цилиндра), ширина кольца h, толщина кольца t, ширина замка δ.

4.4. Формирование сборочной единицы

После создания всех деталей приступают к сборке.

Создание сборки. В CAD-системе создаётся новый документ «Сборка». В него добавляются все детали узла. Первая добавляемая деталь обычно является базовой (например, поршень). Остальные детали добавляются и фиксируются относительно базовой с помощью сопряжений.

Типы сопряжений. Основные сопряжения, используемые в сборках поршневого двигателя:

- Соосность (Concentric) — используется для совмещения осей поршневого пальца и отверстий в поршне и шатуне, для совмещения поршня и гильзы цилиндра.
- Совпадение (Coincident) — используется для совмещения плоскостей (например, торца поршня и оси отверстия под палец).
- Параллельность (Parallel) — используется для ориентации деталей.
- Касательность (Tangent) — используется для сопряжения поршневых колец с канавками.
- Расстояние (Distance) — используется для задания зазоров (например, тепловой зазор между поршнем и гильзой).
- Угол (Angle) — используется для задания углового положения коленчатого вала.

Пример создания сборки поршневой группы. Последовательность действий:

1. В сборку добавляется поршень как базовая деталь.

2. Добавляется поршневой палец. Задаётся сопряжение «Соосность» между осью пальца и осью отверстия в поршне. Задаётся сопряжение «Совпадение» между торцом пальца и плоскостью, проходящей через середину бобышек.

3. Добавляется шатун. Задаётся сопряжение «Соосность» между осью верхней головки шатуна и осью поршневого пальца. Задаётся сопряжение «Совпадение» между торцом верхней головки и торцом бобышки (с учётом зазора).

4. Добавляются поршневые кольца. Для каждого кольца задаётся сопряжение «Соосность» с осью поршня и сопряжение «Совпадение» с плоскостью соответствующей канавки.

5. Добавляются стопорные кольца (в отверстие под палец). Задаются сопряжения «Соосность» и «Совпадение» с канавками в отверстии.

Проверка интерференций и зазоров. После завершения сборки необходимо выполнить проверку на интерференции (пересечения деталей). В КОМПАС-3D используется инструмент «Анализ интерференций», в SolidWorks — «Проверка интерференций». Обнаруженные интерференции (пересечения) недопустимы. Их необходимо устранить путём корректировки размеров деталей или сопряжений.

Также необходимо проверить зазоры. Например, зазор между поршнем и гильзой цилиндра (тепловой зазор) должен составлять 0,05–0,1 мм для алюминиевого поршня. Зазор между поршневым кольцом в канавке — 0,02–0,05 мм.

Проверка подвижности. Если сборка предполагает движение (например, поршень должен перемещаться относительно шатуна, а шатун — вращаться относительно поршневого пальца), необходимо проверить подвижность механизма. В CAD-системе можно переместить деталь вручную и убедиться, что нет заклинивания.

4.5. Определение масс-центровочных характеристик

После создания сборки необходимо определить масс-центровочные характеристики. Это важно для последующих динамических расчётов (этап 3 сквозного проекта).

В КОМПАС-3D используется инструмент «Масса-центр-объём» (МЦО). В SolidWorks — «Массовые характеристики». Для

расчёта необходимо задать материалы деталей. Для поршня — алюминиевый сплав (плотность 2700 кг/м³), для поршневых колец — чугун (7200 кг/м³), для шатуна — сталь (7800 кг/м³), для поршневого пальца — сталь (7800 кг/м³).

Результаты расчёта: масса поршневой группы в сборе, координаты центра масс, моменты инерции относительно осей. Эти данные экспортируются в протокол (файл .txt или .xls) и вносятся в пояснительную записку.

4.6. Оформление ассоциативных чертежей

После создания 3D-моделей и сборки можно приступать к оформлению чертежей. Преимущество ассоциативных чертежей в том, что при изменении 3D-модели чертёж обновляется автоматически.

Создание сборочного чертежа. В CAD-системе создаётся новый чертёж на формате А1 или А2. Из 3D-сборки вставляется главный вид. Затем добавляются необходимые разрезы (простой разрез по оси, ступенчатый разрез для сложных узлов, местные разрезы). Для симметричных узлов допускается соединение половины вида и половины разреза. На чертёж наносятся габаритные размеры (высота, ширина, длина), установочные размеры (диаметры отверстий, расстояния между осями), присоединительные размеры. Проставляются номера позиций с помощью линий-выносок. Заполняется основная надпись.

Создание спецификации. Спецификация создаётся автоматически на основе состава сборки. В CAD-системе необходимо запустить генерацию спецификации, выбрать формат (по ГОСТ 2.108) и заполнить дополнительные поля (материал для деталей, обозначения для стандартных изделий). Спецификация оформляется на формате А4.

Создание рабочих чертежей деталей. Для каждой оригинальной детали создаётся отдельный чертёж. Из 3D-модели детали вставляется главный вид. Добавляются необходимые виды, разрезы, сечения. Наносятся размеры с учётом конструктивных баз. Проставляются допуски (предельные отклонения) на сопрягаемые

поверхности. Обозначается шероховатость поверхностей. Заполняются технические требования (материал, термообработка, неуказанные допуски). Заполняется основная надпись.

4.7. Требования ЕСКД к чертежам

При оформлении чертежей необходимо строго соблюдать требования ЕСКД. Основные требования приведены в разделе 5 настоящего пособия. Для сборочных чертежей особое внимание следует уделить: правильному выполнению разрезов (обозначение разреза, штриховка соприкасающихся деталей в разные стороны); нанесению номеров позиций (на полках линий-выносок, по периметру чертежа, в порядке возрастания); заполнению спецификации (соответствие позиций, правильный порядок разделов). Для рабочих чертежей деталей: достаточное количество изображений; правильное нанесение размеров (от баз); наличие допусков на сопрягаемые поверхности; обозначение шероховатости (знак и значение Ra); заполнение технических требований.

4.8. Подготовка моделей для CAE-анализа

После завершения моделирования и оформления чертежей необходимо подготовить 3D-модели для последующего прочностного и динамического анализа (этап 3 сквозного проекта).

Упрощение геометрии. Для CAE-анализа требуется упростить геометрию, удалив элементы, не влияющие на напряжённо-деформированное состояние. К таким элементам относятся: мелкие фаски и скругления (радиусом менее 1 мм); мелкие отверстия (диаметром менее 2 мм); резьбы; элементы для облегчения (не влияющие на прочность). Упрощение выполняется в CAD-системе путём подавления или удаления соответствующих операций.

Экспорт в нейтральные форматы. Для импорта в CAE-системы (ANSYS Workbench, Simcenter) необходимо экспортировать модели в нейтральные форматы. Рекомендуемые форматы: STEP (.stp, .step) — наиболее универсальный, сохраняет геометрию твёрдого тела; Parasolid (.x_t) — рекомендуется для импорта в ANSYS;

IGES (.igs) — устаревший, но всё ещё используемый формат. Экспорт выполняется командой «Сохранить как» и выбором соответствующего формата.

Проверка качества экспортированной геометрии. После экспорта рекомендуется импортировать модель в CAE-систему и проверить, нет ли дефектов (дырок, неправильных граней, самопересечений). В ANSYS для этого используется модуль Geometry.

4.9. Типичные ошибки и способы их предотвращения

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

Ошибка: Эскиз не полностью определён (есть синие линии). **Как избежать:** При создании эскиза сразу задавать все размеры и геометрические зависимости. Использовать инструмент «Проверить эскиз».

Ошибка: Отсутствует параметризация (размеры заданы числами, а не переменными). **Как избежать:** Создать таблицу переменных в начале работы. При задании размеров вводить не число, а имя переменной (например, *D* вместо 82).

Ошибка: Интерференция деталей в сборке. **Как избежать:** Регулярно выполнять проверку интерференций. При добавлении новой детали сразу проверять.

Ошибка: Неправильная штриховка на сборочном чертеже (соприкасающиеся детали заштрихованы одинаково). **Как избежать:** В CAD-системе задать разный угол или шаг штриховки для разных деталей.

Ошибка: Номера позиций не соответствуют спецификации. **Как избежать:** Генерировать спецификацию автоматически из сборки, а не заполнять вручную.

Ошибка: На рабочем чертеже детали не указан материал. **Как избежать:** В основной надписи рабочего чертежа обязательно заполнить графу «Материал» (например, «АЛ25 ГОСТ 1583-93»).

Ошибка: Модель не перестраивается после изменения параметра. **Как избежать:** Использовать только корректные переменные, не создавать циклических зависимостей, проверять модель на перестроение после изменения каждого параметра.

Ошибка: Невозможно экспортировать модель в STEP (ошибка геометрии). **Как избежать:** Перед экспортом выполнить проверку геометрии инструментом «Проверка тела» (КОМПАС-3D) или «Проверка» (SolidWorks). Устранить все дефекты.

4.10. Пример выполнения 3D-модели поршня (краткая иллюстрация)

Для наглядности рассмотрим основные этапы создания 3D-модели поршня в КОМПАС-3D.

Шаг 1. Создание переменных. Вызываем меню «Переменные» (Сервис → Переменные). Создаём переменные: $D = 82$ мм, $S = 75$ мм, $H = 0{,}9 \times D$ (вычисляемая), $\delta_{dn} = 0{,}1 \times D$, $d_p = 0{,}3 \times D$, и т.д.

Шаг 2. Создание эскиза половины профиля. Выбираем плоскость ZX. Строим эскиз: вертикальная ось (ось поршня), горизонтальная линия днища, линии канавок, линия юбки. Задаём размеры через переменные: H, δ_{dn}, высоты канавок. Закрываем эскиз.

Шаг 3. Операция вращения. Выбираем эскиз, команду «Операция вращения». Указываем ось вращения (вертикальная ось). Получаем тело поршня.

Шаг 4. Создание канавок. Выбираем плоскость XY (перпендикулярную оси). Строим эскиз прямоугольника в месте верхней канавки. Задаём размеры: ширина 2 мм, глубина 3 мм. Команда «Вырезать выдавливанием» (на всю глубину канавки). Повторяем для двух других канавок. Для маслосъёмной канавки создаём отверстия для отвода масла (массив отверстий по кругу).

Шаг 5. Создание отверстия под палец. Выбираем плоскость ZX. Строим эскиз двух окружностей (диаметр d_p) на расстоянии от днища. Команда «Вырезать выдавливанием» (через всё).

Шаг 6. Скругления. Команда «Скругление». Выбираем рёбра на переходах между днищем и канавками, между юбкой и бобышками. Задаём радиус $r_{skryg} = 2$ мм.

Шаг 7. Сохранение. Сохраняем модель в файл «Поршень_Иванов_241-111.m3d».

После создания модели поршня аналогичным образом создаются модели поршневого пальца, поршневых колец, шатуна. Затем все детали собираются в сборку, выполняются сопряжения, проверяются интерференции и подвижность. Затем создаются ассоциативные чертежи. В конце выполняется экспорт моделей в формат STEP для последующего CAE-анализа.

Раздел 5. Требования к оформлению пояснительной записки

5.1. Общие требования к оформлению

Пояснительная записка курсового проекта 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. Описание CAD-системы и методов моделирования», «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: скриншоты 3D-моделей, скриншоты сборок, изображения чертежей (в уменьшенном масштабе), схемы, графики, диаграммы. 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 2.1 — 3D-модель поршня».

Ссылки на рисунки в тексте. В тексте записки должны быть ссылки на все рисунки. Ссылка оформляется в виде «(рисунок 2.1)» или «как показано на рисунке 2.1». Не допускается использовать обороты «на следующем рисунке», «на рисунке ниже».

Требования к качеству иллюстраций. Все иллюстрации должны быть чёткими, с читаемыми надписями. Скриншоты с экрана CAD-системы должны быть сделаны с достаточным разрешением, чтобы мелкие детали (размеры, обозначения) были различимы. Уменьшенные копии чертежей должны быть выполнены в масштабе, обеспечивающем читаемость основной надписи и основных размеров.

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 указывается номер таблицы, затем ставится тире и приводится наименование таблицы. Точка в конце заголовка не ставится. Пример: «Таблица 1.1 — Перечень созданных 3D-моделей».

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

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:

$$S = \pi \times D^2 / 4 \qquad (1.1)$$

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:

$$S = \pi \times D^2 / 4, \qquad (1.1)$$

где S — площадь поршня, мм²; D — диаметр цилиндра, мм.

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 записи 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: большие таблицы с исходными данными; распечатки 3D-моделей (в увеличенном формате); ведомости покупных изделий; копии чертежей в уменьшенном масштабе (если они не приведены в основном тексте); копии нормативных документов.

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), «Распечатки 3D-моделей деталей» (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 курсового проекта 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? Рисунки не выходят за поля страницы?

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 курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» включает следующие документы.

Сборочный чертёж проектируемого узла выполняется на формате А1 или А2. На чертеже показывается узел в сборе с необ-

ходимыми разрезами и сечениями, наносятся габаритные, установочные и присоединительные размеры, проставляются номера позиций, оформляется основная надпись.

Спецификация на сборочную единицу выполняется на формате А4 и подшивается в пояснительную записку. В спецификации перечисляются все детали и сборочные единицы, входящие в узел, с указанием наименования, обозначения, количества и материала.

Рабочие чертежи оригинальных деталей выполняются на форматах А3 или А4 (в зависимости от размеров детали). Для каждой оригинальной детали, входящей в узел, разрабатывается отдельный рабочий чертёж с простановкой всех необходимых размеры, допусков, шероховатости и технических требований.

Дополнительные материалы (по согласованию с руководителем) могут включать: аксонометрическое изображение сборочной единицы в «разнесённом» виде (взрыв-схема), распечатки с результатами анализа интерференций.

6.2. Выбор форматов и масштабов

Форматы чертежей. Основные форматы чертежей установлены ГОСТ 2.301. При выполнении курсового проекта рекомендуется использовать следующие форматы: А1 (594×841 мм) — для крупных сборочных чертежей (коленчатый вал в сборе, головка блока цилиндров); А2 (420×594 мм) — для сборочных чертежей средней сложности (поршневая группа, шатунно-поршневая сборка, масляный насос); А3 (297×420 мм) — для сборочных чертежей простых узлов и для крупных рабочих чертежей деталей; А4 (210×297 мм) — для рабочих чертежей небольших деталей (поршневой палец, клапан, поршневые кольца) и для спецификации.

Масштабы. Масштабы чертежей выбираются по ГОСТ 2.302 из стандартного ряда: масштабы уменьшения — 1:2, 1:2,5, 1:4, 1:5, 1:10 и т.д.; натуральная величина — 1:1; масштабы увеличения — 2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1, 10:1 и т.д. Для сборочных чертежей поршневых двигателей чаще всего используются масштабы 1:1, 1:2 или 1:2,5. Для рабочих чертежей мелких деталей (поршневые кольца, клапаны) может потребоваться масштаб увеличения (2:1 или 4:1). Масштаб указывается в основной надписи чертежа в соответствующей графе.

6.3. Требования к выполнению чертежей

Типы линий. На чертежах применяются типы линий, установленные ГОСТ 2.303. Основная сплошная толстая линия (толщина 0,5…1,4 мм) используется для видимых контуров деталей, рамки чертежа, основной надписи. Сплошная тонкая линия (в 2–3 раза тоньше основной) применяется для размерных и выносных линий, линий штриховки. Штриховая линия (тонкая, с короткими штрихами) используется для изображения невидимых контуров. Штрихпунктирная тонкая линия применяется для изображения осевых и центровых линий. Разомкнутая линия (с утолщениями на концах) используется для обозначения линий разрезов и сечений.

Основная надпись. Каждый чертёж должен иметь основную надпись, расположенную в правом нижнем углу. Для сборочных чертежей и чертежей общего вида используется основная надпись по форме 1 ГОСТ 2.104 (размер 185×55 мм). Для рабочих чертежей деталей используется основная надпись по форме 2 (для формата А4) или форме 2а (для форматов А3 и более). Основная надпись заполняется следующим образом: графа 1 — наименование изделия (например, «Шатун»); графа 2 — обозначение чертежа; графа 3 — обозначение материала детали (для рабочего чертежа детали); графа 4 — литер документа (для курсового проекта — «У» — учебный); графа 5 — масса изделия; графа 6 — масштаб; графа 7 — номер листа; графа 8 — общее количество листов; графа 9 — наименование университета, факультета, кафедры; графа 10 — должности и фамилии разработчика, проверяющего, нормоконтролёра; графа 11 — подписи и даты.

Обозначение чертежей. Обозначение чертежа строится по следующему принципу: университет (МПУ), код направления подготовки (13.03.03), код профиля (ПД — поршневые двигатели), номер учебной группы, порядковый номер чертежа. Пример: МПУ.13.03.03.ПД.241-111.001 — сборочный чертёж поршневой группы; МПУ.13.03.03.ПД.241-111.002 — рабочий чертёж поршня.

6.4. Особенности выполнения сборочного чертежа

Сборочный чертёж должен давать полное представление о конструкции узла и взаимодействии его деталей. Для этого необходимо выполнить следующие требования.

На сборочном чертеже показывается узел в собранном виде. Внутреннее устройство узла раскрывается с помощью разрезов и сечений. Для симметричных узлов (поршневая группа) допускается соединение половины вида и половины разреза.

Сопрягаемые детали в разрезах штрихуются с наклоном в разные стороны или с разным шагом. Угол наклона штриховки обычно составляет 45 градусов к горизонтали. Для смежных деталей угол может быть изменён на 30 или 60 градусов.

Номера позиций наносятся на полках линий-выносок. Линии-выноски проводятся от изображения детали и заканчиваются точкой на поверхности детали (на видимых контурах). Полка линии-выноски располагается параллельно основной надписи. Номера позиций располагаются по периметру чертежа в порядке возрастания.

Габаритные размеры на сборочном чертеже даются для общего представления о размерах узла (длина, ширина, высота). Установочные и присоединительные размеры показывают, как узел крепится к другим узлам. Эксплуатационные размеры указывают характеристики узла (ход поршня, рабочий объём). Размеры отдельных деталей на сборочном чертеже не наносятся.

6.5. Особенности выполнения рабочих чертежей деталей

Рабочий чертёж детали должен содержать всю информацию, необходимую для её изготовления и контроля. Количество изображений на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для полного понимания геометрической формы детали.

Для деталей типа тел вращения (поршневой палец, клапан) достаточно одного изображения (главного вида) с указанием диаметральных размеров и нескольких местных разрезов. Для деталей сложной формы (поршень, шатун, коленчатый вал) требуется несколько видов, разрезов и сечений.

Размеры на рабочем чертеже наносятся с учётом конструктивных и технологических баз. Не допускается нанесение лишних или дублирующих размеров. Размерные цепи должны быть замкнуты.

Предельные отклонения размеров (допуски) указываются для всех сопрягаемых поверхностей. Допуски могут быть указаны условными обозначениями (например, 50H7) или числовыми значениями (например, 50+0,025). Способ указания должен быть единым на всём чертеже.

Шероховатость поверхностей обозначается знаком, над которым указывается значение параметра (Ra или Rz). Если для большинства поверхностей детали задана одинаковая шероховатость, её указывают в правом верхнем углу чертежа.

6.6. Требования к презентации (при наличии)

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

Количество слайдов. Рекомендуемое количество слайдов для защиты курсового проекта по второму этапу сквозного проектирования — 10–14 слайдов.

Структура презентации. Титульный слайд содержит тему курсового проекта, фамилию студента и руководителя. Слайд «Цель и задачи» формулирует цель работы и перечень задач. Слайд «CAD-система» показывает, какая система использовалась и почему. Слайды «3D-модели деталей» демонстрируют основные детали (3–4 слайда со скриншотами). Слайд «Сборочная единица» показывает сборку в сборе и в разрезе, результаты проверки интерференций. Слайды «Чертежи» показывают сборочный чертёж и рабочие чертежи (уменьшенные копии). Слайд «Масс-центровочные характеристики» представляет результаты анализа. Слайд «Подготовка к CAE» показывает экспорт моделей. 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). Изображения

(скриншоты 3D-моделей, чертежей) должны быть чёткими и читаемыми. Анимация допускается минимальная (появление текста и изображений), избыточная анимация (вращение, вылетание) не рекомендуется.

6.7. Контрольный список проверки графической части

Перед сдачей курсового проекта рекомендуется проверить выполнение следующих требований.

По общим требованиям: все ли чертежи из состава графической части выполнены? Соответствуют ли форматы выбранному масштабу и сложности узла? Имеется ли на каждом чертеже основная надпись и правильно ли она заполнена?

По сборочному чертежу: имеются ли необходимые разрезы и сечения? Правильно ли выполнена штриховка соприкасающихся деталей? Нанесены ли габаритные, установочные и присоединительные размеры? Проставлены ли номера позиций? Соответствует ли спецификация сборочному чертежу?

По рабочим чертежам деталей: достаточное ли количество изображений? Нанесены ли все размеры? Указаны ли допуски на сопрягаемые поверхности? Обозначена ли шероховатость поверхностей? Заполнены ли технические требования? Указан ли материал детали в основной надписи?

По электронному архиву: все ли файлы сохранены в требуемых форматах (исходные CAD-форматы и PDF)? Экспортированы ли модели в нейтральные форматы для CAE (STEP, IGES, Parasolid)? Правильно ли организована структура папок?

Раздел 7. Программное обеспечение и инструменты

7.1. Основное программное обеспечение

Для выполнения курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» студенту необходимо освоить одну из современных CAD-систем. Выбор

конкретной системы зависит от предпочтений студента и рекомендаций руководителя. Все перечисленные ниже программы позволяют выполнить параметрическое 3D-моделирование деталей, создание сборочных единиц и оформление чертежей в соответствии с требованиями ЕСКД.

КОМПАС-3D (рекомендуемая версия — v20 или выше). Это наиболее распространённая CAD-система в российских конструкторских бюро. КОМПАС-3D полностью ориентирована на требования ЕСКД, что делает её идеальным инструментом для выполнения учебных и реальных проектных задач в области двигателестроения. Программа позволяет создавать параметрические 3D-модели деталей, формировать сборочные единицы с заданными геометрическими сопряжениями и автоматически генерировать ассоциативные чертежи. Для студентов доступна бесплатная учебная версия. Для её получения необходимо зайти на официальный сайт kompas.ru, выбрать вкладку «Продукты», затем пункт «КОМПАС-3D Учебная версия», нажать кнопку «Скачать», заполнить и отправить форму, после чего дождаться ответного письма с дистрибутивом программы.

SolidWorks (рекомендуемая версия — 2022 Education Edition или выше). Это одна из наиболее популярных CAD-систем в мировом машиностроении. SolidWorks отличается интуитивно понятным интерфейсом, мощными инструментами параметрического моделирования и хорошей интеграцией с CAE-пакетами. Студенческая версия (SolidWorks Student Edition) предоставляется бесплатно при подтверждении статуса студента. В программе имеются встроенные пошаговые учебные пособия (Tutorials), доступные через вкладку Learn. Существует также обширная учебная литература, например, книга «SolidWorks. Оформление проектной документации» под редакцией Н. Дударевой и Ю. Загайко.

Siemens NX (студенческая версия). Это профессиональная CAD/CAM/CAE-система, широко используемая в авиа- и автомобилестроении. Отличается мощными инструментами синхронного моделирования и управления данными об изделии. Для студентов доступна бесплатная NX Student Edition на сайте Siemens. Однако

в рамках курсового проекта использование этой системы рекомендуется только студентам, уже имеющим опыт работы в ней, так как порог входа выше, чем у КОМПАС-3D и SolidWorks.

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 может использоваться 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 готовых чертежей и пояснительной записки в формате PDF.

PDF-принтер (например, PDF Creator или встроенный в Windows «Microsoft Print to PDF»). Необходим для конвертации чертежей и пояснительной записки 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 CAD-систем студент может использовать следующие ресурсы.

По КОМПАС-3D: официальный сайт АСКОН содержит раздел «Обучающие материалы» со статьями и видеоуроками. В самой программе доступно встроенное учебное пособие «Азбука КОМПАС-3D». Также широко распространены книги-самоучители, например «Самоучитель КОМПАС-3D V20» А.А. Герасимова.

По SolidWorks: в программе имеются встроенные пошаговые учебные пособия (Tutorials), доступные через вкладку Learn. На официальном сайте SolidWorks в разделе поддержки есть видеоуроки (Online Tutorials). Книга «SolidWorks. Оформление проектной документации» (Дударева Н., Загайко Ю.) детально рассматривает оформление чертежей в соответствии с ЕСКД.

По общим вопросам 3D-моделирования: на платформах YouTube и Stepik доступны многочисленные бесплатные курсы по основам моделирования в КОМПАС-3D и SolidWorks. Рекомендуется искать курсы, ориентированные на машиностроительное моделирование.

7.4. Требования к форматам сдаваемых файлов

Все материалы курсового проекта сдаются в электронном виде. Состав и форматы файлов приведены ниже.

Чертежи (графическая часть): каждый чертёж должен быть сохранён в двух форматах. Исходный формат CAD-системы: для КОМПАС-3D — .cdw, .a3d, .m3d; для SolidWorks — .slddrw, .sldasm, .sldprt. Универсальный формат для просмотра — .pdf (один файл на один чертёж, многостраничные PDF не допускаются).

3D-модели: файлы 3D-моделей деталей в исходном формате CAD-системы. Файлы моделей в нейтральных форматах для импорта в CAE-системы: STEP (.stp, .step), IGES (.igs), Parasolid (.x_t).

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

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_Б1.1.12»). Внутри неё распо-

лагаются папки: «3D_Models» (содержит файлы 3D-моделей деталей и сборки в исходных форматах CAD-системы); «Drawings» (содержит файлы чертежей в исходных форматах CAD-системы и в формате PDF); «CAE_Export» (содержит файлы моделей в нейтральных форматах STEP, IGES, Parasolid); «Report» (содержит файлы пояснительной записки в .docx и .pdf); «Presentation» (содержит файлы презентации, если требуется). Все файлы должны быть названы в соответствии с обозначением чертежа или названием документа. Недопустимы названия файлов типа «деталь1.sldprt», «чертеж.dwg». Пример правильного названия: «Поршень_Иванов_241-111.m3d», «МПУ.13.03.03.ПД.241-111.001_Сборочный_чертеж.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 курсового проекта

8.1. Календарный план выполнения курсового проекта

Курсовой проект выполняется в третьем семестре, продолжительность которого составляет 18 недель. Для обеспечения систематической работы и своевременной сдачи проекта рекомендуется придерживаться приведённого ниже календарного плана.

1–2 недели. Получение индивидуального задания от руководителя, ознакомление с требованиями к курсовому проекту, восстановление материалов первого этапа (техническое задание и эскизная компоновка), установка и настройка CAD-системы.

3–4 недели. Освоение интерфейса CAD-системы, выполнение упражнений по созданию эскизов, формообразующих операций (выдавливание, вращение, кинематическая операция).

5–8 недели. Создание параметрических 3D-моделей деталей проектируемого узла. На этом этапе моделируются все оригинальные детали, входящие в узел (поршень, шатун, поршневой палец, кольца и т.д.). Каждая модель параметризуется.

9–11 недели. Формирование сборочной единицы. Задание геометрических сопряжений (соосность, совпадение, касание, расстояние). Проверка сборки на интерференции и зазоры. При необходимости корректировка моделей.

12–14 недели. Оформление ассоциативных чертежей: сборочный чертёж (формат А1 или А2), спецификация (формат А4), рабочие чертежи деталей (форматы А3 или А4). Простановка размеров, допусков, шероховатости.

15–16 недели. Оформление пояснительной записки. Определение масс-центровочных характеристик. Экспорт моделей в нейтральные форматы для CAE-анализа. Формирование электронного архива.

17–18 недели. Сдача работы на проверку руководителю, прохождение нормоконтроля, защита курсового проекта (дифференцированный зачёт).

8.2. Взаимодействие с руководителем

Руководитель курсового проекта 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 (5–11 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 (3D-модели, чертежи, скриншоты). Не следует приходить на консультацию с вопросами «что делать дальше», не имея собственных наработок.

Формы промежуточной отчётности могут включать: проверку эскизов и первых 3D-моделей (6–7 недели), проверку сборки и интерференций (10–11 недели), проверку чертежей (13–14 недели), проверку пояснительной записки (15–16 недели). Результаты каждой проверки фиксируются руководителем в рабочем дневнике студента.

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 курсового проекта

После завершения всех этапов работы и устранения замечаний руководителя студент сдаёт курсовой проект для прохождения нормоконтроля. Нормоконтроль проводится назначенным кафедрой преподавателем (нормоконтролёром) или самим руководителем. Нормоконтролёр проверяет соответствие оформления чертежей и пояснительной записки требованиям ЕСКД и локальным нормативным актам университета. При обнаружении ошибок работа возвращается на доработку. После исправления ошибок нормоконтролёр ставит свою подпись в соответствующей графе чертежей и на титульном листе пояснительной записки.

Для сдачи курсового проекта студент предоставляет следующие документы. Пояснительная записка в сброшюрованном виде (распечатанная и подписанная) и в электронном виде (в форматах .docx и .pdf). Комплект чертежей, распечатанных на бумаге (согласно составу графической части) и в электронном виде (исходные файлы CAD-системы, файлы .pdf, а также нейтральные форматы для CAE). Электронный архив на флеш-накопителе с полной структурой папок. Рабочий дневник студента с отметками руководителя (при ведении бумажного дневника).

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

8.4. Защита курсового проекта

Защита курсового проекта проводится в форме дифференцированного зачёта в конце третьего 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: тема и цель курсового проекта; какая CAD-система использовалась и почему; какие детали были смоделированы; как выполнялась сборка и проверка интерференций; какие чертежи оформлены; какие масс-центровочные характеристики получены; как результаты данного этапа будут использованы на последующих этапах сквозного проекта (для CAE-анализа, технологической проработки). Доклад сопровождается демонстрацией презентации (10–14 слайдов) или демонстрацией 3D-моделей на экране.

После доклада руководитель (или члены комиссии) задают вопросы по содержанию работы. Вопросы могут касаться: выбора CAD-системы, методов параметризации, типов сопряжений в сборке, проверки интерференций, правил оформления чертежей по ЕСКД, а также связи данной работы со сквозным проектом в целом. Студент должен дать аргументированные ответы. При затруднениях допускается обращение к пояснительной записке и чертежам.

Критерии оценки. Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено в полном объёме и в установленный срок, все 3D-модели параметризованы корректно, сборка выполнена без интерференций, чертежи оформлены в соответствии с ЕСКД, пояснительная записка оформлена безупречно, студент демонстрирует глубокое понимание материала 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 и 3D-модели, обратив внимание на наиболее важные

конструктивные решения и параметры. Подготовить презентацию (10–14 слайдов) с наглядными скриншотами 3D-моделей и чертежей. 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 освоил навыки 3D-моделирования и способен применять их в инженерной практике.

Раздел 9. Критерии оценки курсового проекта

Оценка курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении» осуществляется по четырёхбалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При выставлении оценки учитываются качество выполнения 3D-моделей и сборки, правильность оформления чертежей, полнота пояснительной записки, соблюдение сроков выполнения этапов, а также уровень владения материалом, 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. Все 3D-модели деталей созданы с использованием параметризации: основные размеры заданы через переменные, модель корректно перестраивается при изменении параметров. Эскизы полностью определены (нет неопределённых элементов). Сборочная единица сформирована корректно, заданы все необходимые геометрические сопряжения (соосность, совпадение, касание, расстояние). Проверка на интерференции показала

отсутствие пересечений деталей. При наличии подвижных элементов (например, поршень относительно шатуна) проверена подвижность механизма.

Ассоциативные чертежи оформлены в полном соответствии с требованиями ЕСКД. Сборочный чертёж содержит все необходимые разрезы и сечения, правильно выполнена штриховка соприкасающихся деталей, нанесены габаритные, установочные и присоединительные размеры, номера позиций расположены по периметру чертежа в порядке возрастания. Спецификация заполнена без ошибок, все разделы оформлены правильно. Рабочие чертежи деталей содержат все необходимые изображения, размеры, допуски на сопрягаемые поверхности, обозначения шероховатости и технические требования. Материал деталей указан правильно. Определены масс-центровочные характеристики (масса, центр масс, моменты инерции) с использованием инструментов CAD-системы. Модели экспортированы в нейтральные форматы (STEP, IGES, Parasolid) для последующего CAE-анализа.

Пояснительная записка оформлена безупречно в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета. Рисунки (скриншоты 3D-моделей, чертежей) имеют подписи и ссылки в тексте. Список литературы оформлен по ГОСТ. При защите студент демонстрирует глубокое понимание методов параметрического моделирования, свободно ориентируется в 3D-моделях и чертежах, аргументированно отвечает на все вопросы, показывает понимание связи данной работы с последующими этапами сквозного проекта.

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 по 3D-моделированию могут относиться: отдельные размеры заданы числами, а не переменными (параметризация не полная); один-два эскиза имеют неопре-

делённые элементы; не заданы некоторые геометрические зависимости (параллельность, перпендикулярность). По сборке: пропущено одно-два сопряжения; интерференции отсутствуют, но зазоры не проверены. По чертежам: незначительные отступления от ЕСКД (небольшие ошибки в штриховке, пропущены один-два размера, не указана шероховатость на нескольких поверхностях). Пояснительная записка оформлена с небольшими нарушениями (незначительные ошибки в оформлении списка литературы, пропущена одна-две ссылки на рисунки). При защите студент демонстрирует уверенное владение материалом, отвечает на вопросы, но допускает незначительные неточности.

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: модели созданы без параметризации (все размеры заданы числами, модель не перестраивается); эскизы имеют много неопределённых элементов; сборка выполнена с ошибками (неправильные сопряжения, есть интерференции); проверка подвижности не выполнена; на сборочном чертеже отсутствуют необходимые разрезы или сечения, неправильно выполнена штриховка, пропущены габаритные или присоединительные размеры, номера позиций не соответствуют спецификации; рабочие чертежи деталей выполнены небрежно, отсутствуют допуски на сопрягаемые поверхности, не указан материал; масс-центровочные характеристики не определены; экспорт в нейтральные форматы не выполнен; пояснительная записка оформлена с грубыми нарушениями (неправильные поля, отсутствие нумерации страниц, нет ссылок на иллюстрации). При защите студент испытывает затруднения при ответах на вопросы, отвечает неуверенно, требует наводящих вопросов руководителя.

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

9.4. Оценка «неудовлетворительно»

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в следующих случаях.

Задание не выполнено в целом (отсутствуют основные 3D-модели или чертежи, пояснительная записка не представлена). Либо задание выполнено, но с грубыми нарушениями, которые не позволяют считать работу удовлетворительной. К грубым нарушениям относятся: 3D-модели не соответствуют теме и техническому заданию; сборка не выполнена или выполнена с грубыми ошибками (детали не сопряжены, есть явные интерференции); чертежи отсутствуют или совершенно не соответствуют ЕСКД; спецификация 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 курсовой проект не засчитан. Студент обязан устранить все выявленные недостатки и представить работу к повторной защите в установленные кафедрой сроки. Без положительной оценки по курсовому проекту 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 курсового проекта 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 основы автоматизированного проектирования, параметрического 3D-моделирования и оформления конструкторской документации.

Чекмарев А.А. Инженерная графика. Машиностроительное черчение: учебник. — Москва: ИНФРА-М, 2026. — 396 с. В учебнике изложены правила изображения на чертеже деталей и собираемых из них изделий. Рассмотрены примеры и даны предложения, облегчающие выполнение самостоятельных работ студентами.

Буланже Г.В., Гончарова В.А., Гущин И.А., Молокова Т.С. Инженерная графика: учебник. — Москва: ИНФРА-М, 2026. — 381 с. В простой и доступной форме изложены теоретические положения начертательной геометрии. Приведена методика построения рабочих чертежей. Рассмотрены стандартные детали, резьба, резьбовые соединения, разъёмные и неразъёмные соединения.

Герасимов А.А. Самоучитель КОМПАС-3D V20. — СПб.: БХВ-Петербург, 2021. — 640 с. Подробное руководство по настройке, параметрическому моделированию и оформлению чертежей в системе КОМПАС-3D. Содержит множество примеров и упражнений.

Дударева Н.Ю., Загайко Ю.А. SolidWorks. Оформление проектной документации. — СПб.: БХВ-Петербург, 2019. — 288 с. Пособие посвящено вопросам оформления чертежей в CAD-системе SolidWorks в соответствии с требованиями ЕСКД.

10.2. Нормативно-техническая документация (стандарты ЕСКД)

Стандарты Единой системы конструкторской документации являются обязательными для выполнения и оформления чертежей. Ниже приведён перечень основных стандартов, которые необходимо использовать в курсовом проекте.

ГОСТ 2.101-2016 ЕСКД. Виды изделий.
ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов.
ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД. Основные надписи.
ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
ГОСТ 2.108-68 ЕСКД. Спецификация.
ГОСТ 2.301-68* ЕСКД. Форматы.
ГОСТ 2.302-68* ЕСКД. Масштабы.
ГОСТ 2.303-68* ЕСКД. Линии.
ГОСТ 2.304-81 ЕСКД. Шрифты чертежные.
ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД. Изображения — виды, разрезы, сечения.
ГОСТ 2.307-2011 ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.
ГОСТ 2.308-2011 ЕСКД. Указание допусков формы и расположения поверхностей.
ГОСТ 2.309-73 ЕСКД. Обозначение шероховатости поверхностей.
ГОСТ 2.311-68 ЕСКД. Изображение резьбы.
ГОСТ 2.312-72 ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.
ГОСТ 2.315-68 ЕСКД. Изображения упрощённые и условные крепёжных деталей.
ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

10.3. Дополнительная литература

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

Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. — М.: Машиностроение, 2017. Справочник содержит сведения о конструкционных материалах, стандартных деталях, посадках и допусках, а также рекомендации по оформлению чертежей.

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.

Марков В.А. Конструкция поршневых двигателей: учебник для вузов. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 456 с.

10.4. Периодические издания

Периодические издания позволяют ознакомиться с современными конструктивными решениями и тенденциями в области двигателестроения.

«Двигателестроение». Межотраслевой научно-технический и производственный журнал. Основан в 1979 году. Журнал включён в перечень ВАК и индексируется в РИНЦ. ISSN: 0202-1633.

«Автомобильная промышленность». Научно-технический журнал, освещающий вопросы проектирования, производства и эксплуатации автомобилей и двигателей.

«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 официальные сайты разработчиков программного обеспечения, электронные библиотечные системы и образовательные порталы.

Официальные сайты производителей CAD-систем:

- КОМПАС-3D (АСКОН) — https://kompas.ru (раздел «Обучающие материалы», возможность скачать учебную версию)
- SolidWorks — https://www.solidworks.com (раздел поддержки с видеоуроками, студенческая версия)
- Siemens NX — https://www.siemens.com/nx (студенческая версия)

Электронно-библиотечные системы:

• Znanium.com — электронно-библиотечная система, содержащая учебную и научную литературу по инженерной графике и двигателестроению (доступ через университетскую подписку)

• eLIBRARY.RU — научная электронная библиотека, содержащая полнотекстовые статьи из российских научных журналов

Информационные порталы:

• NormaCS.info — информационный портал по стандартизации (содержит актуальную информацию о стандартах ЕСКД)

• Электронное учебное пособие по ЕСКД (Сибирский государственный университет путей сообщения) — ресурс для самостоятельного изучения требований стандартов

10.6. Рекомендации по работе с литературой

При работе с литературными источниками рекомендуется придерживаться следующих правил. При изучении учебников и пособий следует выполнять упражнения по 3D-моделированию, приведённые в них. При работе со стандартами ЕСКД необходимо обращать внимание на действующие редакции. Особое внимание следует уделить стандартам на оформление чертежей — ГОСТ 2.104, ГОСТ 2.305, ГОСТ 2.307, ГОСТ 2.309, так как они наиболее востребованы при выполнении курсового проекта. При использовании электронных ресурсов следует фиксировать дату обращения к ресурсу для корректного оформления ссылки в списке литературы.

Приложения

В приложениях к учебному пособию размещаются образцы документов, шаблоны и примеры, которые студент может использовать в качестве ориентира при выполнении курсового проекта. 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 ЕСКД.

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 курсового проекта, 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 2 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»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении»

на тему: «Разработка параметрических 3D-моделей и сборочной единицы поршневой группы рядного четырёхцилиндрового двигателя»

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Руководитель: доцент, к.т.н. Петров П.П.
К защите на этапе 2 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 № 2

на выполнение курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении»

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Тема курсового проекта: Разработка параметрических 3D-моделей и сборочной единицы поршневой группы рядного четырёхцилиндрового двигателя

Исходные данные: техническое задание и эскизная компоновка поршневой группы (результат курсового проекта по Б1.1.9). Двигатель бензиновый, рядный, четырёхцилиндровый, диаметр цилиндра — 82 мм, ход поршня — 75 мм.

Перечень подлежащих разработке вопросов:

- создать параметрические 3D-модели поршня, поршневого пальца, поршневых колец (верхнее компрессионное, нижнее компрессионное, маслосъёмное), шатуна;
- выполнить сборку поршневой группы с заданием геометрических сопряжений;
- проверить сборку на интерференции и зазоры;
- определить масс-центровочные характеристики сборки;
- оформить ассоциативные чертежи: сборочный чертёж поршневой группы (формат А2), спецификацию, рабочие чертежи деталей (форматы А3 и А4);
- экспортировать модели в нейтральные форматы для CAE-анализа (STEP, IGES, Parasolid).

Срок сдачи проекта: 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 курсового проекта 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 курсового проекта студента Иванова И.И., группа 241-111

№ п/п	Наименование этапа	Срок начала	Срок окончания	Отметка о выполнении
1	Получение задания, настройка CAD-системы	01.02.2026	14.02.2026	
2	Освоение интерфейса, выполнение упражнений	15.02.2026	28.02.2026	
3	Создание 3D-модели поршня	01.03.2026	21.03.2026	

№ п/п	Наименование этапа	Срок начала	Срок окончания	Отметка о выполнении
4	Создание 3D-моделей пальца, колец, шатуна	22.03.2026	18.04.2026	
5	Сборка поршневой группы, проверка интерференций	19.04.2026	02.05.2026	
6	Оформление чертежей и спецификации	03.05.2026	16.05.2026	
7	Оформление пояснительной записки	17.05.2026	23.05.2026	
8	Экспорт моделей для CAE, формирование архива	24.05.2026	28.05.2026	
9	Защита курсового проекта	01.06.2026	05.06.2026	

Приложение Г. Образец рабочего дневника студента

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

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 курсовому проекту на тему «Разработка параметрических 3D-моделей поршневой группы»

Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Рекомендации руководителя	Отметка о выполнении
05.02	Настройка КОМПАС-3D, создание переменных	2	Нет	—	+
10.02	Консультация с руководителем	1	—	Уточнить параметры поршня	+
15.02	Создание эскиза поршня	4	Сложный профиль юбки	Использовать операцию по сечениям	+
20.02	Операция вращения поршня	2	Нет	—	+
...	...	...	...	...	...

Приложение Д. Пример оформления чертежа в уменьшенном масштабе

В данном приложении приводится пример оформления одного из чертежей, разрабатываемых в рамках курсового проекта, в уменьшенном масштабе. Это позволяет студенту визуально оценить правильность компоновки чертежа, расположение видов и разрезов, оформление основной надписи.

В реальном пособии на отдельной странице (или нескольких страницах) помещается уменьшенная копия сборочного чертежа поршневой группы или рабочего чертежа поршня. Размер изображения должен быть достаточным для того, чтобы можно было разобрать основные элементы: разрезы, размеры, номера позиций. Обязательно указывается масштаб изображения (например, «Рисунок Д.1 — Сборочный чертёж поршневой группы (масштаб 1:2)»).

Приложение Е. Пример определения масс-центровочных характеристик

В данном приложении приводится пример выполнения расчёта масс-центровочных характеристик с использованием инструментов CAD-системы.

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

Пример. Определение масс-центровочных характеристик поршневой группы

Материалы деталей:

- поршень — алюминиевый сплав АЛ25 (плотность 2700 кг/м³);
- поршневой палец — сталь 20Х (плотность 7800 кг/м³);
- поршневые кольца — чугун (плотность 7200 кг/м³);
- шатун — сталь 40Х (плотность 7800 кг/м³).

Таблица Е.1

Результаты расчёта в КОМПАС-3D (инструмент «Масса-центр-объём»)

Деталь	Масса, г	Координаты центра масс (X, Y, Z), мм
Поршень	385	(0; 0; 37,2)
Палец поршневой	98	(0; 0; 37,0)
Кольцо компрессионное верхнее	12	(0; 0; 45,5)
Кольцо компрессионное нижнее	11	(0; 0; 42,0)
Кольцо маслосъёмное	14	(0; 0; 38,5)
Шатун (верхняя головка)	165	(0; 0; 37,0)

Масса поршневой группы в сборе: 685 г.

Приложение Ж. Перечень вопросов для защиты курсового проекта

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

Примерные вопросы для защиты курсового проекта:

1. Какова цель вашего курсового проекта и как он связан со вторым этапом сквозного проекта?
2. Какую CAD-систему вы использовали и почему выбрали именно её?
3. Какие детали вы смоделировали? Какие параметры были параметризованы?
4. Как вы создавали сложный профиль юбки поршня (бочкообразность)?
5. Какие сопряжения вы задали в сборке поршневой группы и почему?

6. Как вы проверяли сборку на интерференции? Были ли обнаружены пересечения?

7. Как вы проверяли подвижность механизма?

8. Какие масс-центровочные характеристики получены? Какова масса поршневой группы?

9. Какие чертежи оформлены? На каких форматах?

10. Какие требования ЕСКД необходимо соблюдать при оформлении сборочного чертежа?

11. В какие нейтральные форматы вы экспортировали модели для CAE-анализа?

12. Как результаты данного курсового проекта будут использованы на следующих этапах сквозного проекта?

13. Какие трудности возникли при выполнении курсового проекта и как вы их преодолели?

Приложение 3. Образец презентации (миниатюры слайдов)

В данном приложении приводится образец презентации для защиты курсового проекта 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 курсового проекта, фамилия студента и руководителя.

Слайд 2: цель и задачи работы.

Слайд 3: выбранная CAD-система (КОМПАС-3D, SolidWorks) и обоснование выбора.

Слайд 4: параметрическая 3D-модель поршня (скриншот с деревом построения и таблицей переменных).

Слайд 5: 3D-модели поршневого пальца, колец, шатуна (скриншоты).

Слайд 6: сборочная единица поршневой группы (скриншот сборки в сборе и в разрезе).

Слайд 7: результаты проверки интерференций (скриншот отчёта об интерференциях).

Слайд 8: масс-центровочные характеристики (таблица с результатами).

Слайд 9: сборочный чертёж поршневой группы (уменьшенная копия).

Слайд 10: рабочие чертежи деталей (уменьшенные копии поршня, шатуна, пальца).

Слайд 11: экспорт моделей для CAE-анализа (форматы STEP, IGES, Parasolid).

Слайд 12: выводы и связь со сквозным проектом.

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 курсового проекта по дисциплине «Автоматизированное проектирование в двигателестроении». В пособии последовательно изложены все этапы работы: от выбора темы и анализа исходных данных до создания параметрических 3D-моделей, сборки, оформления чертежей и защиты проекта.

Особое внимание уделено месту данного курсового проекта в структуре сквозного проектирования. Результаты этой работы — комплект параметрических 3D-моделей, сборочная единица и ассоциативные чертежи — являются цифровым двойником проектируемого узла и основой для всех последующих этапов: прочностных расчётов (CAE), технологической проработки и разработки конструкторской документации. Созданные на втором этапе 3D-модели будут многократно уточняться и корректироваться при изучении дисциплин «Конструирование и расчет поршневых двигателей», «Расчет и оптимизация деталей двигателя», «Технологическая подготовка производства» и других. Поэтому качественное выполнение курсового проекта по автоматизированному проектированию во многом определяет успешность всего обучения.

Успех в выполнении курсового проекта зависит от трёх составляющих: внимательного освоения инструментов выбранной CAD-системы, регулярного обращения за консультациями к руководителю, а также аккуратности и терпения при создании 3D-моделей и оформлении чертежей. Не откладывайте работу на последние недели семестра — это неизбежно приведёт к снижению качества. Помните, что параметрическое моделирование требует вдумчивого подхода к выбору последовательности операций и заданию переменных. 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 параметрического моделирования и оформления конструкторской документации.

Желаем вам успешного выполнения курсового проекта, глубокого освоения методов автоматизированного проектирования и получения удовольствия от создания цифровых двойников поршневых двигателей. Пусть этот второй этап сквозного проекта станет прочным фундаментом вашей будущей инженерной квалификации.

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.