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»

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

ПРОГРАММА СКВОЗНОГО ПРОЕКТА

Методические указания по подготовке выпускной квалификационной работы для студентов, обучающихся по направлению 13.03.03, профиль «Поршневые двигатели и турбомашины»

Одобрено учебно-методической комиссией транспортного факультета

Москва 2026 г.

УДК 621.43
ББК 39.33-08
Н15

Содержит полное описание структуры, содержания и организации выполнения единого комплексного проекта на протяжении всего периода обучения (1–8 семестры). В пособии детально изложены цели и задачи каждого из пяти этапов сквозного проектирования — от анализа и технического предложения до интеграции и защиты выпускной квалификационной работы, а также показана их тесная связь с рассредоточенными практиками.

УДК 621.43
ББК 39.33-08

Системные требования: PC-совместимый процессор 1,3 ГГц и выше. Оперативная память (RAM): 256 Мб. Необходимо на винчестере: 350 Мб. Операционные системы: Windows, Mac OS. Видеосистема: разрешение экрана 1024x768. Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 9 и выше.

ISBN 978-5-2760-2675-6

© Г.Г. Надарейшвили, Р.Х. Курмаев, Д.В. Апелинский, составление, 2026
© Московский Политех, 2026

Оглавление

1. Цели и задачи сквозного проекта 8
1. Цели и задачи сквозного проекта 21
1.1. Цель сквозного проекта 21
1.2. Задачи сквозного проекта 21
1.3. Результаты выполнения сквозного проекта 22
1.4. Связь с формируемыми компетенциями 23
2. Место сквозного проекта в образовательной программе 25
2.1. Роль сквозного проекта в образовательной программе 25
2.2. Связь сквозного проекта с рассредоточенными практиками 25
2.3. Связь сквозного проекта с профильными дисциплинами 27
2.4. Завершение сквозного проекта 28
3. Структура и этапы сквозного проекта 29
3.1. Этап 1. Анализ и техническое предложение (2 семестр) 29
3.2. Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр) 30
3.3. Этап 3. CAE. Расчёты (5 семестр) 32
3.4. Этап 4. Разработка конструкторской документации (6–7 семестры) 33
3.5. Этап 5. Интеграция и защита выпускной квалификационной работы (8 семестр) 35
3.6. Обобщённая схема этапов сквозного проекта 37
4. Формируемые компетенции 39
4.1. Универсальные компетенции (УК) 39
4.2. Общепрофессиональные компетенции (ОПК) 42
4.3. Профессиональные компетенции (ПК) 44
4.4. Сводные данные по формированию компетенций 46
5. Требования к отчёту по каждому этапу 48
5.1. Общие требования к оформлению отчётов по этапам 48
5.2. Содержание отчёта по этапу 1 (Анализ и техническое предложение) 49
5.3. Содержание отчёта по этапу 2 (CAD. Освоение) 50

5.4. Содержание отчёта по этапу 3 (CAE. Расчёты) 51

5.5. Содержание отчёта по этапу 4 (Разработка конструкторской документации) 53

5.6. Содержание отчёта по этапу 5 (Выпускная квалификационная работа) 55

6. Фонд оценочных средств 58

6.1. Общие положения 58

6.2. Критерии оценки этапов сквозного проекта 58

6.3. Оценочные средства по этапам 59

6.4. Итоговая оценка по сквозному проекту 62

6.5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по этапам 63

6.6. Порядок апелляции результатов оценки 63

7. Примерные темы сквозного проекта 65

7.1. Темы по поршневым двигателям 65

7.2. Темы по турбомашинам 67

7.3. Темы по комбинированным и альтернативным установкам 68

7.4. Темы по эксплуатации и диагностике 68

7.5. Порядок выбора и утверждения темы 69

8. Методические рекомендации по выполнению сквозного проекта 71

8.1. Методические рекомендации для обучающегося 71

8.2. Методические рекомендации для руководителя 73

8.3. Рекомендации по использованию ресурсов университета 76

8.4. Рекомендации по организации самостоятельной работы 77

9. Связь сквозного проекта с выпускной квалификационной работой 78

9.1. Сквозной проект как основа выпускной квалификационной работы 78

9.2. Интеграция результатов этапов в структуру выпускной квалификационной работы 78

9.3. Сквозной проект и выпускная квалификационная работа как единое целое 81

9.4. Рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы на основе сквозного проекта 81

9.5. Преимущества подхода для обучающегося 83

10. Заключение 84

Приложение 1. Примерный календарный план выполнения сквозного проекта по этапам (График работ) 86

Общие положения 86

Этап 1. Анализ и техническое предложение (2 семестр) 86

Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр) 88

Этап 3. CAE. Расчёты (5 семестр) 91

Этап 4. Разработка конструкторской документации (6–7 семестры) 94

Этап 5. Интеграция и защита выпускной квалификационной работы (8 семестр) 99

Рекомендации по использованию календарного плана 102

Приложение 2. Образец индивидуального задания на этап сквозного проекта 103

Общие положения 103

Шаблон индивидуального задания на этап (универсальная форма) 103

1. Исходные данные для выполнения этапа 104

2. Перечень подлежащих разработке вопросов 104

3. Перечень отчётных материалов по этапу 106

4. Сроки выполнения этапа 107

5. Консультанты по этапу (при наличии) 107

6. Подписи 107

Пример заполнения для этапа 2 (для наглядности) 107

Рекомендации по заполнению индивидуального задания 109

Примечание 109

Приложение 3. Образец рабочего дневника студента по сквозному проекту 110

Общие положения 110
Форма рабочего дневника (титульный лист) 110
Форма рабочего дневника (таблица для записей) 111
Итоговые сведения по этапу 112
Подписи 113
Пример заполнения рабочего дневника для этапа 2 (для наглядности) 113
Рекомендации по ведению рабочего дневника 118
Примечание 119
Приложение 4. Примерный перечень вопросов для защиты этапов сквозного проекта (для собеседования с руководителем) 120
Общие положения 120
Вопросы для этапа 1 «Анализ и техническое предложение» 120
Вопросы для этапа 2 «CAD. Освоение» 121
Вопросы для этапа 3 «CAE. Расчёты» 122
Вопросы для этапа 4 «Разработка конструкторской документации» 124
Вопросы для этапа 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» 125
Рекомендации для руководителя по проведению собеседования 126
Рекомендации для обучающегося по подготовке к собеседованию 126
Приложение 5. Методические указания по подготовке презентации для защиты выпускной квалификационной работы (в рамках этапа 5) 128
Общие положения 128
1. Структура презентации 128
2. Рекомендуемое содержание слайдов 129
3. Требования к оформлению презентации 133
4. Рекомендации по подготовке к выступлению 134
5. Пример распределения времени доклада по слайдам 135

6. Типичные ошибки при подготовке презентации 136
7. Пример шаблона презентации (описание) 136
8. Заключительные рекомендации 137
Приложение 6. Перечень рекомендуемого программного обеспечения с указанием версий и ссылок на учебные материалы 138
Общие положения 138
1. CAD-системы (для этапов 2 и 4) 138
2. CAE-пакеты (для этапа 3) 140
3. Программное обеспечение для расчётов и обработки данных 141
4. Офисное и вспомогательное программное обеспечение 142
5. Специализированное программное обеспечение 143
6. Общие рекомендации по освоению программного обеспечения 143
7. Сводная таблица программного обеспечения 144
8. Примечания 145
Приложение 7. Образец титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта 147
Общие положения 147
Шаблон титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта 147
Пример заполнения для этапа 2 (для наглядности) 148
Рекомендации по оформлению титульного листа отчёта по этапу 149
Отличия от титульного листа выпускной квалификационной работы 149
Примечание 150

1. Цели и задачи сквозного проекта

Цель сквозного проекта – формирование у обучающихся системных компетенций в области проектирования, расчётного обоснования, технологической подготовки производства и эксплуатации поршневых двигателей и турбомашин через выполнение единого комплексного проекта, реализуемого последовательно на протяжении всего периода обучения.

Задачи сквозного проекта:

закрепить и систематизировать теоретические знания, полученные при изучении профильных дисциплин;

сформировать практические навыки разработки конструкторской документации с использованием современных CAD-систем;

развить умение выполнять расчётно-теоретические исследования узлов и систем двигателей с применением CAE-систем;

приобрести компетенции в области технологической подготовки производства и оценки технологичности конструкций;

сформировать навыки диагностики, анализа неисправностей и разработки мероприятий по эксплуатации энергетических установок;

обеспечить интеграцию результатов всех этапов обучения в целостную выпускную квалификационную работу.

2. Место сквозного проекта в образовательной программе

Сквозной проект является ключевым элементом образовательной программы, обеспечивающим практико-ориентированное обучение. Проект выполняется обучающимся индивидуально на протяжении всех четырёх лет обучения (1–8 семестры) и объединяет все профильные дисциплины и практики в единую логическую последовательность.

Сквозной проект тесно связан с рассредоточенными практиками, предусмотренными учебным планом. Каждый этап сквозного проекта закреплён за соответствующей практикой, что обеспечивает непрерывность проектной деятельности и возможность получения регулярных консультаций от руководителей от университета и от предприятия-партнёра.

Связь сквозного проекта с рассредоточенными практиками:

Первый этап «Анализ и техническое предложение» выполняется во 2 семестре и закреплён за учебной практикой (проектной) трудоёмкостью 2 зачётные единицы.

Второй этап «CAD. Освоение» выполняется в 3 семестре и закреплён за учебной практикой (практикой по получению первичных навыков работы с программным обеспечением) трудоёмкостью 3 зачётные единицы.

Третий этап «CAE. Расчёты» выполняется в 5 семестре и закреплён за производственной практикой (научно-исследовательской работой) трудоёмкостью 3 зачётные единицы.

Четвёртый этап «Разработка конструкторской документации» выполняется в 6–7 семестрах и закреплён за производственной практикой (проектной) в 6 семестре трудоёмкостью 3 зачётные единицы и производственной практикой (технологической) в 7 семестре трудоёмкостью 3 зачётные единицы.

Пятый этап «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» выполняется в 8 семестре и закреплён за производственной практикой (преддипломной) трудоёмкостью 9 зачётных единиц.

Сквозной проект завершается подготовкой и защитой выпускной квалификационной работы, которая является итоговым документом, интегрирующим результаты всех этапов проектирования.

3. Структура и этапы сквозного проекта

Сквозной проект состоит из пяти логически связанных этапов, каждый из которых завершается формированием конкретного артефакта.

Этап 1. Анализ и техническое предложение (2 семестр)

Содержание этапа включает: изучение предметной области, анализ существующих конструкций-прототипов поршневых двигателей и турбомашин; проведение патентного обзора по теме проекта; обоснование выбора прототипа для проектирования; формулирование цели и задач сквозного проекта; разработку технического задания на проектирование; выполнение эскизной компоновки проектируемого узла.

Результатом этапа является техническое задание и эскизная компоновка.

Связь с практикой: учебная практика (проектная), 2 семестр.

Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр)

Содержание этапа включает: освоение интерфейса и инструментов CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX); создание параметрических 3D-моделей деталей проектируемого узла; формирование сборочной единицы с заданными геометрическими сопряжениями; проверку сборки на интерференции; оформление ассоциативных чертежей в соответствии с ЕСКД.

Результатом этапа является комплект 3D-моделей деталей, сборочная единица и чертежи.

Связь с практикой: учебная практика (работа с ПО), 3 семестр.

Этап 3. CAE. Расчёты (5 семестр)

Содержание этапа включает: подготовку расчётной модели (сетка, граничные условия, нагрузки); проведение прочностного анализа (FEA) деталей и узлов; проведение теплового анализа (при необходимости); проведение газодинамического анализа (CFD) (при необходимости); анализ усталостной долговечности; параметрическую и топологическую оптимизацию конструкции; верификацию расчётных моделей.

Результатом этапа являются верифицированные результаты CAE-анализа и рекомендации по оптимизации.

Связь с практикой: производственная практика (научно-исследовательская работа), 5 семестр.

Этап 4. Разработка конструкторской документации (6–7 семестры)

Содержание этапа в 6 семестре (конструкторская часть) включает: доработку 3D-моделей по результатам CAE-анализа; выпуск рабочих чертежей оригинальных деталей с простановкой допусков и шероховатости; оформление сборочного чертежа узла с разрезами и спецификацией; формирование электронного архива конструкторской документации; расчёт размерных цепей.

Содержание этапа в 7 семестре (технологическая часть) включает: анализ технологичности деталей; обоснование выбора материала, метода получения заготовки, термообработки; разработку маршрутного технологического процесса изготовления детали; разработку операционной карты на одну операцию механической обработки; разработку технологического процесса сборки узла.

Результатом этапа является полный комплект конструкторской документации (чертежи, спецификации) и технологическая документация.

Связь с практиками: производственная практика (проектная) в 6 семестре; производственная практика (технологическая) в 7 семестре.

Этап 5. Интеграция и защита выпускной квалификационной работы (8 семестр)

Содержание этапа включает: систематизацию материалов всех этапов сквозного проекта; выполнение экономического обоснования проектных решений; разработку эксплуатационно-диагностической части; подготовку пояснительной записки выпускной квалификационной работы; оформление графической части; подготовку презентации; предзащиту на кафедре и (или) на предприятии-партнёре; защиту выпускной квалификационной работы в государственной экзаменационной комиссии.

Результатом этапа является выпускная квалификационная работа (пояснительная записка, графическая часть, презентация), допуск к защите и успешная защита.

Связь с практикой: производственная практика (преддипломная), 8 семестр.

4. Формируемые компетенции

В результате выполнения сквозного проекта у обучающегося формируются следующие универсальные компетенции: УК-1 (способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач); УК-2 (способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения); УК-3 (способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде); УК-4 (способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах); УК-6 (способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития); УК-9 (способность принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности).

Также формируются следующие общепрофессиональные компетенции: ОПК-1 (способность понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их

для решения задач профессиональной деятельности); ОПК-2 (способность разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения); ОПК-3 (способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования); ОПК-5 (способность использовать свойства конструкционных материалов в расчётах параметров и режимов); ОПК-6 (способность проводить измерения электрических и неэлектрических величин).

Кроме того, формируются следующие профессиональные компетенции: ПК-1 (способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на поршневые двигатели, турбомашины и их компоненты с использованием современных CAD-систем); ПК-2 (способность проводить расчётно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)); ПК-3 (способность планировать и проводить экспериментальные исследования (испытания) поршневых двигателей, турбомашин и их компонентов); ПК-4 (способность оценивать технологичность конструкций, разрабатывать и сопровождать технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов); ПК-5 (способность выполнять диагностику, анализировать причины неисправностей и дефектов поршневых двигателей и турбомашин).

5. Требования к отчёту по каждому этапу

5.1. Общие требования к оформлению отчётов по этапам

Отчёт по каждому этапу сквозного проекта оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета. Текст отчёта печатается на листах формата А4. Поля страницы: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Шрифт – Times New Roman, 14 кегль, полуторный межстрочный интервал. Объём отчёта по этапам 1–4 составляет 15–25 страниц. Отчёт по этапу 5 (выпускная квалификационная работа) – 60–80 страниц.

5.2. Содержание отчёта по этапу 1 (Анализ и техническое предложение)

Отчёт по этапу 1 включает: титульный лист; индивидуальное задание на этап; введение с указанием цели и задач этапа; аналитический обзор существующих конструкций-прототипов (не ме-

нее 10–15 источников); патентный обзор (не менее 5–7 патентных документов); обоснование выбора прототипа; техническое задание на проектирование; эскизную компоновку проектируемого узла; заключение с выводами по этапу; список использованных источников.

5.3. Содержание отчёта по этапу 2 (CAD. Освоение)

Отчёт по этапу 2 включает: титульный лист; индивидуальное задание на этап; введение с указанием цели и задач этапа; описание CAD-системы и методов моделирования; описание созданных 3D-моделей деталей (с скриншотами); описание сборочной единицы (сопряжения, проверка интерференций); описание оформленных чертежей (сборочный чертёж, спецификация, рабочие чертежи); заключение с выводы по этапу; приложение (скриншоты моделей и чертежей в уменьшенном масштабе).

5.4. Содержание отчёта по этапу 3 (CAE. Расчёты)

Отчёт по этапу 3 включает: титульный лист; индивидуальное задание на этап; введение с указанием цели и задач этапа; описание CAE-системы и методов расчёта; описание расчётной модели (сетка, граничные условия, нагрузки); результаты прочностного анализа (FEA) с визуализацией; результаты теплового анализа (при наличии); результаты газодинамического анализа (CFD) (при наличии); анализ усталостной долговечности (при наличии); оптимизацию конструкции (при наличии); верификацию расчётных моделей; заключение с выводами и рекомендациями; приложение (скриншоты результатов расчёта).

5.5. Содержание отчёта по этапу 4 (Разработка конструкторской документации)

Отчёт по этапу 4 включает: титульный лист; индивидуальное задание на этап; введение с указанием цели и задач этапа; конструкторскую часть (описание доработки 3D-моделей по результатам CAE-анализа, рабочие чертежи деталей в уменьшенном масштабе, сборочный чертёж и спецификацию в уменьшенном масштабе, расчёт размерных цепей); технологическую часть (анализ технологичности деталей, обоснование выбора материала, заготовки и термообработки, маршрутный технологический процесс, операционную карту на одну операцию, технологический процесс сборки); заключение с выводами по этапу; прило-

жение (комплект чертежей в уменьшенном масштабе, технологические карты).

5.6. Содержание отчёта по этапу 5 (Выпускная квалификационная работа)

Структура выпускной квалификационной работы детально описана в Приложении 3 к рабочей программе государственной итоговой аттестации. Выпускная квалификационная работа включает: титульный лист; задание на выпускную квалификационную работу; аннотацию; содержание; введение; аналитическую главу; конструкторскую главу; расчётно-исследовательскую главу; технологическую главу; эксплуатационно-диагностическую главу; экономическую главу; заключение; список литературы; приложения. Графическая часть составляет 6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации.

6. Фонд оценочных средств

Оценка выполнения сквозного проекта осуществляется поэтапно. Каждый этап оценивается в рамках соответствующей практики (дифференцированный зачёт). Итоговая оценка по сквозному проекту выставляется по результатам защиты выпускной квалификационной работы.

Критерии оценки этапов сквозного проекта:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено в полном объёме, в установленный срок; отчёт оформлен в соответствии с требованиями; результаты этапа полностью соответствуют техническому заданию; обучающийся демонстрирует глубокое понимание материала, свободно отвечает на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если задание выполнено в полном объёме; имеются незначительные замечания по содержанию или оформлению; обучающийся демонстрирует уверенное владение материалом, отвечает на вопросы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если задание выполнено; имеются существенные замечания по содержанию или оформлению; обучающийся демонстрирует удовлетворительное владение материалом, испытывает затруднения при ответах.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено или выполнено с грубыми нарушениями; обучающийся не владеет материалом.

Оценочные средства по этапам:

Для этапа 1 оценочными средствами являются аналитический обзор, техническое задание и эскизная компоновка.

Для этапа 2 оценочными средствами являются 3D-модели деталей, сборочная единица, чертежи и спецификация.

Для этапа 3 оценочными средствами являются расчётная модель, результаты CAE-анализа и отчёт с визуализацией.

Для этапа 4 оценочными средствами являются комплект конструкторской документации и технологические карты.

Для этапа 5 оценочными средствами являются выпускная квалификационная работа (пояснительная записка, графическая часть, презентация), доклад на защите и ответы на вопросы.

7. Примерные темы сквозного проекта

Ниже приведены примерные темы сквозного проекта, сгруппированные по объектам проектирования. Обучающийся может выбрать тему из утверждённого перечня или предложить собственную тему по согласованию с руководителем.

По поршневым двигателям:

проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного механизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания;

разработка конструкции и технологии изготовления газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания;

проектирование и CAE-анализ поршневой группы двигателя внутреннего сгорания;

разработка системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с расчётным обоснованием;

проектирование и расчёт системы смазки двигателя внутреннего сгорания;

разработка системы впуска и выпуска двигателя внутреннего сгорания с CFD-анализом;

проектирование и технологическая подготовка производства коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания;

разработка системы диагностики электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания.

По турбомашинам:

проектирование и расчёт осевого компрессора газотурбинного двигателя;

разработка конструкции и CAE-анализ рабочего колеса турбины газотурбинного двигателя;

проектирование камеры сгорания газотурбинного двигателя с CFD-анализом;

разработка турбокомпрессора для дизельного двигателя с расчётным обоснованием;

проектирование и технологическая подготовка производства лопатки компрессора газотурбинного двигателя.

По комбинированным и альтернативным установкам:

проектирование комбинированной энергетической установки с поршневым двигателем и турбиной;

разработка системы газобаллонного оборудования двигателя внутреннего сгорания;

проектирование гибридной энергетической установки для транспортного средства;

разработка системы нейтрализации отработавших газов двигателя внутреннего сгорания.

По эксплуатации и диагностике:

разработка системы диагностики неисправностей поршневого двигателя с использованием OBD-II;

проектирование технологии восстановления коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания;

разработка мероприятий по снижению вибрации и шума поршневого двигателя;

разработка системы технического обслуживания и ремонта газотурбинного двигателя.

8. Методические рекомендации по выполнению сквозного проекта

Для обучающегося:

Начинайте работу над сквозным проектом с 1 семестра: ознакомьтесь с примерной тематикой, выберите область интересов. В начале 2 семестра согласуйте с руководителем тему сквозного проекта. Внимательно изучите индивидуальное задание на каждый этап, уточните непонятные моменты у руководителя. Соблюдайте календарный план выполнения работ – своевременное выполнение этапов является залогом успешного завершения проекта. Регулярно (не реже 1 раза в 2 недели) консультируйтесь с руководителем, показывайте промежуточные результаты. Ведите

рабочий дневник, фиксируйте выполненные работы, возникшие трудности и способы их преодоления. При выполнении этапов 3 и 4 активно используйте возможности рассредоточенных практик на предприятиях-партнёрах. На предзащите внимательно выслушайте замечания членов комиссии и учтите их при доработке материалов. При оформлении отчётов строго соблюдайте требования ЕСКД и ЕСТД.

Для руководителя:

Обеспечьте преемственность между этапами сквозного проекта, контролируйте соответствие содержания каждого этапа утверждённому техническому заданию. Проводите регулярные консультации (не реже 1 раза в 2 недели) в течение всего периода выполнения проекта. Своевременно проверяйте промежуточные результаты, давайте аргументированные замечания и рекомендации. Координируйте работу обучающегося с кураторами от предприятий-партнёров при прохождении производственных практик. Контролируйте соблюдение календарного плана выполнения работ. При систематических нарушениях информируйте заведующего кафедрой. По завершении каждого этапа оценивайте выполненную работу, фиксируйте оценку в соответствующей ведомости. Оказывайте помощь в подготовке к предзащите и защите выпускной квалификационной работы, проводите репетиции доклада.

9. Связь сквозного проекта с выпускной квалификационной работой

Сквозной проект является основой для подготовки выпускной квалификационной работы. Результаты всех пяти этапов сквозного проекта интегрируются в выпускную квалификационную работу следующим образом.

Результаты этапа 1 (анализ и техническое предложение) используются при написании главы 1 «Аналитическая часть и техническое задание».

Результаты этапа 2 (CAD. Освоение) используются при написании главы 2 «Конструкторская часть» (разделы, посвящённые 3D-моделям и чертежам).

Результаты этапа 3 (CAE. Расчёты) используются при написании главы 3 «Расчётно-исследовательская часть».

Результаты этапа 4 (разработка конструкторской документации) распределяются следующим образом: конструкторская часть (чертежи, спецификации, размерные цепи) включается в главу 2 «Конструкторская часть»; технологическая часть (технологические процессы, карты) включается в главу 4 «Технологическая часть».

Результаты этапа 5 (интеграция и защита выпускной квалификационной работы) включаются в главы 5 и 6 (эксплуатационная и диагностическая части, экономическое обоснование) и в заключение.

Таким образом, обучающийся, успешно выполняющий сквозной проект, к началу 8 семестра имеет практически полностью подготовленную выпускную квалификационную работу, что позволяет сосредоточиться на её оформлении, подготовке презентации и репетиции защиты.

10. Заключение

Сквозной проект является системообразующим элементом образовательной программы «Поршневые двигатели и турбомашины». Он обеспечивает непрерывность и преемственность между дисциплинами и практиками, формирует у обучающегося целостное представление о жизненном цикле энергетической установки – от анализа технического задания до разработки конструкторской и технологической документации, расчётного обоснования, диагностики и экономической оценки.

Выполнение сквозного проекта позволяет выпускнику не только освоить профессиональные компетенции, но и приобрести опыт работы в CAD/CAE/CFD-системах, развить навыки проектной деятельности, научиться оформлять техническую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД и ЕСТД, а также подготовить полноценную выпускную квалификационную работу, готовую к защите.

Приложения

Рекомендуемый перечень приложений к программе сквозного проекта

Приложение 1. Примерный календарный план выполнения сквозного проекта по этапам (График работ)

Зачем это нужно: В основной части (п. 5) указаны общие сроки (2, 3, 5, 6, 7, 8 семестры). В приложении необходимо дать

детальную разбивку по этапам внутри семестра (например, для этапа 2 в 3 семестре: 1–4 недели – освоение интерфейса, 5–8 недели – создание моделей деталей, 9–12 недели – сборка, 13–18 недели – оформление чертежей и сдача отчёта). Это дисциплинирует студентов и помогает руководителю контролировать ход работ.

Приложение 2. Образец индивидуального задания на этап сквозного проекта

Зачем это нужно: В основной части (п. 5) описано содержание задания, но нет унифицированной формы. Необходимо разработать шаблон, который руководитель будет выдавать студенту в начале каждого этапа. Это повышает формализацию процесса.

Приложение 3. Образец рабочего дневника студента по сквозному проекту

Зачем это нужно: В п. 8.1 указано, что студент должен вести дневник. В приложении следует дать форму этого дневника (таблица с датами, видами работ, отметкой руководителя). Это упрощает студенту ведение учёта, а руководителю – контроль.

Приложение 4. Примерный перечень вопросов для защиты этапов сквозного проекта (для собеседования с руководителем)

Зачем это нужно: В п. 6.3 перечислены оценочные средства (аналитический обзор, чертежи, расчёты). Однако в ходе собеседования руководитель задаёт вопросы. Приложение поможет унифицировать эти вопросы, чтобы проверять именно понимание, а не факт наличия файлов. Примеры вопросов: «Почему вы выбрали именно этот прототип?», «Какие сопряжения вы задали в сборке и почему?», «Как вы верифицировали результаты расчёта?», «Какие допуски вы назначили на ответственные поверхности?».

Приложение 5. Методические указания по подготовке презентации для защиты выпускной квалификационной работы (в рамках этапа 5)

Зачем это нужно: В п. 5.6 и п. 8.1 упоминается презентация. В приложении следует дать конкретные рекомендации: структура слайдов (титульный, актуальность, цель и задачи, прототип и ТЗ, 3D-модели и чертежи, результаты расчётов (скриншоты), техно-

логия, диагностика, экономика, выводы), рекомендуемое содержание каждого слайда, требования к шрифтам и визуализации.

Приложение 6. Перечень рекомендуемого программного обеспечения с указанием версий и ссылок на учебные материалы

Зачем это нужно: В п. 8.3 перечислено ПО. В приложении следует уточнить версии (например, КОМПАС-3D v20, SolidWorks 2022 Education Edition) и дать прямые ссылки на официальные учебные порталы и туториалы. Это облегчит студентам самостоятельное освоение.

Приложение 7. Образец титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта

Зачем это нужно: Единый стандарт оформления для всех отчётов (1-4 этапы). Должен отличаться от титульного листа ВКР (например, шапка «Кафедра ...», гриф «К защите на этапе 2» и пр.). Унифицирует документооборот.

1. Цели и задачи сквозного проекта

1.1. Цель сквозного проекта

Целью сквозного проекта является формирование у обучающихся системных компетенций в области проектирования, расчётного обоснования, технологической подготовки производства и эксплуатации поршневых двигателей и турбомашин через выполнение единого комплексного проекта, реализуемого последовательно на протяжении всего периода обучения.

Сквозной проект выступает системообразующим элементом образовательной программы, обеспечивающим интеграцию теоретических знаний и практических навыков, полученных при изучении профильных дисциплин и прохождении рассредоточенных практик. Он позволяет обучающемуся на протяжении всех четырёх лет обучения (1–8 семестры) вести индивидуальную проектную деятельность, результатом которой становится целостная выпускная квалификационная работа, готовая к защите.

1.2. Задачи сквозного проекта

Для достижения поставленной цели в ходе выполнения сквозного проекта решаются следующие задачи.

Первая задача – закрепить и систематизировать теоретические знания, полученные при изучении профильных дисциплин, включая конструкцию поршневых двигателей и турбомашин, теорию рабочих процессов, динамический расчёт, сопротивление материалов, термодинамику, гидрогазодинамику, технологию машиностроения, материаловедение, метрологию, диагностику и эксплуатацию энергетических установок.

Вторая задача – сформировать практические навыки разработки конструкторской документации с использованием современных CAD-систем (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX), включая параметрическое 3D-моделирование деталей, создание сборочных единиц с заданными геометрическими сопряжениями, оформление ассоциативных чертежей и спецификаций в соответ-

ствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Третья задача – развить умение выполнять расчётно-теоретические исследования узлов и систем двигателей с применением CAE-систем (ANSYS Workbench, Simcenter, OpenFOAM), включая прочностной анализ методом конечных элементов, тепловой анализ, газодинамический анализ (CFD), анализ усталостной долговечности, параметрическую и топологическую оптимизацию, а также верификацию расчётных моделей.

Четвёртая задача – приобрести компетенции в области технологической подготовки производства и оценки технологичности конструкций, включая анализ технологичности деталей, обоснование выбора материалов и заготовок, назначение термообработки, разработку маршрутных и операционных технологических процессов механической обработки, разработку технологических процессов сборки, а также оформление технологической документации в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД).

Пятая задача – сформировать навыки диагностики, анализа неисправностей и разработки мероприятий по эксплуатации энергетических установок, включая построение «дерева отказов», разработку алгоритмов пошаговой диагностики, составление технологических карт ремонта, работу с диагностическим оборудованием (OBD-II сканеры, газоанализаторы, течеискатели, виброметры), а также разработку рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту.

Шестая задача – обеспечить интеграцию результатов всех этапов обучения в целостную выпускную квалификационную работу, включая систематизацию материалов аналитического обзора, конструкторской документации, результатов CAE-анализа, технологических решений, эксплуатационно-диагностических мероприятий и экономического обоснования, а также подготовку к публичной защите.

1.3. Результаты выполнения сквозного проекта

В результате выполнения сквозного проекта обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты.

По завершении этапа 1 (анализ и техническое предложение) обучающийся представляет техническое задание на проектирование и эскизную компоновку проектируемого узла.

По завершении этапа 2 (CAD. Освоение) обучающийся представляет комплект 3D-моделей деталей, сборочную единицу и чертежи, оформленные в соответствии с ЕСКД.

По завершении этапа 3 (CAE. Расчёты) обучающийся представляет верифицированные результаты CAE-анализа и рекомендации по оптимизации конструкции.

По завершении этапа 4 (разработка конструкторской документации) обучающийся представляет полный комплект конструкторской документации (чертежи, спецификации) и технологической документации (маршрутные карты, операционные карты).

По завершении этапа 5 (интеграция и защита выпускной квалификационной работы) обучающийся представляет выпускную квалификационную работу, включающую пояснительную записку объёмом 60–80 страниц, графическую часть (6–8 листов формата A1 или эквивалент в презентации) и презентацию для защиты, а также успешно защищает работу перед государственной экзаменационной комиссией.

1.4. Связь с формируемыми компетенциями

Выполнение сквозного проекта направлено на формирование следующих компетенций.

Универсальные компетенции: УК-1 (способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач); УК-2 (способность определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения); УК-3 (способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде); УК-4 (способность осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах); УК-6 (способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития); УК-9 (способность принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности).

Общепрофессиональные компетенции: ОПК-1 (способность понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности); ОПК-2 (способность разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения); ОПК-3 (способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования); ОПК-5 (способность использовать свойства конструкционных материалов в расчётах параметров и режимов); ОПК-6 (способность проводить измерения электрических и неэлектрических величин).

Профессиональные компетенции: ПК-1 (способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на поршневые двигатели, турбомашины и их компоненты с использованием современных CAD-систем); ПК-2 (способность проводить расчётно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)); ПК-3 (способность планировать и проводить экспериментальные исследования (испытания) поршневых двигателей, турбомашин и их компонентов); ПК-4 (способность оценивать технологичность конструкций, разрабатывать и сопровождать технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов); ПК-5 (способность выполнять диагностику, анализировать причины неисправностей и дефектов поршневых двигателей и турбомашин).

2. Место сквозного проекта в образовательной программе

2.1. Роль сквозного проекта в образовательной программе

Сквозной проект является ключевым элементом образовательной программы по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», профиль «Поршневые двигатели и турбомашины», обеспечивающим практико-ориентированное обучение. В отличие от традиционного подхода, при котором курсовые работы и проекты выполняются по отдельным дисциплинам и часто не связаны между собой, сквозной проект представляет собой единое комплексное задание, которое обучающийся выполняет индивидуально на протяжении всех четырёх лет обучения (1–8 семестры). Такой подход позволяет объединить все профильные дисциплины и практики в единую логическую последовательность, обеспечивая преемственность и системность формирования профессиональных компетенций.

Сквозной проект интегрирует знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Конструкция поршневых двигателей», «Конструкция газотурбинных двигателей», «Теория рабочих процессов поршневых двигателей», «Динамический расчёт поршневых двигателей», «Сопротивление материалов», «Термодинамика», «Вычислительная гидрогазодинамика», «Технологическая подготовка производства», «Методы испытаний», «Диагностика и техническая эксплуатация» и многих других. Таким образом, сквозной проект выступает связующим звеном между теоретическим обучением и практической деятельностью, позволяя обучающемуся применить полученные знания для решения реальной инженерной задачи.

2.2. Связь сквозного проекта с рассредоточенными практиками

Сквозной проект тесно связан с рассредоточенными практиками, предусмотренными учебным планом. Каждый этап сквозного проекта закреплён за соответствующей практикой, что обес-

печивает непрерывность проектной деятельности и возможность получения регулярных консультаций от руководителей от университета и от предприятия-партнёра. Такая структура позволяет обучающемуся не отрываться от своего проекта на время практики, а, напротив, использовать практику для его последовательного развития.

Первый этап «Анализ и техническое предложение» выполняется во 2 семестре и закреплён за учебной практикой (проектной) трудоёмкостью 2 зачётные единицы. В рамках этой практики обучающийся погружается в проблематику, изучает существующие конструкции-прототипы, проводит патентный обзор, разрабатывает техническое задание и выполняет эскизную компоновку. Руководитель практики от университета, а при возможности и куратор от предприятия-партнёра, оказывают обучающемуся необходимую консультационную поддержку.

Второй этап «CAD. Освоение» выполняется в 3 семестре и закреплён за учебной практикой (практикой по получению первичных навыков работы с программным обеспечением) трудоёмкостью 3 зачётные единицы. В рамках этой практики обучающийся осваивает современные CAD-системы, создаёт параметрические 3D-модели деталей, формирует сборочную единицу и оформляет ассоциативные чертежи в соответствии с ЕСКД. Занятия проводятся в компьютерных классах университета под руководством преподавателей кафедры.

Третий этап «CAE. Расчёты» выполняется в 5 семестре и закреплён за производственной практикой (научно-исследовательской работой) трудоёмкостью 3 зачётные единицы. В рамках этой практики обучающийся проводит расчётно-теоретические исследования с применением CAE-систем: выполняет прочностной, тепловой и газодинамический анализ, проводит оптимизацию конструкции и верификацию расчётных моделей. При прохождении практики на базе предприятия-партнёра обучающийся работает под руководством куратора от предприятия, что позволяет верифицировать свои расчёты на реальных производственных данных.

Четвёртый этап «Разработка конструкторской документации» выполняется в 6–7 семестрах и закреплён за двумя практиками. В 6 семестре – производственная практика (проектная) трудоёмко-

стью 3 зачётные единицы, в рамках которой обучающийся дорабатывает 3D-модели по результатам CAE-анализа, выпускает рабочие чертежи деталей, оформляет сборочный чертёж и спецификацию, рассчитывает размерные цепи. В 7 семестре – производственная практика (технологическая) трудоёмкостью 3 зачётные единицы, в рамках которой обучающийся анализирует технологичность деталей, обосновывает выбор материалов и заготовок, разрабатывает маршрутные и операционные технологические процессы, а также технологический процесс сборки узла. При прохождении этих практик на предприятии-партнёре обучающийся имеет возможность ознакомиться с реальными конструкторскими и технологическими процессами, корпоративными стандартами и требованиями.

Пятый этап «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» выполняется в 8 семестре и закреплён за производственной практикой (преддипломной) трудоёмкостью 9 зачётных единиц. В рамках этой практики обучающийся систематизирует материалы всех этапов сквозного проекта, выполняет экономическое обоснование, разрабатывает эксплуатационно-диагностическую часть, оформляет пояснительную записку и графическую часть выпускной квалификационной работы, готовит презентацию, проходит предзащиту на кафедре и (или) на предприятии-партнёре, а затем защищает работу перед государственной экзаменационной комиссией.

2.3. Связь сквозного проекта с профильными дисциплинами

Помимо связи с практиками, сквозной проект интегрирует результаты освоения профильных дисциплин. На этапе 1 используются знания, полученные при изучении дисциплин «Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин» и «Прикладное двигателестроение». На этапе 2 – знания и навыки, полученные при изучении дисциплин «Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин» и «Автоматизированное проектирование в двигателестроении». На этапе 3 – знания и навыки, полученные при изучении дисциплин «Сопротивление материалов», «Динамический расчет поршневых двигате-

лей», «Вычислительная гидрогазодинамика», «Конструирование и расчет поршневых двигателей», «Расчет и оптимизация деталей двигателя». На этапе 4 – знания и навыки, полученные при изучении дисциплин «Конструкционные материалы поршневых двигателей и турбомашин», «Нормирование точности и метрология», «Технологическая подготовка производства», «Подготовка производства компонентов энергетических установок». На этапе 5 – знания и навыки, полученные при изучении дисциплин «Диагностика и техническая эксплуатация», «Системы электронного управления», «Системы газобаллонного оборудования», «Экология и токсичность», «Патентное право и интеллектуальная собственность», а также дисциплин экономического блока.

2.4. Завершение сквозного проекта

Сквозной проект завершается подготовкой и защитой выпускной квалификационной работы, которая является итоговым документом, интегрирующим результаты всех этапов проектирования. Выпускная квалификационная работа включает пояснительную записку объёмом 60–80 страниц, графическую часть (6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации) и презентацию для защиты. Успешная защита выпускной квалификационной работы перед государственной экзаменационной комиссией является основанием для присвоения выпускнику квалификации «бакалавр» и выдачи диплома государственного образца о высшем образовании.

Таким образом, место сквозного проекта в образовательной программе можно охарактеризовать как системообразующее: он объединяет теоретическое обучение, практическую подготовку и итоговую аттестацию в единый процесс, обеспечивая формирование у обучающегося целостного представления о профессиональной деятельности в области двигателестроения и энергетического машиностроения.

3. Структура и этапы сквозного проекта

Сквозной проект состоит из пяти логически связанных этапов, каждый из которых завершается формированием конкретного артефакта. Этапы выполняются последовательно в соответствии с семестрами обучения, что обеспечивает постепенное наращивание сложности проектных задач и интеграцию знаний, полученных при изучении профильных дисциплин. Ниже приведено детальное описание каждого этапа.

3.1. Этап 1. Анализ и техническое предложение (2 семестр)

Содержание этапа

На первом этапе обучающийся погружается в проблематику выбранной темы и формирует концептуальную основу всего сквозного проекта. Содержание этапа включает следующие виды работ.

Изучение предметной области, анализ существующих конструкций-прототипов поршневых двигателей и турбомашин. Обучающийся собирает и анализирует информацию об отечественных и зарубежных аналогах проектируемого узла или системы, изучает их устройство, принцип работы, технические характеристики, достоинства и недостатки.

Проведение патентного обзора по теме проекта. Обучающийся осуществляет поиск патентной информации в базах данных Роспатента (ФИПС) и зарубежных патентных ведомств, анализирует известные технические решения, выявляет их преимущества и недостатки, определяет область, в которой предлагаемое решение является новым или усовершенствованным.

Обоснование выбора прототипа для проектирования. На основе проведённого анализа обучающийся обосновывает выбор прототипа, приводя количественные и качественные критерии сравнения. Выбор должен быть аргументированным и соответствовать цели проектирования.

Формулирование цели и задач сквозного проекта. Обучающийся чётко формулирует цель работы (что должно быть достиг-

нуто в результате выполнения проекта) и задачи (конкретные шаги, необходимые для достижения цели). Задачи должны быть измеримыми и соответствовать этапам проектирования.

Разработка технического задания на проектирование. Техническое задание является основным документом, определяющим требования к проектируемому изделию. Оно включает наименование и назначение изделия, технические требования (показатели назначения, требования к надёжности, условиям эксплуатации, массогабаритные характеристики), требования к конструкторской документации, требования к технологичности, требования к безопасности, этапы разработки и сроки.

Выполнение эскизной компоновки проектируемого узла. Обучающийся выполняет эскизную компоновку (предварительный чертёж) проектируемого узла, определяя основные геометрические параметры, взаимное расположение элементов, принципиальную схему работы. Эскизная компоновка может быть выполнена вручную или с использованием CAD-системы.

Результат этапа

Результатом первого этапа являются техническое задание на проектирование и эскизная компоновка проектируемого узла. Эти документы служат исходными данными для всех последующих этапов сквозного проекта.

Связь с практикой

Этап 1 выполняется во 2 семестре и закреплён за учебной практикой (проектной) трудоёмкостью 2 зачётные единицы. В рамках этой практики обучающийся работает под руководством преподавателя кафедры, получает регулярные консультации, а при возможности – консультации от куратора от предприятия-партнёра.

3.2. Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр)

Содержание этапа

На втором этапе обучающийся осваивает современные CAD-системы и создаёт цифровую модель проектируемого узла. Содержание этапа включает следующие виды работ.

Освоение интерфейса и инструментов CAD-системы. Обучающийся изучает интерфейс выбранной CAD-системы (КОМПАС-

3D, SolidWorks, Siemens NX), осваивает основные инструменты создания эскизов, 3D-моделирования, сборки и оформления чертежей.

Создание параметрических 3D-моделей деталей проектируемого узла. На основе технического задания и эскизной компоновки обучающийся создаёт параметрические 3D-модели всех деталей, входящих в проектируемый узел. Модели должны быть параметризованы (размеры заданы через переменные), что позволяет легко вносить изменения на последующих этапах.

Формирование сборочной единицы с заданными геометрическими сопряжениями. Обучающийся собирает из созданных 3D-моделей деталей сборочную единицу, задавая геометрические сопряжения (соосность, совпадение, касание, параллельность и др.). Сборка должна быть работоспособной и не содержать интерференций (пересечений) деталей.

Проверка сборки на интерференции. Обучающийся выполняет проверку сборки на наличие интерференций – пересечений или зазоров между деталями, не предусмотренных конструкцией. При обнаружении интерференций вносятся соответствующие корректировки в модели.

Оформление ассоциативных чертежей в соответствии с ЕСКД. На основе 3D-моделей обучающийся генерирует ассоциативные чертежи (сборочный чертёж, рабочие чертежи деталей). Чертежи оформляются в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД): проставляются размеры, допуски, шероховатость, технические требования, заполняются основные надписи.

Результат этапа

Результатом второго этапа являются комплект 3D-моделей деталей, сборочная единица и чертежи, оформленные в соответствии с ЕСКД.

Связь с практикой

Этап 2 выполняется в 3 семестре и закреплён за учебной практикой (практикой по получению первичных навыков работы с программным обеспечением) трудоёмкостью 3 зачётные единицы. Занятия проводятся в компьютерных классах университета под руководством преподавателей кафедры.

3.3. Этап 3. CAE. Расчёты (5 семестр)

Содержание этапа

На третьем этапе обучающийся проводит расчётно-теоретические исследования с применением CAE-систем. Содержание этапа включает следующие виды работ.

Подготовка расчётной модели (сетка, граничные условия, нагрузки). Обучающийся импортирует 3D-модель из CAD-системы в CAE-среду, упрощает геометрию (удаляет мелкие элементы, не влияющие на расчёт), строит конечно-элементную или конечно-объёмную сетку, контролирует качество сетки. Затем задаёт физические свойства материалов, граничные условия (закрепления, начальные и граничные условия теплообмена) и нагрузки (силы, давления, температуры).

Проведение прочностного анализа (FEA) деталей и узлов. Обучающийся выполняет прочностной расчёт методом конечных элементов, получая поля напряжений, деформаций, коэффициенты запаса прочности. Анализируются наиболее нагруженные зоны, делаются выводы о работоспособности конструкции.

Проведение теплового анализа (при необходимости). Если проектируемый узел работает в условиях высоких температур, обучающийся выполняет тепловой расчёт, получая поля температур, тепловые потоки, оценивая тепловое состояние деталей.

Проведение газодинамического анализа (CFD) (при необходимости). Если проектируемый узел связан с течением газа или жидкости (впускной тракт, выпускной коллектор, камера сгорания, турбина, компрессор), обучающийся выполняет газодинамический расчёт, получая поля давлений, скоростей, линии тока, оценивая гидравлические потери.

Анализ усталостной долговечности. Обучающийся выполняет анализ усталостной долговечности детали при циклическом нагружении с учётом реального спектра нагрузок. Рассчитываются коэффициенты запаса по усталости, оценивается ресурс детали.

Параметрическая и топологическая оптимизация конструкции. Обучающийся проводит параметрическую оптимизацию (изменение геометрических параметров для улучшения характеристик) и (или) топологическую оптимизацию (перераспределе-

ние материала для минимизации массы при сохранении прочности). Сравниваются исходный и оптимизированный варианты.

Верификация расчётных моделей. Обучающийся выполняет верификацию расчётных моделей – сравнение полученных результатов с теоретическими данными, аналитическими расчётами, результатами испытаний или данными из литературных источников. Делается вывод о достоверности полученных результатов.

Результат этапа

Результатом третьего этапа являются верифицированные результаты CAE-анализа и рекомендации по оптимизации конструкции.

Связь с практикой

Этап 3 выполняется в 5 семестре и закреплён за производственной практикой (научно-исследовательской работой) трудоёмкостью 3 зачётные единицы. При прохождении практики на базе предприятия-партнёра обучающийся работает под руководством куратора от предприятия, что позволяет верифицировать свои расчёты на реальных производственных данных.

3.4. Этап 4. Разработка конструкторской документации (6–7 семестры)

Содержание этапа

Четвёртый этап состоит из двух частей: конструкторской (6 семестр) и технологической (7 семестр).

Конструкторская часть (6 семестр):

Доработка 3D-моделей по результатам CAE-анализа. Обучающийся вносит изменения в 3D-модели в соответствии с рекомендациями, полученными в результате CAE-анализа и оптимизации (увеличение радиусов скруглений, добавление рёбер жёсткости, изменение толщины стенок и т.п.).

Выпуск рабочих чертежей оригинальных деталей с простановкой допусков и шероховатости. Обучающийся оформляет рабочие чертежи всех оригинальных деталей, входящих в проектируемый узел. На чертежах проставляются размеры, поля допусков, посадки, шероховатость, допуски формы и расположения поверхностей, технические требования.

Оформление сборочного чертежа узла с разрезами и спецификацией. Обучающийся оформляет сборочный чертёж проектируемого узла с необходимыми разрезами и сечениями, а также спецификацию на сборочную единицу.

Формирование электронного архива конструкторской документации. Обучающийся формирует электронный архив конструкторской документации, включающий все 3D-модели и чертежи. Архив должен иметь чёткую структуру, позволяющую легко идентифицировать каждый документ.

Расчёт размерных цепей. Обучающийся выявляет размерные цепи в проектируемом узле, выполняет расчёт размерных цепей методом полной взаимозаменяемости или вероятностным методом, оценивает обеспечиваемую точность сборки. При необходимости корректируются допуски.

Технологическая часть (7 семестр):

Анализ технологичности деталей. Обучающийся проводит анализ технологичности деталей, входящих в проектируемый узел. Выявляются сложные для изготовления элементы, даются рекомендации по изменению конструкции для повышения технологичности.

Обоснование выбора материала, метода получения заготовки, термообработки. Обучающийся обосновывает выбор материала для деталей с учётом условий работы, технологии изготовления и стоимости. Определяется метод получения заготовки (литьё, штамповка, прокат и др.). Назначаются вид и параметры термообработки.

Разработка маршрутного технологического процесса изготовления детали. Обучающийся разрабатывает маршрутный технологический процесс изготовления детали, определяя последовательность операций, выбирая оборудование, оснастку, средства контроля.

Разработка операционной карты на одну операцию механической обработки. Обучающийся составляет операционную карту на одну операцию механической обработки. Карта включает эскиз наладки, режимы резания (скорость, подача, глубина резания), расчёт норм времени.

Разработка технологического процесса сборки узла. Обучающийся разрабатывает технологический процесс сборки проек-

тируемого узла, определяя последовательность сборки, методы обеспечения точности, средства контроля.

Результат этапа

Результатом четвёртого этапа являются полный комплект конструкторской документации (чертежи, спецификации) и технологическая документация (маршрутные карты, операционные карты).

Связь с практикой

Этап 4 выполняется в 6–7 семестрах и закреплён за двумя практиками: в 6 семестре – производственная практика (проектная) трудоёмкостью 3 зачётные единицы; в 7 семестре – производственная практика (технологическая) трудоёмкостью 3 зачётные единицы. При прохождении этих практик на предприятии-партнёре обучающийся имеет возможность ознакомиться с реальными конструкторскими и технологическими процессами, корпоративными стандартами и требованиями.

3.5. Этап 5. Интеграция и защита выпускной квалификационной работы (8 семестр)

Содержание этапа

На пятом, заключительном этапе обучающийся интегрирует все полученные результаты в целостную выпускную квалификационную работу и защищает её. Содержание этапа включает следующие виды работ.

Систематизация материалов всех этапов сквозного проекта. Обучающийся собирает, систематизирует и анализирует материалы, полученные на этапах 1–4: техническое задание, 3D-модели, чертежи, результаты CAE-анализа, технологические карты.

Выполнение экономического обоснования проектных решений. Обучающийся выполняет технико-экономическое обоснование принятых проектных решений, рассчитывает затраты на разработку и (или) изготовление, оценивает экономическую эффективность внедрения.

Разработка эксплуатационно-диагностической части. Обучающийся разрабатывает раздел, посвящённый эксплуатации и диагностике проектируемого узла или системы: анализирует типовые неисправности, строит «дерево отказов», разрабатывает ал-

горитмы диагностики, составляет технологические карты ремонта, даёт рекомендации по эксплуатации и обслуживанию.

Подготовка пояснительной записки выпускной квалификационной работы. Обучающийся оформляет пояснительную записку ВКР в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета. Пояснительная записка включает введение, аналитическую главу, конструкторскую главу, расчётно-исследовательскую главу, технологическую главу, эксплуатационно-диагностическую главу, экономическую главу, заключение, список литературы и приложения.

Оформление графической части выпускной квалификационной работы. Обучающийся оформляет графическую часть ВКР: 6–8 листов формата А1 (сборочный чертёж, рабочие чертежи деталей, результаты CAE-анализа, технологические схемы) или эквивалент в презентации.

Подготовка презентации. Обучающийся готовит презентацию для защиты ВКР (12–16 слайдов), наглядно отражающую актуальность работы, цель и задачи, основные результаты по каждому этапу сквозного проекта, выводы и рекомендации.

Предзащита на кафедре и (или) на предприятии-партнёре. Обучающийся проходит предварительную защиту на кафедре «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики». При возможности и наличии договорённостей с предприятиями-партнёрами предзащита может проводиться на базе предприятия с участием куратора от предприятия.

Защита выпускной квалификационной работы в государственной экзаменационной комиссии. Обучающийся защищает ВКР перед государственной экзаменационной комиссией. Защита включает доклад (до 10 минут), демонстрацию презентации, ответы на вопросы членов комиссии.

Результат этапа

Результатом пятого этапа являются выпускная квалификационная работа (пояснительная записка, графическая часть, презентация), допуск к защите и успешная защита.

Связь с практикой

Этап 5 выполняется в 8 семестре и закреплён за производственной практикой (преддипломной) трудоёмкостью 9 зачётных единиц. В рамках этой практики обучающийся работает под ру-

ководством руководителя ВКР и, при возможности, куратора от предприятия-партнёра. Завершается этап защитой ВКР перед государственной экзаменационной комиссией.

3.6. Обобщённая схема этапов сквозного проекта

Для наглядности ниже приведено обобщённое описание этапов сквозного проекта с указанием семестра выполнения, содержания, результата и связываемой практики.

Этап 1 «Анализ и техническое предложение» выполняется во 2 семестре. Содержание этапа включает изучение предметной области, анализ прототипов, патентный обзор, обоснование выбора прототипа, формулирование цели и задач, разработку технического задания, выполнение эскизной компоновки. Результатом этапа являются техническое задание и эскизная компоновка. Этап закреплён за учебной практикой (проектной).

Этап 2 «CAD. Освоение» выполняется в 3 семестре. Содержание этапа включает освоение CAD-системы, создание параметрических 3D-моделей деталей, формирование сборочной единицы, проверку интерференций, оформление ассоциативных чертежей. Результатом этапа являются комплект 3D-моделей, сборочная единица и чертежи. Этап закреплён за учебной практикой (работа с ПО).

Этап 3 «CAE. Расчёты» выполняется в 5 семестре. Содержание этапа включает подготовку расчётной модели, проведение прочностного, теплового и газодинамического анализа, анализ усталостной долговечности, оптимизацию, верификацию. Результатом этапа являются верифицированные результаты CAE-анализа и рекомендации по оптимизации. Этап закреплён за производственной практикой (научно-исследовательской работой).

Этап 4 «Разработка конструкторской документации» выполняется в 6–7 семестрах. Содержание этапа в 6 семестре включает доработку 3D-моделей, выпуск рабочих чертежей, оформление сборочного чертежа и спецификации, формирование электронного архива, расчёт размерных цепей. Содержание этапа в 7 семестре включает анализ технологичности, обоснование выбора материалов и заготовок, разработку маршрутного и операционного процессов, разработку процесса сборки. Результатом этапа яв-

ляются комплект конструкторской документации и технологическая документация. Этап закреплён за производственной практикой (проектной) в 6 семестре и производственной практикой (технологической) в 7 семестре.

Этап 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» выполняется в 8 семестре. Содержание этапа включает систематизацию материалов, экономическое обоснование, разработку эксплуатационно-диагностической части, подготовку пояснительной записки, графической части и презентации, предзащиту, защиту ВКР. Результатом этапа являются выпускная квалификационная работа, допуск к защите и успешная защита. Этап закреплён за производственной практикой (преддипломной)

4. Формируемые компетенции

В результате выполнения сквозного проекта у обучающегося формируются универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, предусмотренные федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и образовательной программой профиля «Поршневые двигатели и турбомашины». Ниже приведено детальное описание каждой компетенции с указанием индикаторов достижения и этапов сквозного проекта, в рамках которых они формируются.

4.1. Универсальные компетенции (УК)

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

Данная компетенция формируется на всех этапах сквозного проекта, но преимущественно на этапе 1 (анализ и техническое предложение) и этапе 5 (интеграция и защита ВКР). В процессе выполнения проекта обучающийся учится анализировать задачу, выделяя её базовые составляющие; осуществлять поиск, критически оценивать, обобщать, систематизировать и ранжировать информацию, требуемую для решения поставленной задачи; рассматривать и предлагать рациональные варианты решения, используя системный подход, критически оценивать их достоинства и недостатки.

Индикаторы достижения: ИУК-1.1 (анализирует задачу, выделяя её базовые составляющие); ИУК-1.2 (осуществляет поиск, критически оценивает, обобщает, систематизирует и ранжирует информацию); ИУК-1.3 (рассматривает и предлагает рациональные варианты решения, используя системный подход).

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 на этапах 1 (разработка технического задания) и 4 (разработка конструкторской документации). Обучающийся учится формулировать совокупность задач в рамках поставленной цели проекта, определять связи между поставленными задачами и ожидаемыми результатами, выбирать оптимальные способы планирования и решения задач с учётом действующих правовых норм, имеющихся условий, ресурсов и ограничений.

Индикаторы достижения: ИУК-2.1 (формулирует совокупность задач в рамках поставленной цели проекта); ИУК-2.2 (определяет связи между поставленными задачами, основными компонентами проекта и ожидаемыми результатами); ИУК-2.3 (выбирает оптимальные способы планирования, распределения зон ответственности, решения задач, анализа результатов с учётом действующих правовых норм, имеющихся условий, ресурсов и ограничений).

УК-3. Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде

Данная компетенция формируется на всех этапах сквозного проекта, особенно в процессе взаимодействия с руководителем, консультантами, кураторами от предприятий-партнёров, а также при прохождении рассредоточенных практик. Обучающийся учится определять свою роль в команде, планировать и анализировать последствия личных действий, осуществлять обмен информацией, знаниями и опытом с членами команды, соблюдать установленные нормы и правила социального взаимодействия, нести личную ответственность за свой вклад в результат командной работы.

Индикаторы достижения: ИУК-3.1 (определяет свою роль в команде, исходя из стратегии сотрудничества); ИУК-3.2 (планирует и анализирует последствия личных действий, адекватно оценивает идеи и предложения других участников); ИУК-3.3 (осуществляет обмен информацией, знаниями и опытом с членами команды, соблюдая установленные нормы и правила).

УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)

Данная компетенция формируется на этапе 5 (подготовка и защита ВКР) при оформлении пояснительной записки, подготовке презентации и публичной защите. Обучающийся учится учитывать особенности деловой коммуникации, вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах, выполнять перевод профессиональных текстов (аннотации, ключевых терминов) с иностранного языка.

Индикаторы достижения: ИУК-4.1 (учитывает особенности деловой коммуникации на государственном и иностранном языках); ИУК-4.2 (умеет вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах); ИУК-4.3 (выполняет перевод профессиональных текстов с иностранного языка на государственный и обратно).

УК-6. Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни

Данная компетенция формируется на всех этапах сквозного проекта, так как выполнение проекта требует от обучающегося самоорганизации, соблюдения календарного плана, расстановки приоритетов. Обучающийся учится использовать инструменты и методы управления временем, определять приоритеты собственной деятельности, личностного развития и профессионального роста, демонстрировать готовность к построению профессиональной карьеры.

Индикаторы достижения: ИУК-6.1 (использует инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов); ИУК-6.2 (определяет приоритеты собственной деятельности, личностного развития и профессионального роста); ИУК-6.3 (демонстрирует готовность к построению профессиональной карьеры и определению стратегии профессионального развития).

УК-9. Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности

Данная компетенция формируется на этапе 5 при выполнении экономического обоснования проектных решений. Обучающийся учится понимать базовые принципы функционирования макроэкономики и микроэкономики, применять методы экономического и финансового планирования, использовать адекват-

ные финансовые инструменты управления бюджетом, оптимизировать финансовые риски применительно к проектным решениям в области двигателестроения.

Индикаторы достижения: ИУК-9.1 (понимает базовые принципы функционирования макроэкономики и экономического развития); ИУК-9.2 (представляет основные закономерности функционирования микроэкономики и факторы, обеспечивающие рациональное использование ресурсов); ИУК-9.3 (применяет методы экономического и финансового планирования).

4.2. Общепрофессиональные компетенции (ОПК)

ОПК-1. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

Данная компетенция формируется на этапах 2 (CAD. Освоение) и 3 (CAE. Расчёты), а также при оформлении отчётной документации. Обучающийся учится понимать принципы работы современных информационных технологий, выполнять практические работы по настройке компьютерной техники, владеет навыками работы с прикладным программным обеспечением (CAD-системы, CAE-пакеты, офисные приложения).

Индикаторы достижения: ИОПК-1.1 (знает основы информационных технологий); ИОПК-1.2 (умеет выполнять практические работы по настройке компьютерной техники); ИОПК-1.3 (владеет навыками работы с прикладным программным обеспечением); ИОПК-1.4 (понимает принципы работы современных информационных технологий и может использовать их для решения задач профессиональной деятельности).

ОПК-2. Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения при разработке, проектировании и испытаниях энергетических установок

Данная компетенция формируется на этапе 3 (CAE. Расчёты) при необходимости разработки пользовательских скриптов, макросов или программ для обработки результатов расчётов. Обучающийся учится разрабатывать алгоритмы и создавать компьютерные программы, пригодные для практического применения в

средах Mathcad, MATLAB или встроенных языках программирования CAE-пакетов.

Индикаторы достижения: ИОПК-2.1 (умеет разрабатывать алгоритмы и создавать компьютерные программы, пригодные для практического применения при разработке, проектировании и испытаниях энергетических установок).

ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Данная компетенция формируется на этапе 3 (CAE. Расчёты) и частично на этапе 1 (аналитическая часть). Обучающийся учится применять физико-математический аппарат (дифференциальные уравнения, методы конечных элементов, численные методы) при решении профессиональных задач, использовать методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Индикаторы достижения: ИОПК-3.1 (умеет применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач); ИОПК-3.2 (умеет применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования).

ОПК-5. Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчётах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности

Данная компетенция формируется на этапах 3 (CAE. Расчёты) и 4 (технологическая часть). Обучающийся учится использовать свойства конструкционных материалов (плотность, модуль упругости, предел текучести, предел прочности, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплового расширения) в расчётах параметров и режимов, рассчитывать элементы и параметры энергетических машин с учётом свойств материалов.

Индикаторы достижения: ИОПК-5.1 (умеет использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчётах параметров и режимов); ИОПК-5.1 (умеет рассчитывать элементы и параметры энергетических машин и установок с учётом свойств конструкционных материалов).

ОПК-6. Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности

Данная компетенция формируется на этапе 5 (эксплуатационно-диагностическая часть). Обучающийся учится проводить измерения электрических (напряжение, ток, сопротивление) и неэлектрических (давление, температура, расход, вибрация, шум) величин, выбирать средства измерений, обрабатывать результаты измерений с оценкой погрешности.

Индикаторы достижения: ИОПК-6.1 (умеет проводить измерения электрических и неэлектрических величин при разработке, проектировании и испытаниях энергетических установок).

4.3. Профессиональные компетенции (ПК)

ПК-1. Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на поршневые двигатели, турбомашины и их компоненты с использованием современных CAD-систем

Данная компетенция формируется на этапах 2 (CAD. Освоение) и 4 (конструкторская часть). Обучающийся учится создавать параметрические 3D-модели деталей со всеми конструктивными элементами, формировать сборочные единицы с заданными геометрическими сопряжениями, генерировать ассоциативные чертежи по стандартам ЕСКД, оформлять сборочные чертежи и спецификации, выпускать рабочие чертежи с полем допусков и шероховатостью, формировать электронный архив КД, назначать обоснованные поля допусков и посадки, проставлять допуски формы и расположения поверхностей, рассчитывать размерные цепи.

Индикаторы достижения: ИПК-1.1 – ИПК-1.9 (полный перечень индикаторов приведён в образовательной программе).

ПК-2. Способен проводить расчётно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)

Данная компетенция формируется на этапе 3 (CAE. Расчёты). Обучающийся учится проводить комбинированный термомеха-

нический анализ деталей, работающих в условиях высоких температур и механических нагрузок; выполнять анализ усталостной долговечности; осуществлять параметрическую и топологическую оптимизацию; строить расчётные сетки; получать распределения давления и скорости потока; верифицировать CFD-модели; выполнять прочностные расчёты ответственных деталей; проводить расчёт и анализ теплового состояния; рассчитывать контактные давления и зазоры в узлах трения.

Индикаторы достижения: ИПК-2.1 – ИПК-2.9 (полный перечень индикаторов приведён в образовательной программе).

ПК-3. Способен планировать и проводить экспериментальные исследования (испытания) поршневых двигателей, турбомашин и их компонентов, обрабатывать и анализировать полученные данные, формулировать выводы и технические рекомендации

Данная компетенция формируется на этапе 5 (эксплуатационно-диагностическая часть) и частично на этапе 3 (при верификации расчётных моделей). Обучающийся учится разрабатывать программы и методики стендовых испытаний, подбирать средства измерений, обрабатывать статистические данные, проводить испытания на беговых барабанах, обрабатывать данные газоанализатора, планировать сравнительные эксперименты, разрабатывать планы виброакустических испытаний, обрабатывать данные с акселерометров и микрофонов, сравнивать результаты с нормативами.

Индикаторы достижения: ИПК-3.1 – ИПК-3.9 (полный перечень индикаторов приведён в образовательной программе).

ПК-4. Способен оценивать технологичность конструкций, разрабатывать и сопровождать технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов поршневых двигателей и турбомашин

Данная компетенция формируется на этапе 4 (технологическая часть). Обучающийся учится проводить анализ технологичности деталей, разрабатывать маршрутные и операционные технологические процессы, обосновывать выбор материалов, определять параметры термообработки, оценивать влияние материала на выбор метода получения заготовки, вносить изменения в конструкцию для повышения технологичности, выбирать рацио-

нальные конструктивные формы, разрабатывать технологические процессы сборки.

Индикаторы достижения: ИПК-4.1 – ИПК-4.9 (полный перечень индикаторов приведён в образовательной программе).

ПК-5. Способен выполнять диагностику, анализировать причины неисправностей и дефектов поршневых двигателей и турбомашин в процессе их эксплуатации и испытаний, разрабатывать мероприятия по их устранению

Данная компетенция формируется на этапе 5 (эксплуатационно-диагностическая часть). Обучающийся учится строить «дерево отказов», разрабатывать алгоритмы пошаговой диагностики, составлять технологические карты ремонта, расшифровывать коды неисправностей OBD-II, анализировать параметры двигателя в реальном времени, определять неисправные элементы систем управления, проводить диагностику герметичности газовой магистрали, выполнять регулировку газового редуктора, разрабатывать рекомендации по обслуживанию элементов газобаллонного оборудования.

Индикаторы достижения: ИПК-5.1 – ИПК-5.9 (полный перечень индикаторов приведён в образовательной программе).

4.4. Сводные данные по формированию компетенций

Для наглядности ниже приведено обобщённое описание распределения компетенций по этапам сквозного проекта.

На этапе 1 «Анализ и техническое предложение» преимущественно формируются универсальные компетенции УК-1, УК-2, а также общепрофессиональная компетенция ОПК-3.

На этапе 2 «CAD. Освоение» преимущественно формируются профессиональная компетенция ПК-1, а также общепрофессиональные компетенции ОПК-1 и ОПК-2.

На этапе 3 «CAE. Расчёты» преимущественно формируются профессиональная компетенция ПК-2, а также общепрофессиональные компетенции ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3 и ОПК-5.

На этапе 4 «Разработка конструкторской документации» (конструкторская часть) формируются профессиональная компетенция ПК-1 и универсальная компетенция УК-2; (технологиче-

ская часть) формируются профессиональная компетенция ПК-4 и общепрофессиональная компетенция ОПК-5.

На этапе 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» формируются универсальные компетенции УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-6, УК-9; общепрофессиональные компетенции ОПК-6; профессиональные компетенции ПК-3 и ПК-5.

Таким образом, сквозной проект обеспечивает формирование полного спектра компетенций, необходимых выпускнику для успешной профессиональной деятельности в области проектирования, расчёта, технологической подготовки производства, испытаний, диагностики и эксплуатации поршневых двигателей и турбомашин.

5. Требования к отчёту по каждому этапу

5.1. Общие требования к оформлению отчётов по этапам

Отчёт по каждому этапу сквозного проекта оформляется в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и локальными нормативными актами Московского политехнического университета. Текст отчёта печатается на листах белой бумаги формата А4 (297×210 мм) с одной стороны листа. Поля страницы должны иметь следующие размеры: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Шрифт – Times New Roman, 14 кегль, полуторный межстрочный интервал. Основной цвет шрифта – чёрный. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и составлять 1,25 см.

Нумерация страниц – сквозная, начиная с титульного листа (номер на титульном листе не проставляется). Номера страниц размещаются в правом верхнем углу без дополнительных знаков. Каждый раздел отчёта (введение, главы, заключение, список литературы, приложения) начинается с новой страницы. Заголовки разделов выделяются полужирным шрифтом и располагаются по центру строки. Заголовки подразделов выделяются полужирным шрифтом и располагаются с абзацного отступа.

Иллюстрации (рисунки, схемы, скриншоты 3D-моделей и результатов расчётов) нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией (рисунок 1, рисунок 2 и т.д.) или в пределах раздела (рисунок 1.1, рисунок 1.2). Каждая иллюстрация должна иметь подпись, расположенную под иллюстрацией по центру. На все иллюстрации в тексте должны быть даны ссылки. Таблицы нумеруются аналогично иллюстрациям. Каждая таблица должна иметь заголовок, расположенный над таблицей слева. На все таблицы в тексте должны быть даны ссылки.

Ссылки на использованные источники оформляются в квадратных скобках с указанием номера источника в списке литературы и, при необходимости, номера страницы (например, [15, с. 44]). Заимствования текста без ссылки на источник не допускаются.

Объём отчёта по этапам 1–4 составляет 15–25 страниц машинописного текста (без учёта приложений). Отчёт по этапу 5 (выпускная квалификационная работа) – 60–80 страниц (без учёта приложений). Приложения в указанный объём не включаются.

5.2. Содержание отчёта по этапу 1 (Анализ и техническое предложение)

Отчёт по этапу 1 включает следующие структурные элементы.

Титульный лист оформляется в соответствии с установленным образцом и содержит наименование университета, факультета, кафедры, направление подготовки, профиль, тему сквозного проекта, сведения об обучающемся и руководителе, город и год выполнения.

Индивидуальное задание на этап содержит перечень работ, подлежащих выполнению на данном этапе, сроки выполнения, требования к результатам.

Введение содержит указание цели и задач этапа 1, краткое обоснование актуальности выбранной темы, описание объекта проектирования.

Аналитический обзор существующих конструкций-прототипов включает описание и анализ не менее 10–15 источников (научно-техническая литература, статьи, обзоры). В обзоре рассматриваются отечественные и зарубежные конструкции-прототипы поршневых двигателей или турбомашин, аналогичные объекту проектирования. Анализ включает описание устройства, принципа работы, технических характеристик, достоинств и недостатков. Приводятся схемы, иллюстрации, сравнительные таблицы.

Патентный обзор включает анализ не менее 5–7 патентных документов (патенты РФ, зарубежные патенты, патентные заявки). Проводится анализ известных технических решений, их преимуществ и недостатков. Определяется область, в которой предлагаемое решение является новым или усовершенствованным.

Обоснование выбора прототипа содержит аргументированное обоснование выбора прототипа для проектирования на основе проведённого анализа. Приводятся критерии сравнения, коли-

чественные и качественные показатели, на основании которых сделан выбор.

Техническое задание на проектирование является основным документом этапа. Техническое задание включает: наименование и назначение изделия; технические требования (показатели назначения, требования к надёжности, условиям эксплуатации, массогабаритные характеристики); требования к конструкторской документации; требования к технологичности; требования к безопасности; этапы разработки и сроки.

Эскизная компоновка проектируемого узла представляет собой предварительный чертёж (выполненный вручную или с использованием CAD-системы), определяющий основные геометрические параметры, взаимное расположение элементов, принципиальную схему работы проектируемого узла.

Заключение содержит краткие выводы по результатам выполнения этапа 1, оценку достижения поставленных цели и задач.

Список использованных источников включает все источники, на которые имеются ссылки в тексте отчёта. Список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1 и ГОСТ 7.82.

5.3. Содержание отчёта по этапу 2 (CAD. Освоение)

Отчёт по этапу 2 включает следующие структурные элементы.

Титульный лист оформляется аналогично этапу 1.

Индивидуальное задание на этап содержит перечень работ, подлежащих выполнению на данном этапе, включая перечень деталей, подлежащих 3D-моделированию, требования к параметризации и оформлению чертежей.

Введение содержит указание цели и задач этапа 2, описание исходных данных (техническое задание, полученное на этапе 1).

Описание CAD-системы и методов моделирования включает обоснование выбора CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX), описание основных принципов параметрического моделирования, используемых в работе.

Описание созданных 3D-моделей деталей 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.

Описание сборочной единицы содержит описание процесса создания сборочной единицы из разработанных 3D-моделей деталей. Описываются заданные геометрические сопряжения (соосность, совпадение, касание и др.). Приводится анализ сборки на интерференции (пересечения деталей). Описание сопровождается скриншотами сборки в сборе и в разрезе.

Описание оформленных чертежей содержит перечень и описание оформленных чертежей: сборочный чертёж (формат А1), спецификация, рабочие чертежи деталей (форматы А3–А4). Описывается соответствие оформления чертежей требованиям ЕСКД. Приводятся примеры оформленных чертежей в уменьшенном масштабе.

Заключение содержит краткие выводы по результатам выполнения этапа 2, оценку достижения поставленных цели и задач, соответствие созданных моделей и чертежей техническому заданию.

Приложение содержит скриншоты 3D-моделей деталей, сборочной единицы и чертежей в уменьшенном масштабе (для удобства размещения в отчёте).

5.4. Содержание отчёта по этапу 3 (CAE. Расчёты)

Отчёт по этапу 3 включает следующие структурные элементы.

Титульный лист оформляется аналогично этапу 1.

Индивидуальное задание на этап содержит перечень расчётов, подлежащих выполнению (прочностной анализ, тепловой анализ, газодинамический анализ, анализ усталостной долговечности, оптимизация), требования к верификации.

Введение содержит указание цели и задач этапа 3, описание исходных данных (3D-модели, полученные на этапе 2, техническое задание).

Описание CAE-системы и методов расчёта включает обоснование выбора CAE-системы (ANSYS Workbench, Simcenter, OpenFOAM и др.), описание методов конечно-элементного ана-

лиза или вычислительной гидрогазодинамики, применяемых в работе.

Описание расчётной модели содержит описание процесса подготовки геометрии к расчёту (импорт из CAD-системы, упрощение, устранение мелких элементов). Описывается построение конечно-элементной или конечно-объёмной сетки: тип элементов, размер, контроль качества сетки. Описываются физические свойства материалов, заданные граничные условия (закрепления, начальные и граничные условия теплообмена), нагрузки (силы, давления, температуры). Приводятся расчётные схемы, таблицы параметров. Описание сопровождается скриншотами сетки и схем нагружения.

Результаты прочностного анализа (FEA) содержат результаты прочностного расчёта: поля напряжений (эквивалентные напряжения по Мизесу), поля деформаций, коэффициенты запаса прочности. Проводится анализ наиболее нагруженных зон. Приводятся цветовые карты, графики, таблицы. Описание сопровождается скриншотами результатов.

Результаты теплового анализа (при наличии) содержат результаты теплового расчёта: поля температур, тепловые потоки. Проводится анализ теплового состояния детали или узла. Приводятся цветовые карты, графики распределения температур.

Результаты газодинамического анализа (CFD) (при наличии) содержат результаты газодинамического расчёта: поля давлений, поля скоростей, линии тока, гидравлические потери. Проводится анализ особенностей течения рабочего тела. Приводятся цветовые карты, векторные поля, графики.

Анализ усталостной долговечности (при наличии) содержит результаты анализа усталостной долговечности детали при циклическом нагружении с учётом реального спектра нагрузок. Приводятся кривые усталости, коэффициенты запаса по усталости, результаты расчёта ресурса.

Оптимизация конструкции (при наличии) содержит описание проведённых оптимизационных расчётов: параметрическая оптимизация (изменение геометрических параметров для улучшения характеристик) и (или) топологическая оптимизация (перераспределение материала для минимизации массы при сохране-

нии прочности). Приводятся результаты оптимизации, сравнение исходного и оптимизированного вариантов.

Верификация расчётных моделей содержит описание верификации расчётных моделей – сравнение полученных результатов с теоретическими данными, аналитическими расчётами, результатами испытаний или данными из литературных источников. Делается вывод о достоверности полученных результатов.

Заключение содержит краткие выводы по результатам выполнения этапа 3, оценку достижения поставленных цели и задач, основные рекомендации по оптимизации конструкции.

Приложение содержит скриншоты результатов расчёта (поля напряжений, температур, давлений, скоростей, графики) в увеличенном формате.

5.5. Содержание отчёта по этапу 4 (Разработка конструкторской документации)

Отчёт по этапу 4 включает следующие структурные элементы.

Титульный лист оформляется аналогично этапу 1.

Индивидуальное задание на этап содержит перечень работ, подлежащих выполнению на данном этапе, включая требования к доработке 3D-моделей, оформлению чертежей, разработке технологических процессов.

Введение содержит указание цели и задач этапа 4, описание исходных данных (результаты CAE-анализа, полученные на этапе 3, техническое задание).

Конструкторская часть:

Описание доработки 3D-моделей по результатам CAE-анализа содержит описание внесённых изменений в 3D-модели в соответствии с рекомендациями, полученными в результате CAE-анализа и оптимизации (увеличение радиусов скруглений, добавление рёбер жёсткости, изменение толщины стенок и т.п.). Приводятся скриншоты доработанных моделей.

Рабочие чертежи деталей представляют собой комплект рабочих чертежей всех оригинальных деталей, входящих в проектируемый узел. На чертежах проставлены размеры, поля допусков, посадки, шероховатость, допуски формы и расположения

поверхностей, технические требования. Чертежи приводятся в отчёте в уменьшенном масштабе (полный комплект чертежей выносится в приложение).

Сборочный чертёж и спецификация представляют собой сборочный чертёж проектируемого узла с необходимыми разрезами и сечениями, а также спецификацию на сборочную единицу. Чертежи приводятся в отчёте в уменьшенном масштабе (полный комплект чертежей выносится в приложение).

Расчёт размерных цепей содержит выявленные размерные цепи в проектируемом узле, расчёт размерных цепей методом полной взаимозаменяемости или вероятностным методом, оценку обеспечиваемой точности сборки. При необходимости корректируются допуски. Приводятся схемы размерных цепей, уравнения расчёта, результаты расчёта.

Технологическая часть:

Анализ технологичности деталей содержит анализ технологичности деталей, входящих в проектируемый узел. Выявляются сложные для изготовления элементы, даются рекомендации по изменению конструкции для повышения технологичности.

Обоснование выбора материала, заготовки и термообработки содержит обоснование выбора материала для деталей с учётом условий работы, технологии изготовления и стоимости. Определяется метод получения заготовки (литьё, штамповка, прокат и др.). Назначаются вид и параметры термообработки для достижения заданных свойств.

Маршрутный технологический процесс содержит разработанный маршрутный технологический процесс изготовления детали с определением последовательности операций, выбором оборудования, оснастки, средств контроля. Маршрутная карта оформляется в соответствии с требованиями ЕСТД.

Операционная карта на одну операцию механической обработки содержит операционную карту на одну операцию механической обработки (например, токарную, фрезерную, шлифовальную). Карта включает эскиз наладки, режимы резания (скорость, подача, глубина резания), расчёт норм времени. Операционная карта оформляется в соответствии с требованиями ЕСТД.

Технологический процесс сборки содержит разработанный технологический процесс сборки проектируемого узла с опреде-

лением последовательности сборки, методов обеспечения точности, средств контроля. Приводится схема сборки.

Заключение содержит краткие выводы по результатам выполнения этапа 4, оценку достижения поставленных цели и задач, соответствие разработанной документации техническому заданию.

Приложение содержит полный комплект чертежей в уменьшенном масштабе (сборочный чертёж, рабочие чертежи деталей, спецификация) и технологические карты (маршрутные, операционные).

5.6. Содержание отчёта по этапу 5 (Выпускная квалификационная работа)

Структура выпускной квалификационной работы детально описана в Приложении 3 к рабочей программе государственной итоговой аттестации. Ниже приведено краткое описание.

Выпускная квалификационная работа включает следующие структурные элементы.

Титульный лист оформляется в соответствии с установленным образцом.

Задание на выпускную квалификационную работу содержит тему работы, исходные данные, перечень подлежащих разработке вопросов, календарный план.

Аннотация содержит краткую характеристику работы: объём, количество рисунков, таблиц, источников; перечень ключевых слов; объект исследования; цель работы; краткое содержание работы по разделам; основные результаты.

Содержание включает наименования всех разделов, подразделов и приложений с указанием номеров страниц.

Введение содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач, описание объекта и предмета исследования, методы исследования, краткую характеристику структуры работы.

Аналитическая глава содержит обзор существующих конструкций-прототипов, патентный обзор, обоснование выбора прототипа, техническое задание на проектирование.

Конструкторская глава содержит описание 3D-моделей деталей, сборочной единицы, чертежей, спецификаций, расчёт размерных цепей.

Расчётно-исследовательская глава содержит описание расчётной модели, результаты прочностного, теплового и газодинамического анализа, анализ усталостной долговечности, оптимизацию, верификацию.

Технологическая глава содержит анализ технологичности, выбор материалов и заготовок, маршрутный и операционный технологические процессы, процесс сборки.

Эксплуатационно-диагностическая глава содержит анализ типовых неисправностей, «дерево отказов», алгоритмы диагностики, технологические карты ремонта, рекомендации по эксплуатации и обслуживанию.

Экономическая глава содержит технико-экономическое обоснование, расчёт экономической эффективности, вопросы сертификации.

Заключение содержит краткие выводы по результатам работы, оценку достижения цели и задач, практическую значимость результатов.

Список литературы содержит все источники, на которые имеются ссылки в тексте работы (не менее 30–40 наименований).

Приложения содержат вспомогательный материал: копии чертежей формата А1 в уменьшенном масштабе, распечатки 3D-моделей, подробные расчётные таблицы, акты внедрения (при наличии).

Графическая часть выпускной квалификационной работы составляет 6–8 листов формата А1 (сборочный чертёж, рабочие чертежи деталей, результаты CAE-анализа, технологические схемы, схемы диагностики) или эквивалент в презентации (12–16 слайдов). Допускается замена части чертежей (до 50 процентов объёма) презентационными слайдами высокого качества.

Презентация для защиты выполняется в программной среде PowerPoint (или совместимой) и содержит 12–16 слайдов, наглядно отражающих актуальность работы, цель и задачи, основные результаты по каждому этапу сквозного проекта, выводы и рекомендации. В презентацию обязательно включаются: 3D-модели проектируемых узлов и деталей, результаты CAE-анализа

(поля напряжений, температур, давлений, скоростей), чертежи, технологические схемы, результаты экономического обоснования.

6. Фонд оценочных средств

6.1. Общие положения

Оценка выполнения сквозного проекта осуществляется поэтапно. Каждый этап оценивается в рамках соответствующей практики, закреплённой за данным этапом. Формой промежуточной аттестации по каждому этапу (практике) является дифференцированный зачёт. Итоговая оценка по сквозному проекту выставляется по результатам защиты выпускной квалификационной работы в рамках государственной итоговой аттестации (блок Б3).

Оценочные средства для каждого этапа разработаны таким образом, чтобы обеспечить объективную оценку степени сформированности компетенций, предусмотренных разделом 4 настоящей программы. При оценке учитываются полнота и качество выполнения задания, соответствие результатов техническому заданию, соблюдение требований к оформлению отчётной документации, а также уровень владения материалом, демонстрируемый обучающимся при защите результатов этапа.

6.2. Критерии оценки этапов сквозного проекта

Для оценки выполнения каждого этапа сквозного проекта используется четырёхбалльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Критерии оценки приведены ниже.

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено в полном объёме, в установленный срок; отчёт оформлен в полном соответствии с требованиями ЕСКД, ЕСТД и локальными нормативными актами университета; результаты этапа полностью соответствуют техническому заданию и не имеют замечаний; обучающийся демонстрирует глубокое понимание материала, свободно ориентируется в содержании выполненной работы, аргументированно отвечает на все вопросы, проявляет инициативу и самостоятельность.

Оценка «хорошо» выставляется, если задание выполнено в полном объёме, в установленный срок; отчёт оформлен в соот-

ветствии с требованиями, но имеются незначительные замечания (отдельные ошибки в оформлении, неполнота отдельных разделов); результаты этапа соответствуют техническому заданию, но имеются незначительные отклонения; обучающийся демонстрирует уверенное владение материалом, отвечает на вопросы, но допускает незначительные неточности.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если задание выполнено в основном, но с нарушениями сроков или с отклонениями от требований; отчёт оформлен с существенными нарушениями требований; результаты этапа частично соответствуют техническому заданию, имеются существенные замечания по содержанию; обучающийся демонстрирует удовлетворительное владение материалом, испытывает затруднения при ответах на вопросы, требует наводящих вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено или выполнено с грубыми нарушениями; отчёт отсутствует или не соответствует элементарным требованиям; результаты этапа не соответствуют техническому заданию; обучающийся не владеет материалом, не отвечает на вопросы или ответы неверные.

6.3. Оценочные средства по этапам

Оценочные средства для этапа 1 (Анализ и техническое предложение)

Основными оценочными средствами для этапа 1 являются аналитический обзор, техническое задание на проектирование и эскизная компоновка проектируемого узла.

Аналитический обзор должен содержать анализ не менее 10–15 источников, включая научно-техническую литературу и патентные материалы. Оцениваются глубина анализа, полнота охвата источников, обоснованность выводов.

Техническое задание должно включать наименование и назначение изделия, технические требования, требования к конструкторской документации, требования к технологичности, требования к безопасности, этапы разработки. Оцениваются полнота и корректность формулировок, соответствие требованиям ГОСТ.

Эскизная компоновка должна определять основные геометрические параметры и принципиальную схему работы проектируемого узла. Оцениваются техническая грамотность решения, степень детализации, соответствие техническому заданию.

Оценочные средства для этапа 2 (CAD. Освоение)

Основными оценочными средствами для этапа 2 являются 3D-модели деталей, сборочная единица, чертежи и спецификация.

3D-модели деталей должны быть параметрическими, содержать все конструктивные элементы. Оцениваются корректность построения, параметризация, соответствие техническому заданию.

Сборочная единица должна быть сформирована из 3D-моделей деталей с заданными геометрическими сопряжениями. Оцениваются корректность сопряжений, отсутствие интерференций, работоспособность сборки.

Чертежи (сборочный чертёж, рабочие чертежи деталей) должны быть оформлены в соответствии с ЕСКД. Оцениваются соответствие ЕСКД, полнота простановки размеров, допусков и шероховатости, качество оформления.

Спецификация должна быть оформлена в соответствии с ЕСКД. Оцениваются правильность заполнения, полнота, соответствие сборочному чертежу.

Оценочные средства для этапа 3 (CAE. Расчёты)

Основными оценочными средствами для этапа 3 являются расчётная модель, результаты CAE-анализа и отчёт с визуализацией.

Расчётная модель включает конечно-элементную или конечно-объёмную сетку, граничные условия, нагрузки. Оцениваются качество сетки, корректность задания граничных условий и нагрузок, обоснованность принятых допущений.

Результаты CAE-анализа включают поля напряжений, деформаций, температур, давлений, скоростей, коэффициенты запаса прочности. Оцениваются достоверность результатов, корректность интерпретации, обоснованность выводов.

Отчёт с визуализацией должен содержать цветовые карты, графики, таблицы, наглядно представляющие результаты расчё-

тов. Оцениваются наглядность, информативность, качество оформления.

При наличии дополнительных элементов (анализ усталостной долговечности, оптимизация, верификация) они оцениваются отдельно как дополнительные оценочные средства, повышающие качество работы.

Оценочные средства для этапа 4 (Разработка конструкторской документации)

Основными оценочными средствами для этапа 4 являются комплект конструкторской документации и технологические карты.

Комплект конструкторской документации включает доработанные 3D-модели, рабочие чертежи деталей, сборочный чертёж, спецификацию, расчёт размерных цепей. Оцениваются соответствие результатам CAE-анализа, полнота, качество оформления, правильность расчёта размерных цепей.

Технологические карты включают маршрутные карты технологического процесса, операционные карты на одну операцию механической обработки, технологический процесс сборки. Оцениваются анализ технологичности, обоснованность выбора материалов, заготовок и термообработки, корректность разработки маршрутного и операционного процессов, соответствие требованиям ЕСТД.

Оценочные средства для этапа 5 (Интеграция и защита выпускной квалификационной работы)

Основными оценочными средствами для этапа 5 являются выпускная квалификационная работа (пояснительная записка, графическая часть, презентация), доклад на защите и ответы на вопросы.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы оценивается по следующим критериям: актуальность и обоснование выбора темы; степень завершённости работы; объём и глубина знаний по теме; достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов; наличие материала, подготовленного к практическому использованию; применение современных технологий (CAD/CAE/CFD); качество оформления (соответствие ЕСКД, ЕСТД, ГОСТ).

Графическая часть (6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации) оценивается по критериям: соответствие содержанию пояснительной записки; качество выполнения чертежей (соблюдение масштабов, типов линий, условных обозначений); наглядность представления результатов CAE-анализа; качество оформления в соответствии с ЕСКД.

Презентация (12–16 слайдов) оценивается по критериям: наглядность, структурированность, соответствие содержанию доклада, качество визуальных материалов (скриншоты 3D-моделей, цветовые карты, графики, чертежи).

Доклад на защите оценивается по критериям: композиция и логика изложения; полнота представления работы; убеждённость автора; культура речи и манера общения; умение использовать наглядные пособия; способность заинтересовать аудиторию; соблюдение регламента (до 10 минут).

Ответы на вопросы оцениваются по критериям: полнота ответов; аргументированность и убеждённость; эрудиция и использование междисциплинарных связей; умение отстаивать свою точку зрения.

6.4. Итоговая оценка по сквозному проекту

Итоговая оценка по сквозному проекту выставляется по результатам защиты выпускной квалификационной работы. При выставлении итоговой оценки государственная экзаменационная комиссия учитывает следующие факторы.

Во-первых, результаты выполнения всех предыдущих этапов сквозного проекта (оценки за этапы 1–4). Если обучающийся получил неудовлетворительную оценку по какому-либо из этапов, он должен пересдать соответствующий этап до допуска к защите выпускной квалификационной работы.

Во-вторых, качество выполненной выпускной квалификационной работы (пояснительной записки, графической части, презентации) в соответствии с критериями, изложенными в разделе 7 рабочей программы государственной итоговой аттестации.

В-третьих, качество доклада и ответов на вопросы в ходе защиты выпускной квалификационной работы.

Итоговая оценка по сквозному проекту определяется оценкой за защиту выпускной квалификационной работы. Оценки «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» означают успешное завершение сквозного проекта. Оценка «неудовлетворительно» означает, что сквозной проект не засчитан, обучающийся не допускается к присвоению квалификации «бакалавр» и отчисляется из университета с правом повторной защиты в установленном порядке.

6.5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по этапам

Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по каждому этапу (практике) включает следующие материалы.

Паспорт фонда оценочных средств, в котором для каждой компетенции, формируемой на данном этапе, указываются планируемые результаты обучения (знать, уметь, владеть), этап контроля и уровни освоения компетенции (базовый и повышенный).

Контрольные задания для оценки результатов обучения, включающие типовые задания для проверки сформированности каждой компетенции.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания, включая описание шкал и критериев оценивания, образцы оформления отчётов, рекомендации по подготовке к защите.

Фонд оценочных средств для каждого этапа является составной частью программы соответствующей практики (учебной практики (проектной), учебной практики (работы с ПО), производственной практики (научно-исследовательской работы), производственной практики (проектной), производственной практики (технологической), производственной практики (преддипломной)). Детальное описание оценочных средств для каждого этапа содержится в разделе 8 «Фонд оценочных средств» соответствующей программы практики.

6.6. Порядок апелляции результатов оценки

Обучающийся имеет право на апелляцию результатов оценки выполнения этапа сквозного 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 апелляционной комиссией, создаваемой приказом декана транспортного факультета. По результатам рассмотрения апелляции комиссия принимает решение об оставлении оценки без изменения либо об изменении оценки. Решение апелляционной комиссии является окончательным и обжалованию не подлежит.

7. Примерные темы сквозного проекта

Ниже приведены примерные темы сквозного проекта, сгруппированные по объектам проектирования. Обучающийся может выбрать тему из утверждённого на кафедре «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики» перечня или предложить собственную тему по согласованию с руководителем. При выборе темы рекомендуется учитывать направление преддипломной практики, интересы обучающегося, а также актуальные задачи предприятий-партнёров.

Темы сформулированы таким образом, чтобы охватывать все этапы сквозного проекта – от анализа прототипов и разработки технического задания до 3D-моделирования, CAE-расчётов, конструкторской и технологической документации, эксплуатационно-диагностической части и экономического обоснования. При необходимости тема может быть уточнена или скорректирована с учётом конкретного объекта проектирования (тип двигателя, назначение, параметры).

7.1. Темы по поршневым двигателям

Проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного механизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания. Данная тема предполагает разработку конструкции кривошипно-шатунного механизма, включая коленчатый вал, шатуны, поршни и поршневые пальцы. Выполняется 3D-моделирование всех деталей, сборка узла, прочностной анализ наиболее нагруженных деталей (шатун, коленчатый вал), разработка рабочих чертежей и технологических процессов изготовления.

Разработка конструкции и технологии изготовления газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Тема включает проектирование газораспределительного механизма (распределительный вал, клапаны, толкатели, коромысла), 3D-моделирование, расчёт кулачкового профиля, анализ контактных напряжений, разработку конструкторской и технологической документации.

Проектирование и CAE-анализ поршневой группы двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает разработку поршневой группы (поршень, поршневые кольца, поршневой палец), термомеханический анализ поршня (поля температур и напряжений), анализ усталостной долговечности, оптимизацию формы поршня, разработку чертежей и технологического процесса изготовления поршня.

Разработка системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с расчётным обоснованием. Тема включает проектирование жидкостной системы охлаждения, расчёт теплового баланса двигателя, расчёт радиатора и водяного насоса, CFD-анализ течения охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения, разработку конструкторской документации на элементы системы охлаждения.

Проектирование и расчёт системы смазки двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает разработку системы смазки (масляный насос, масляный фильтр, масляные каналы), гидравлический расчёт системы, выбор насоса и фильтра, анализ работы масляного насоса, разработку чертежей и технологических процессов изготовления элементов системы смазки.

Разработка системы впуска и выпуска двигателя внутреннего сгорания с CFD-анализом. Тема включает проектирование впускного и выпускного коллекторов, CFD-анализ течения воздуха и отработавших газов, оценку гидравлических потерь, оптимизацию формы коллекторов, разработку конструкторской и технологической документации.

Проектирование и технологическая подготовка производства коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает разработку конструкции коленчатого вала, 3D-моделирование, прочностной анализ (напряжения в галтелях, крутильные колебания), анализ усталостной долговечности, разработку технологии изготовления (ковка или литьё заготовки, механическая обработка, термообработка).

Разработка системы диагностики электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания. Тема включает анализ типовых неисправностей электронных систем управления, разработку алгоритмов диагностики с использованием OBD-II, подбор диагностического оборудования, разработку технологических

карт диагностики и ремонта, экономическое обоснование внедрения системы диагностики.

7.2. Темы по турбомашинам

Проектирование и расчёт осевого компрессора газотурбинного двигателя. Тема предполагает разработку проточной части осевого компрессора, расчёт параметров ступеней, профилирование лопаток, CFD-анализ течения в компрессоре, оценку политропического КПД, разработку конструкторской документации на рабочее колесо и направляющий аппарат.

Разработка конструкции и CAE-анализ рабочего колеса турбины газотурбинного двигателя. Тема включает 3D-моделирование рабочего колеса турбины, прочностной анализ (с учётом центробежных и газодинамических нагрузок), тепловой анализ, анализ усталостной долговечности при циклическом нагружении, оптимизацию геометрии лопаток, разработку чертежей и технологического процесса изготовления.

Проектирование камеры сгорания газотурбинного двигателя с CFD-анализом. Тема предполагает разработку конструкции камеры сгорания, расчёт процессов горения, CFD-анализ течения продуктов сгорания, оценку полноты сгорания и неравномерности температурного поля на выходе, разработку конструкторской документации.

Разработка турбокомпрессора для дизельного двигателя с расчётным обоснованием. Тема включает проектирование турбокомпрессора (турбина и компрессор на одном валу), газодинамический расчёт, подбор геометрии рабочего колеса и корпуса турбины и компрессора, расчёт частоты вращения ротора, прочностной анализ рабочих колёс, разработку конструкторской и технологической документации.

Проектирование и технологическая подготовка производства лопатки компрессора газотурбинного двигателя. Тема предполагает разработку конструкции лопатки компрессора, 3D-моделирование, прочностной и вибрационный анализ, выбор материала и технологии изготовления (литьё по выплавляемым моделям, механическая обработка, термообработка), разработку технологического процесса и конструкторской документации.

7.3. Темы по комбинированным и альтернативным установкам

Проектирование комбинированной энергетической установки с поршневым двигателем и турбиной. Тема включает разработку схемы комбинированной установки (поршневой двигатель с турбонаддувом или свободная турбина), расчёт параметров, согласование характеристик поршневой части и турбомашины, 3D-моделирование узлов, разработку конструкторской документации.

Разработка системы газобаллонного оборудования двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает проектирование системы питания двигателя сжатым природным газом или сжиженным углеводородным газом, расчёт газовых баллонов, редукторов, смесителей, разработку алгоритмов диагностики газобаллонного оборудования (проверка герметичности течеискателем, регулировка редуктора), разработку конструкторской документации.

Проектирование гибридной энергетической установки для транспортного средства. Тема включает разработку схемы гибридной установки (последовательная, параллельная или смешанная), выбор двигателя внутреннего сгорания, электродвигателя и аккумуляторной батареи, расчёт параметров, моделирование режимов работы, разработку конструкторской документации.

Разработка системы нейтрализации отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает проектирование системы нейтрализации (каталитический нейтрализатор, сажевый фильтр, система рециркуляции отработавших газов), расчёт эффективности нейтрализации, подбор катализатора, разработку конструкторской документации и рекомендаций по эксплуатации.

7.4. Темы по эксплуатации и диагностике

Разработка системы диагностики неисправностей поршневого двигателя с использованием OBD-II. Тема включает анализ типовых неисправностей двигателя по системе OBD-II, разработку алгоритмов считывания и расшифровки кодов неисправностей, анализ параметров двигателя в реальном времени (расход возду-

ха, положение дроссельной заслонки, угол опережения зажигания, лямбда-регулирование), разработку технологических карт диагностики и ремонта.

Проектирование технологии восстановления коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Тема предполагает разработку технологии восстановления изношенных шеек коленчатого вала (наплавка, хромирование, шлифование под ремонтный размер), расчёт режимов обработки, выбор оборудования и оснастки, разработку технологической документации, экономическое обоснование целесообразности восстановления.

Разработка мероприятий по снижению вибрации и шума поршневого двигателя. Тема включает анализ источников вибрации и шума двигателя, измерение вибрации и шума, разработку мероприятий по снижению (балансировка, демпфирование, шумоизоляция), расчёт эффективности мероприятий, разработку конструкторской документации на дополнительные элементы.

Разработка системы технического обслуживания и ремонта газотурбинного двигателя. Тема предполагает анализ типовых неисправностей газотурбинного двигателя, разработку регламентов технического обслуживания, разработку технологических процессов ремонта (замена лопаток, восстановление покрытий, балансировка ротора), разработку системы диагностики, экономическое обоснование.

7.5. Порядок выбора и утверждения темы

Выбор темы сквозного проекта осуществляется обучающимся в 1–2 семестрах. Обучающийся может выбрать тему из утверждённого на кафедре перечня, который ежегодно обновляется с учётом актуальных задач двигателестроения и запросов предприятий-партнёров.

По письменному заявлению обучающегося на имя заведующего кафедрой обучающийся может предложить собственную тему, обосновав целесообразность её разработки для практического применения в соответствующей области профессиональной деятельности или на конкретном объекте профессиональной деятельности. Такая тема утверждается заведующим кафедрой по согласованию с руководителем.

При формулировании темы рекомендуется указывать конкретный тип двигателя (поршневой, газотурбинный, комбинированный), его назначение (автомобильный, тракторный, судовой, стационарный) и конкретный объект проектирования или исследования (деталь, узел, система, технологический процесс). Например, вместо «Проектирование коленчатого вала» рекомендуется формулировка «Проектирование и технологическая подготовка производства коленчатого вала рядного шестицилиндрового дизельного двигателя».

Для обучающихся, проходивших производственную практику на предприятиях-партнёрах, рекомендуется выбирать темы, связанные с реальными задачами этих предприятий. В этом случае сквозной проект может выполняться на основе материалов, собранных в период практики, а его результаты могут быть внедрены в производство. При наличии подтверждающих документов (акт внедрения, рекомендательное письмо) это учитывается при итоговой оценке.

8. Методические рекомендации по выполнению сквозного проекта

8.1. Методические рекомендации для обучающегося

Начальный этап работы над проектом

Начинайте работу над сквозным проектом с первого семестра. Ознакомьтесь с примерной тематикой сквозного проекта, представленной в разделе 7 настоящей программы. Выберите область интересов, соответствующую вашим профессиональным предпочтениям и планам на будущую трудовую деятельность. В начале второго семестра согласуйте с руководителем конкретную тему сквозного проекта. При выборе темы учитывайте направление преддипломной практики, возможности прохождения производственных практик на предприятиях-партнёрах, а также наличие необходимого программного обеспечения и литературы.

Выполнение индивидуального задания

Внимательно изучите индивидуальное задание на каждый этап сквозного проекта. Индивидуальное задание выдаётся руководителем в начале каждого этапа и содержит перечень подлежащих разработке вопросов, сроки выполнения, требования к результатам. Все непонятные моменты необходимо уточнить у руководителя до начала выполнения этапа. Не приступайте к выполнению следующего этапа без утверждения результатов предыдущего, так как этапы сквозного проекта логически связаны между собой.

Соблюдение календарного плана

Соблюдайте календарный план выполнения работ, утверждённый руководителем. Своевременное выполнение этапов является залогом успешного завершения проекта. Календарный план разбивает каждый этап на отдельные задачи с указанием сроков выполнения. Рекомендуется вести рабочий дневник, в котором фиксируются выполненные работы, затраченное время, возникшие трудности и способы их преодоления. Это поможет при подготовке отчёта и при ответах на вопросы руководителя и комиссии.

Регулярные консультации с руководителем

Регулярно, не реже одного раза в две недели, консультируйтесь с руководителем, показывайте промежуточные результаты. Не откладывайте обращение к руководителю до завершения всего этапа – это может привести к необходимости переделки большого объёма работы. На консультациях обсуждайте возникающие вопросы, уточняйте требования к содержанию и оформлению, получайте рекомендации по устранению недостатков. Активность и инициативность при общении с руководителем положительно влияют на оценку.

Использование возможностей практик

При выполнении этапов 3 и 4 (CAE. Расчёты и Разработка конструкторской документации) активно используйте возможности рассредоточенных практик на предприятиях-партнёрах. На предприятиях вы можете получить доступ к реальным конструкторским и технологическим документам, ознакомиться с корпоративными стандартами, получить консультации от действующих инженеров-конструкторов и технологов. Это позволит верифицировать ваши расчёты и решения, а также повысит практическую значимость работы. Результаты, полученные на предприятии, могут быть оформлены как совместные разработки, что учитывается при итоговой оценке.

Работа с источниками информации

При выполнении аналитической части (этап 1) используйте разнообразные источники информации: научно-технические журналы («Двигателестроение», «Автомобильная промышленность», «Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана», «Труды МАМИ»), патентные базы (ФИПС, Google Patents), электронные библиотеки (eLIBRARY.RU, CyberLeninka, ЭБС «Лань», «Юрайт»), нормативно-техническую документацию (ГОСТы, ОСТы, ТУ). При анализе прототипов обращайте внимание на конструктивные особенности, технические характеристики, достоинства и недостатки. Систематизируйте информацию в виде таблиц и сводных обзоров.

Освоение CAD/CAE/CFD-систем

При выполнении этапов 2 и 3 осваивайте современные CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX) и CAE-пакеты (ANSYS Workbench, Simcenter, OpenFOAM). Используйте встроенные туториалы и обучающие материалы. При создании 3D-

моделей соблюдайте принцип параметризации – задавайте размеры через переменные, используйте уравнения и связи. Это позволит легко вносить изменения на последующих этапах. При проведении CAE-анализа уделяйте особое внимание качеству расчётной сетки, корректности задания граничных условий и нагрузок, а также верификации полученных результатов.

Оформление отчётной документации

При оформлении отчётов строго соблюдайте требования Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технологической документации (ЕСТД) и локальных нормативных актов Московского политехнического университета. Оформляйте чертежи с соблюдением масштабов, типов линий, условных обозначений. На рабочих чертежах обязательно проставляйте размеры, поля допусков, шероховатость, допуски формы и расположения поверхностей, технические требования. Технологические карты оформляйте в соответствии с требованиями ЕСТД. Пояснительную записку пишите грамотным научно-техническим стилем, избегая разговорных выражений и субъективных оценок без обоснования.

Подготовка к предзащите и защите

На предзащите (этап 5) внимательно выслушайте замечания членов комиссии и учтите их при доработке материалов. Не воспринимайте замечания как негативную оценку – это возможность улучшить работу перед итоговой защитой. Подготовьте презентацию (12–16 слайдов), отражающую основные результаты по каждому этапу сквозного проекта. Проведите репетицию доклада несколько раз, чтобы уложиться в регламент (до 10 минут). Продумайте возможные вопросы комиссии и подготовьте ответы. На защите держитесь уверенно, отвечайте аргументированно, ссылайтесь на соответствующие разделы пояснительной записки.

8.2. Методические рекомендации для руководителя

Организация выполнения сквозного проекта

Обеспечьте преемственность между этапами сквозного проекта. Контролируйте соответствие содержания каждого этапа утверждённому техническому заданию, которое было разработано на первом этапе. При необходимости корректируйте техниче-

ское задание с учётом результатов промежуточных этапов. Следите за тем, чтобы результаты каждого этапа использовались в качестве исходных данных для последующего этапа. Это обеспечивает целостность и логическую связность сквозного проекта.

Проведение консультаций

Проводите регулярные консультации с обучающимся, не реже одного раза в две недели, в течение всего периода выполнения проекта. На консультациях обсуждайте ход выполнения работы, уточняйте непонятные моменты, давайте рекомендации по устранению недостатков. Поощряйте активность и инициативность обучающегося. Фиксируйте темы консультаций и основные рекомендации – это поможет при написании отзыва. При необходимости организуйте дополнительные консультации (например, перед предзащитой или защитой).

Проверка промежуточных результатов

Своевременно проверяйте промежуточные результаты, давайте аргументированные замечания и рекомендации. Не откладывайте проверку на конец этапа – это может привести к необходимости переделки большого объёма работы. При проверке обращайте внимание на соответствие результатов техническому заданию, корректность расчётов и моделирования, качество оформления документации. Все замечания должны быть конкретными и конструктивными, с указанием способов устранения.

Координация с предприятиями-партнёрами

Координируйте работу обучающегося с кураторами от предприятий-партнёров при прохождении производственных практик (этапы 3, 4, 5). Согласуйте тематику работы с актуальными задачами предприятия. Обеспечьте доступ обучающегося к необходимой технической документации и программному обеспечению на предприятии. При возможности организуйте совместные консультации с куратором от предприятия. Результаты, полученные на предприятии, могут быть оформлены как совместные разработки, что повышает практическую значимость работы.

Контроль соблюдения календарного плана

Контролируйте соблюдение календарного плана выполнения работ. При систематических нарушениях сроков информируйте заведующего кафедрой. При выявлении отставания разработайте совместно с обучающимся план навёрстывания упущенного. При

наличии уважительных причин (болезнь, семейные обстоятельства) скорректируйте календарный план. Не допускайте ситуации, когда обучающийся приступает к следующему этапу без утверждения результатов предыдущего.

Оценка выполнения этапов

По завершении каждого этапа оценивайте выполненную работу, фиксируйте оценку в соответствующей ведомости. Оценка должна быть аргументированной и отражать степень достижения поставленных целей и задач. При выставлении оценки руководствуйтесь критериями, изложенными в разделе 6 настоящей программы. В случае неудовлетворительной оценки разработайте план пересдачи этапа с указанием конкретных недостатков и сроков их устранения.

Подготовка к предзащите и защите

Оказывайте помощь в подготовке к предзащите и защите выпускной квалификационной работы. Проводите репетиции доклада, обращая внимание на композицию, полноту представления работы, соблюдение регламента, культуру речи и манеру общения. Проверьте презентацию на соответствие содержанию доклада, наглядность и качество визуальных материалов. Участвуйте в предзащите на кафедре, давайте конструктивные замечания. При необходимости организуйте предзащиту на предприятии-партнёре с участием куратора.

Написание отзыва

По завершении выполнения выпускной квалификационной работы подготовьте письменный отзыв (образец представлен в Приложении 6 к рабочей программе государственной итоговой аттестации). В отзыве отразите соответствие содержания работы заданной теме, полноту раскрытия темы, личный вклад автора и степень его самостоятельности, инициативность, умение проводить исследование, анализировать и обобщать научные данные и материалы практики, делать правильные выводы, особо выделяющие работу положения, недостатки работы, возможность практического использования работы или её отдельных положений. В отзыве сформулируйте вывод о допуске или недопуске работы к защите и рекомендуемую оценку.

8.3. Рекомендации по использованию ресурсов университета

Для успешного выполнения сквозного проекта обучающийся и руководитель могут использовать следующие ресурсы Московского политехнического университета.

Библиотечно-информационный центр (БИЦ) предоставляет доступ к печатным и электронным образовательным ресурсам, включая электронно-библиотечные системы «Лань», «Юрайт», научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU. В читальных залах БИЦ оборудованы рабочие места с доступом к сети Интернет.

Компьютерные классы кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики» оснащены лицензионным программным обеспечением (CAD-системы КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX; CAE-пакеты ANSYS Workbench, Simcenter). Доступ в компьютерные классы предоставляется в соответствии с расписанием занятий и в часы самостоятельной работы.

Научно-исследовательские лаборатории кафедры оснащены испытательными стендами, измерительным оборудованием, вычислительными кластерами для проведения CAE-расчётов. Доступ в лаборатории предоставляется по согласованию с заведующим кафедрой.

Электронная информационно-образовательная среда университета (СДО Московского Политеха, https://online.mospolytech.ru) содержит рабочие программы дисциплин, практик, государственной итоговой аттестации, а также методические материалы по выполнению сквозного проекта. В СДО также размещаются объявления о консультациях, предзащитах и других мероприятиях.

Предприятия-партнёры (ПАО «КАМАЗ», АО «ОДК», АО «Трансмашхолдинг» и др.) предоставляют базы для прохождения производственных практик, доступ к конструкторской и технологической документации, консультации ведущих специалистов. Координация с предприятиями осуществляется через кафедру.

8.4. Рекомендации по организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа обучающегося является ключевым элементом выполнения сквозного проекта. Рекомендуется выделять на самостоятельную работу по сквозному проекту не менее 4–6 часов в неделю на этапах 1–4 и не менее 20–30 часов в неделю на этапе 5. Планируйте своё время таким образом, чтобы наиболее сложные задачи (3D-моделирование сложных деталей, CAE-расчёты, написание объёмных разделов) выполнялись в периоды наивысшей работоспособности.

При работе с CAD/CAE-системами рекомендуется сначала изучить теорию (принципы параметрического моделирования, метод конечных элементов, вычислительную гидродинамику), а затем приступать к практической работе. Не бойтесь экспериментировать с настройками моделей, но при этом фиксируйте результаты различных вариантов для последующего сравнения.

При оформлении отчётной документации рекомендуется использовать шаблоны, предоставленные руководителем или кафедрой. Это позволит сэкономить время и избежать типовых ошибок. Перед сдачей отчёта обязательно проверьте его на соответствие требованиям оформления (поля, шрифты, нумерация, ссылки, список литературы).

При возникновении трудностей не откладывайте их решение – обращайтесь за консультацией к руководителю, к преподавателям профильных дисциплин, к студентам старших курсов. В Интернете доступны многочисленные форумы и сообщества, посвящённые CAD/CAE-моделированию (например, форум пользователей КОМПАС-3D, сообщество ANSYS в социальных сетях).

Ведите учёт выполненных работ в рабочем дневнике. Это поможет при подготовке отчёта, а также при ответах на вопросы руководителя и комиссии. В дневнике фиксируйте дату, вид выполненной работы, затраченное время, возникшие трудности и способы их преодоления, рекомендации руководителя. Дневник может быть оформлен в электронном или бумажном виде.

9. Связь сквозного проекта с выпускной квалификационной работой

9.1. Сквозной проект как основа выпускной квалификационной работы

Сквозной проект является основой для подготовки выпускной квалификационной работы. В отличие от традиционного подхода, при котором выпускная квалификационная работа выполняется «с нуля» в течение последнего семестра, сквозной проект позволяет обучающемуся на протяжении всех четырёх лет обучения последовательно нарабатывать материалы, которые затем интегрируются в итоговую работу. К началу восьмого семестра обучающийся, успешно выполняющий сквозной проект, имеет практически полностью подготовленную выпускную квалификационную работу, что позволяет сосредоточиться на её оформлении, подготовке презентации и репетиции защиты.

Такой подход имеет ряд существенных преимуществ. Во-первых, обеспечивается глубокая проработка темы, так как обучающийся возвращается к ней многократно на разных этапах обучения. Во-вторых, исключается дублирование работы – материалы курсовых проектов, отчётов по практикам и других учебных работ не пропадают, а становятся частью итоговой работы. В-третьих, снижается стрессовая нагрузка на обучающегося в выпускном семестре, так как основная работа уже выполнена. В-четвёртых, повышается качество выпускной квалификационной работы, так как она проходит многократную проверку и корректировку на каждом этапе сквозного проекта.

9.2. Интеграция результатов этапов в структуру выпускной квалификационной работы

Результаты всех пяти этапов сквозного проекта интегрируются в выпускную квалификационную работу в строгом соответствии с её структурой. Ниже приведено детальное описание того, как именно результаты каждого этапа используются в соответствующих разделах выпускной квалификационной работы.

Результаты этапа 1 «Анализ и техническое предложение» используются при написании главы 1 «Аналитическая часть и техническое задание». В эту главу включаются следующие материалы, полученные на первом этапе: аналитический обзор существующих конструкций-прототипов (после доработки и расширения); патентный обзор; обоснование выбора прототипа; техническое задание на проектирование; эскизная компоновка проектируемого узла. При переносе материалов из отчёта по этапу 1 в выпускную квалификационную работу рекомендуется дополнить аналитический обзор более широким кругом источников (не менее 20–25 вместо 10–15 на этапе 1), углубить патентный анализ, уточнить техническое задание с учётом результатов последующих этапов.

Результаты этапа 2 «CAD. Освоение» используются при написании главы 2 «Конструкторская часть» в разделах, посвящённых 3D-моделям и чертежам. В эту главу включаются: описание CAD-системы и методов моделирования; описание созданных 3D-моделей деталей (с иллюстрациями); описание сборочной единицы (сопряжения, проверка интерференций); описание оформленных чертежей (сборочный чертёж, спецификация, рабочие чертежи). При переносе материалов из отчёта по этапу 2 в выпускную квалификационную работу рекомендуется доработать 3D-модели с учётом результатов CAE-анализа (этап 3), дополнить описание методами параметризации и оптимизации, улучшить качество иллюстраций.

Результаты этапа 3 «CAE. Расчёты» используются при написании главы 3 «Расчётно-исследовательская часть». В эту главу включаются: описание CAE-системы и методов расчёта; описание расчётной модели (сетка, граничные условия, нагрузки); результаты прочностного анализа (FEA) с визуализацией; результаты теплового анализа (при наличии); результаты газодинамического анализа (CFD) (при наличии); анализ усталостной долговечности (при наличии); параметрическая и топологическая оптимизация конструкции; верификация расчётных моделей; выводы и рекомендации по оптимизации. При переносе материалов из отчёта по этапу 3 в выпускную квалификационную работу рекомендуется углубить анализ результатов, добавить сравнение с литературными данными или экспериментальными результатами

(при наличии), улучшить качество визуализации (цветовые карты, графики, диаграммы).

Результаты этапа 4 «Разработка конструкторской документации» распределяются между двумя главами выпускной квалификационной работы в зависимости от характера материалов.

Конструкторская часть этапа 4 (доработка 3D-моделей по результатам CAE-анализа, рабочие чертежи деталей, сборочный чертёж и спецификация, расчёт размерных цепей) включается в главу 2 «Конструкторская часть». При этом в главе 2 создаётся отдельный подраздел, посвящённый доработке конструкции по результатам расчётов, или результаты конструкторской части этапа 4 объединяются с результатами этапа 2.

Технологическая часть этапа 4 (анализ технологичности деталей; обоснование выбора материала, заготовки и термообработки; маршрутный технологический процесс; операционная карта на одну операцию механической обработки; технологический процесс сборки) включается в главу 4 «Технологическая часть». В эту же главу при необходимости могут быть включены вопросы метрологического обеспечения, выбора оборудования и оснастки, расчёта норм времени.

Результаты этапа 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы» включаются в следующие разделы выпускной квалификационной работы.

Эксплуатационная и диагностическая части (анализ типовых неисправностей, «дерево отказов», алгоритмы диагностики, технологические карты ремонта, рекомендации по эксплуатации и обслуживанию) включаются в главу 5 «Эксплуатационная и диагностическая часть» (или в отдельную главу, в зависимости от принятой структуры).

Экономическое обоснование (технико-экономическое обоснование проектных решений, расчёт экономической эффективности, оценка рыночной перспективности, вопросы сертификации) включается в главу 6 «Экономическое обоснование и вопросы сертификации».

Заключение выпускной квалификационной работы формируется на основе выводов, полученных на всех этапах сквозного проекта, с их обобщением и систематизацией. В заключении

кратко излагаются основные результаты работы по каждому этапу, оценивается достижение поставленных цели и задач, указывается практическая значимость работы и перспективы дальнейших исследований.

9.3. Сквозной проект и выпускная квалификационная работа как единое целое

Важно понимать, что сквозной проект и выпускная квалификационная работа не являются двумя разными работами. Сквозной проект – это процесс выполнения работы, а выпускная квалификационная работа – это итоговый документ, фиксирующий результаты этого процесса. Поэтому не допускается механическое копирование текста из отчётов по этапам в выпускную квалификационную работу без соответствующей обработки.

При интеграции материалов этапов в выпускную квалификационную работу необходимо выполнить следующие действия. Во-первых, провести общую редакцию текста, устранив повторы и противоречия, обеспечив единый стиль изложения и терминологию. Во-вторых, дополнить материалы результатами, полученными на последующих этапах (например, включить в главу 2 описание доработки конструкции по результатам CAE-анализа). В-третьих, углубить анализ и обобщения, характерные для итоговой работы. В-четвёртых, обеспечить логические переходы между главами, чтобы выпускная квалификационная работа воспринималась как единое целое, а не как набор отдельных отчётов. В-пятых, привести оформление в соответствие с требованиями к выпускной квалификационной работе (единые поля, шрифты, нумерация, список литературы).

9.4. Рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы на основе сквозного проекта

Для эффективной подготовки выпускной квалификационной работы на основе сквозного проекта рекомендуется соблюдать следующий порядок действий.

На протяжении всего периода обучения (1–7 семестры) сохраняйте все материалы, полученные на каждом этапе сквозного проекта: техническое задание, 3D-модели, чертежи, результаты расчётов, технологические карты, отчёты по практикам. Организуйте их хранение в электронном виде в отдельной папке с чёткой структурой (например, папки «Этап 1», «Этап 2», «Этап 3», «Этап 4», «Этап 5»). Это значительно упростит поиск нужных материалов при подготовке выпускной квалификационной работы.

В начале восьмого семестра, после завершения всех этапов сквозного проекта, систематизируйте все материалы. Проверьте полноту материалов – отсутствуют ли какие-либо разделы, предусмотренные структурой выпускной квалификационной работы. При необходимости выполните дополнительные расчёты или доработки.

Разработайте детальную структуру выпускной квалификационной работы, согласовав её с руководителем. На основе структуры распределите материалы этапов по соответствующим главам и параграфам. Составьте календарный план подготовки выпускной квалификационной работы с указанием сроков завершения каждого раздела.

При написании глав используйте материалы отчётов по этапам, но не копируйте их механически. Переработайте текст, обеспечив единый стиль изложения. Добавьте обобщения и выводы, характерные для итоговой работы. Обеспечьте логические переходы между главами. Устраните повторы – информация, которая уже приведена в одной главе, не должна дублироваться в другой (допускаются только краткие ссылки).

Оформите графическую часть выпускной квалификационной работы (6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации). Для этого используйте чертежи, разработанные на этапах 2 и 4, а также цветовые карты и графики, полученные на этапе 3. При необходимости доработайте их в соответствии с требованиями ЕСКД.

Подготовьте презентацию для защиты (12–16 слайдов). Презентация должна наглядно отражать основные результаты каждого этапа сквозного проекта. Включите в презентацию скриншоты 3D-моделей, цветовые карты результатов CAE-анализа, чертежи,

технологические схемы, результаты экономического обоснования.

Проведите репетицию защиты с руководителем. Отработайте доклад до автоматизма, чтобы уложиться в регламент (до 10 минут). Продумайте возможные вопросы комиссии и подготовьте ответы.

9.5. Преимущества подхода для обучающегося

Подход, при котором выпускная квалификационная работа готовится на основе сквозного проекта, имеет следующие преимущества для обучающегося.

Снижается стрессовая нагрузка в выпускном семестре, так как основная работа выполнена задолго до защиты. Обучающийся не испытывает необходимости выполнять огромный объём работы «с нуля» за несколько недель.

Повышается качество выпускной квалификационной работы, так как она проходит многократную проверку и корректировку на каждом этапе сквозного проекта. Ошибки и недочёты выявляются и устраняются постепенно, а не в финальной стадии.

Обеспечивается глубокая проработка темы, так как обучающийся возвращается к ней многократно на разных этапах обучения. Каждый последующий этап позволяет по-новому взглянуть на результаты предыдущих этапов и углубить их.

Формируется системное мышление, так как обучающийся видит свой проект в развитии – от технического задания до готовой конструкторской и технологической документации.

Создаётся портфолио, которое может быть использовано при трудоустройстве. Работодатель может ознакомиться с результатами каждого этапа сквозного проекта, что даёт более полное представление о квалификации выпускника.

Таким образом, сквозной проект и выпускная квалификационная работа представляют собой две стороны одного процесса – процесса формирования профессиональных компетенций будущего инженера-двигателиста. Их тесная связь обеспечивает высокое качество подготовки выпускников и их готовность к самостоятельной профессиональной деятельности.

10. Заключение

Сквозной проект является системообразующим элементом образовательной программы «Поршневые двигатели и турбомашины» по направлению подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение». Он обеспечивает непрерывность и преемственность между дисциплинами и практиками, формирует у обучающегося целостное представление о жизненном цикле энергетической установки – от анализа технического задания до разработки конструкторской и технологической документации, расчётного обоснования, диагностики и экономической оценки.

Выполнение сквозного проекта позволяет выпускнику не только освоить профессиональные компетенции, предусмотренные федеральным государственным образовательным стандартом, но и приобрести практический опыт работы в современных CAD/CAE/CFD-системах (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX, ANSYS Workbench, Simcenter, OpenFOAM), развить навыки проектной деятельности, научиться оформлять техническую документацию в строгом соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической документации (ЕСТД), а также подготовить полноценную выпускную квалификационную работу, готовую к защите.

В ходе выполнения сквозного проекта обучающийся последовательно проходит пять логически связанных этапов. На первом этапе он учится анализировать существующие конструкции-прототипы, проводить патентный обзор, разрабатывать техническое задание и выполнять эскизную компоновку. На втором этапе осваивает CAD-системы, создаёт параметрические 3D-модели деталей, формирует сборочные единицы и оформляет чертежи. На третьем этапе овладевает методами конечно-элементного анализа и вычислительной гидрогазодинамики, проводит прочностные, тепловые и газодинамические расчёты, выполняет оптимизацию и верификацию. На четвёртом этапе разрабатывает полный комплект конструкторской и технологической документации, включая маршрутные и операционные карты. На пятом этапе интегрирует все полученные результаты в выпускную квалификационную работу, выполняет экономическое обоснование, разрабаты-

вает эксплуатационно-диагностическую часть и защищает работу перед государственной экзаменационной комиссией.

Особую ценность сквозному проекту придаёт его тесная связь с рассредоточенными практиками, предусмотренными учебным планом. Каждый этап проекта закреплён за соответствующей практикой, что обеспечивает непрерывность проектной деятельности и возможность получения регулярных консультаций от руководителей от университета и от предприятий-партнёров. Это позволяет обучающемуся не отрываться от своего проекта на время практики, а, напротив, использовать практику для его последовательного развития. При прохождении практик на предприятиях-партнёрах обучающийся получает доступ к реальным конструкторским и технологическим документам, корпоративным стандартам, консультациям действующих инженеров, что существенно повышает практическую значимость работы.

Результаты сквозного проекта могут быть использованы в реальном производстве. При выполнении работы по заказу предприятия-партнёра и наличии положительного отзыва от предприятия разработанная конструкторская и технологическая документация может быть передана для внедрения. Это не только повышает мотивацию обучающегося, но и способствует формированию долгосрочных связей между университетом и работодателями.

Таким образом, сквозной проект представляет собой эффективный инструмент практико-ориентированного обучения, обеспечивающий высокое качество подготовки выпускников, их готовность к самостоятельной профессиональной деятельности в области проектирования, расчёта, технологической подготовки производства, испытаний, диагностики и эксплуатации поршневых двигателей и турбомашин. Выпускник, успешно выполнивший сквозной проект, приходит на предприятие не как стажёр, требующий длительного обучения, а как специалист, владеющий современными цифровыми инструментами, знакомый с требованиями ЕСКД и ЕСТД, имеющий опыт разработки конструкторской и технологической документации, умеющий проводить расчётное обоснование и диагностику. Это является ключевым конкурентным преимуществом образовательной программы и гарантией востребованности её выпускников на рынке труда.

Приложение 1. Примерный календарный план выполнения сквозного проекта по этапам (График работ)

Общие положения

Календарный план выполнения сквозного проекта предназначен для обеспечения систематической работы обучающегося на протяжении всего периода обучения. План детализирует выполнение каждого этапа по неделям семестра, определяет конкретные виды работ и сроки их завершения. Соблюдение календарного плана является обязательным требованием при выполнении сквозного проекта. Руководитель сквозного проекта фиксирует в плане отметки о выполнении каждого этапа работ. При систематическом нарушении календарного плана без уважительных причин руководитель вправе снизить оценку за этап или направить обучающегося на повторное выполнение этапа.

Ниже приведены календарные планы для каждого этапа сквозного проекта с разбивкой по семестрам и неделям. Продолжительность семестров: 2 семестр – 18 недель, 3 семестр – 18 недель, 5 семестр – 18 недель, 6 семестр – 18 недель, 7 семестр – 18 недель, 8 семестр – 10 недель (без учёта каникул). Номера недель указаны от начала соответствующего семестра.

Этап 1. Анализ и техническое предложение (2 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап. Ознакомление с требованиями к этапу 1. Выбор темы сквозного проекта (если не выбран ранее). Согласование темы с руководителем.	Собеседование с руководителем	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
3–4	Поиск и сбор научно-технической и патентной информации по теме проекта. Формирование предварительного списка источников (не менее 20 наименований).	Проверка списка источников	
5–6	Изучение и анализ существующих конструкций-прототипов (отечественных и зарубежных). Составление сравнительных таблиц.	Собеседование с руководителем, проверка черновика аналитического обзора	
7–8	Патентный поиск. Анализ не менее 5–7 патентных документов. Оформление патентного обзора.	Проверка патентного обзора	
9–10	Обоснование выбора прототипа для проектирования. Формулирование цели и задач сквозного проекта.	Проверка обоснования выбора прототипа	
11–12	Разработка техни-	Проверка техниче-	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	ческого задания на проектирование. Согласование технического задания с руководителем.	ского задания	
13–14	Выполнение эскизной компоновки проектируемого узла (вручную или с использованием CAD-системы).	Проверка эскизной компоновки	
15–16	Оформление отчёта по этапу 1 в соответствии с требованиями.	Проверка черновика отчёта	
17–18	Сдача отчёта по этапу 1. Защита результатов этапа (дифференцированный зачёт).	Дифференцированный зачёт по учебной практике (проектной)	

Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап. Ознакомление с требо-	Собеседование с руководителем	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	ваниями к этапу 2. Установка и настройка CAD-системы (КОМПАС-3D, SolidWorks, Siemens NX).		
3–4	Освоение интерфейса CAD-системы. Изучение инструментов создания эскизов, нанесения размеров, геометрических зависимостей. Выполнение упражнений.	Проверка выполнения упражнений	
5–6	Освоение инструментов создания 3D-моделей деталей (выдавливание, вращение, кинематические и конструктивные элементы). Выполнение упражнений.	Проверка выполнения упражнений	
7–8	Создание параметрических 3D-моделей простых деталей проектируемого узла (не ме-	Проверка 3D-моделей	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	нее 2–3 деталей).		
9–10	Создание параметрических 3D-моделей сложных деталей проектируемого узла (не менее 3–4 деталей).	Проверка 3D-моделей	
11–12	Формирование сборочной единицы из созданных 3D-моделей деталей. Задание геометрических сопряжений. Проверка интерференций.	Проверка сборки	
13–14	Генерация ассоциативных чертежей из 3D-моделей. Оформление сборочного чертежа и спецификации.	Проверка сборочного чертежа и спецификации	
15–16	Оформление рабочих чертежей деталей (форматы А3–А4). Простановка размеров, допусков, шероховатости, технических требований.	Проверка рабочих чертежей	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
17–18	Оформление отчёта по этапу 2. Подготовка электронного архива 3D-моделей и чертежей. Сдача отчёта. Защита результатов этапа (дифференцированный зачёт).	Дифференцированный зачёт по учебной практике (работа с ПО)	

Этап 3. CAE. Расчёты (5 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап. Ознакомление с требованиями к этапу 3. Установка и настройка CAE-системы (ANSYS Workbench, Simcenter, OpenFOAM).	Собеседование с руководителем	
3–4	Изучение методов конечно-элементного анализа (FEA) и вычислительной гидрога-	Проверка подготовленной геометрии	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	зодинамики (CFD). Подготовка геометрии: импорт 3D-моделей из CAD-системы, упрощение.		
5–6	Построение конечно-элементной (конечно-объёмной) сетки. Контроль качества сетки (аспект-ратио, ортогональность).	Проверка расчётной сетки	
7–8	Задание физических свойств материалов. Задание граничных условий (закрепления, начальные и граничные условия теплообмена). Задание нагрузок (силы, давления, температуры).	Проверка задания граничных условий и нагрузок	
9–10	Проведение прочностного анализа (FEA). Получение полей напряжений, деформаций, коэффициентов запаса прочности.	Проверка результатов прочностного анализа	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
11–12	Проведение теплового анализа (при необходимости). Проведение газодинамического анализа (CFD) (при необходимости).	Проверка результатов теплового и газодинамического анализа	
13–14	Анализ усталостной долговечности при циклическом нагружении. Проведение параметрической и топологической оптимизации конструкции.	Проверка результатов оптимизации	
15–16	Верификация расчётных моделей (сравнение с теоретическими данными или литературными источниками). Формулирование выводов и рекомендаций.	Проверка верификации и выводов	
17–18	Оформление отчёта по этапу 3 с визуализацией результатов (цветовые карты, графики, таблицы). Сдача отчёта. Защита результатов	Дифференцированный зачёт по производственной практике (НИР)	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	этапа (дифференцированный зачёт).		

Этап 4. Разработка конструкторской документации (6–7 семестры)

Часть 1. Конструкторская часть (6 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап 4 (конструкторская часть). Ознакомление с требованиями. Анализ рекомендаций по оптимизации, полученных на этапе 3.	Собеседование с руководителем	
3–4	Доработка 3D-моделей деталей по результатам CAE-анализа (увеличение радиусов скруглений, добавление рёбер жёсткости, изменение толщины стенок).	Проверка доработанных 3D-моделей	
5–6	Проверка сборки после доработки.	Проверка сборки	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	Устранение интерференций. Окончательное утверждение сборки.		
7–8	Выпуск рабочих чертежей оригинальных деталей (форматы А3–А4). Простановка размеров, полей допусков, посадок, шероховатости, допусков формы и расположения.	Проверка рабочих чертежей	
9–10	Оформление сборочного чертежа узла с необходимыми разрезами и сечениями (формат А1).	Проверка сборочного чертежа	
11–12	Оформление спецификации на сборочную единицу. Формирование электронного архива конструкторской документации.	Проверка спецификации и архива	
13–14	Выявление размерных цепей в проектируемом узле.	Проверка расчёта размерных цепей	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	Расчёт размерных цепей (методом полной взаимозаменяемости или вероятностным методом).		
15–16	Корректировка допусков при необходимости. Оформление результатов расчёта размерных цепей.	Проверка скорректированных допусков	
17–18	Оформление отчёта по конструкторской части этапа 4. Сдача отчёта. Защита результатов (дифференцированный зачёт).	Дифференцированный зачёт по производственной практике (проектной)	

Часть 2. Технологическая часть (7 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап 4 (технологическая часть). Ознакомление с требованиями. Ана-	Собеседование с руководителем	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	лиз конструкторской документации, разработанной в 6 семестре.		
3–4	Проведение анализа технологичности деталей. Выявление сложных для изготовления элементов. Формулирование рекомендаций по изменению конструкции.	Проверка анализа технологичности	
5–6	Обоснование выбора материала для деталей с учётом условий работы, технологии изготовления и стоимости.	Проверка обоснования выбора материала	
7–8	Определение метода получения заготовки (литьё, штамповка, прокат). Назначение вида и параметров термообработки.	Проверка выбора заготовки и термообработки	
9–10	Разработка маршрутного технологического процесса изготовления дета-	Проверка маршрутного ТП	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	ли. Определение последовательности операций. Выбор оборудования, оснастки, средств контроля.		
11–12	Разработка операционной карты на одну операцию механической обработки. Расчёт режимов резания (скорость, подача, глубина резания).	Проверка операционной карты	
13–14	Расчёт норм времени на операцию. Оформление эскиза наладки.	Проверка расчёта норм времени и эскиза наладки	
15–16	Разработка технологического процесса сборки узла. Определение последовательности сборки, методов обеспечения точности, средств контроля.	Проверка ТП сборки	
17–18	Оформление отчёта по технологической части этапа 4. Сдача отчёта. Защита ре-	Дифференцированный зачёт по производственной практике (технологиче-	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	зультатов (дифференцированный зачёт).	ской)	

Этап 5. Интеграция и защита выпускной квалификационной работы (8 семестр)

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
1–2	Получение индивидуального задания на этап 5. Ознакомление с требованиями. Систематизация материалов всех этапов сквозного проекта. Разработка детальной структуры ВКР.	Собеседование с руководителем	
3–4	Написание введения. Формирование главы 1 «Аналитическая часть и техническое задание» на основе материалов этапа 1. Доработка и углубление анализа.	Проверка введения и главы 1	
5–6	Формирование главы 2 «Конструкторская часть» на осно-	Проверка главы 2	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
	ве материалов этапов 2 и 4 (конструкторская часть). Включение описания 3D-моделей, чертежей, размерных цепей.		
7–8	Формирование главы 3 «Расчётно-исследовательская часть» на основе материалов этапа 3. Включение результатов CAE-анализа, оптимизации, верификации.	Проверка главы 3	
9–10	Формирование главы 4 «Технологическая часть» на основе материалов этапа 4 (технологическая часть). Включение технологических карт и процессов.	Проверка главы 4	
11–12	Формирование главы 5 «Эксплуатационная и диагностическая часть». Выполнение экономического обоснования (глава 6).	Проверка глав 5 и 6	

№ недели	Виды работ	Форма контроля	Отметка о выполнении
13–14	Оформление заключения. Составление списка литературы (не менее 40–50 источников). Оформление приложений. Компоновка полной пояснительной записки ВКР.	Проверка заключения, списка литературы, приложений	
15–16	Оформление графической части ВКР (6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации). Подготовка презентации (12–16 слайдов).	Проверка графической части и презентации	
17–18	Предзащита на кафедре. Устранение замечаний. Передача ВКР на нормоконтроль и проверку на антиплагиат. Получение отзыва руководителя и рецензии.	Протокол предзащиты	
19–20	Защита выпускной квалификационной работы перед государственной экзаменационной комиссией.	Защита ВКР (ГИА)	

Примечание: 8 семестр имеет продолжительность 10 недель. В приведённом плане использована укрупнённая разбивка. Фактический календарный план на 8 семестр уточняется руководителем с учётом конкретного расписания защиты ВКР.

Рекомендации по использованию календарного плана

Для обучающегося. Распечатайте календарный план на каждый семестр и держите его на рабочем столе. Отмечайте выполненные работы сразу после их завершения. При возникновении отклонений от плана немедленно информируйте руководителя. Своевременное выполнение работ согласно календарному плану является одним из критериев положительной оценки за этап.

Для руководителя. Используйте календарный план как инструмент контроля. На каждой консультации проверяйте выполнение работ за отчётный период. Делайте отметки в плане. При систематических нарушениях плана без уважительных причин проводите беседу с обучающимся и при необходимости информируйте заведующего кафедрой. Календарный план может быть скорректирован по согласованию с обучающимся при наличии уважительных причин (болезнь, семейные обстоятельства).

Приложение 2. Образец индивидуального задания на этап сквозного проекта

Общие положения

Индивидуальное задание на этап сквозного проекта является основным документом, определяющим содержание, объём, сроки и порядок выполнения работ на каждом этапе сквозного проекта. Задание разрабатывается руководителем сквозного проекта (руководителем соответствующей практики) и выдаётся обучающемуся в начале каждого этапа (семестра). Задание конкретизирует календарный план, определяет индивидуальные особенности выполнения этапа с учётом выбранной темы и технического задания.

Ниже приведён шаблон индивидуального задания на этап, который может быть адаптирован для каждого из пяти этапов сквозного проекта путём изменения заголовка, перечня подлежащих разработке вопросов и состава отчётных материалов. Заполненное задание подписывается руководителем и обучающимся, после чего утверждается заведующим кафедрой (или ответственным за сквозное проектирование).

Шаблон индивидуального задания на этап (универсальная форма)

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»

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № ____

на выполнение этапа _____ сквозного проекта
(наименование этапа, семестр)
Студент(ка):
_____
__
(фамилия, имя, отчество полностью, номер учебной группы)
Тема сквозного проекта:
_____

1. Исходные данные для выполнения этапа

(перечисляются исходные данные, полученные на предыдущих этапах, а также дополнительные данные, предоставляемые руководителем)

1.1. Техническое задание на проектирование (утверждено на этапе 1).

1.2. Эскизная компоновка проектируемого узла (разработана на этапе 1).

1.3. 3D-модели деталей и сборочная единица (разработаны на этапе 2) – для этапов 3 и 4.

1.4. Результаты CAE-анализа и рекомендации по оптимизации (получены на этапе 3) – для этапа 4.

1.5. Комплект конструкторской документации (разработан на этапе 4) – для этапа 5.

1.6. Дополнительные исходные данные:
_____

2. Перечень подлежащих разработке вопросов

(конкретизируется в зависимости от этапа)

Для этапа 1 «Анализ и техническое предложение»:

2.1. Провести анализ существующих конструкций-прототипов (не менее 10–15 источников).

2.2. Провести патентный обзор (не менее 5–7 патентных документов).

2.3. Обосновать выбор прототипа для проектирования.

2.4. Сформулировать цель и задачи сквозного проекта.

2.5. Разработать техническое задание на проектирование.

2.6. Выполнить эскизную компоновку проектируемого узла.

Для этапа 2 «CAD. Освоение»:

2.1. Освоить интерфейс и инструменты CAD-системы (указать конкретную систему: _____).

2.2. Создать параметрические 3D-модели деталей проектируемого узла (указать перечень деталей: _____).

2.3. Сформировать сборочную единицу с заданными геометрическими сопряжениями.

2.4. Выполнить проверку сборки на интерференции.

2.5. Оформить ассоциативные чертежи (сборочный чертёж, спецификация, рабочие чертежи деталей) в соответствии с ЕСКД.

Для этапа 3 «CAE. Расчёты»:

2.1. Освоить CAE-систему и методы расчёта (указать конкретную систему: _____).

2.2. Подготовить расчётную модель (сетка, граничные условия, нагрузки).

2.3. Провести прочностной анализ (FEA) деталей и узлов.

2.4. Провести тепловой анализ (при необходимости).

2.5. Провести газодинамический анализ (CFD) (при необходимости).

2.6. Выполнить анализ усталостной долговечности (при необходимости).

2.7. Провести параметрическую и топологическую оптимизацию конструкции.

2.8. Выполнить верификацию расчётных моделей.

2.9. Сформулировать выводы и рекомендации по оптимизации конструкции.

Для этапа 4 «Разработка конструкторской документации» (конструкторская часть):

2.1. Доработать 3D-модели по результатам CAE-анализа.

2.2. Выпустить рабочие чертежи оригинальных деталей с простановкой допусков и шероховатости.

2.3. Оформить сборочный чертёж узла с разрезами и спецификацией.

2.4. Сформировать электронный архив конструкторской документации.

2.5. Выполнить расчёт размерных цепей.

Для этапа 4 «Разработка конструкторской документации» (технологическая часть):

2.1. Провести анализ технологичности деталей.

2.2. Обосновать выбор материала, метода получения заготовки, термообработки.

2.3. Разработать маршрутный технологический процесс изготовления детали.

2.4. Разработать операционную карту на одну операцию механической обработки.

2.5. Разработать технологический процесс сборки узла.

Для этапа 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы»:

2.1. Систематизировать материалы всех этапов сквозного проекта.

2.2. Выполнить экономическое обоснование проектных решений.

2.3. Разработать эксплуатационно-диагностическую часть.

2.4. Подготовить пояснительную записку ВКР (объёмом 60–80 страниц).

2.5. Оформить графическую часть ВКР (6–8 листов формата А1 или эквивалент в презентации).

2.6. Подготовить презентацию для защиты (12–16 слайдов).

2.7. Пройти предзащиту на кафедре.

2.8. Защитить ВКР перед государственной экзаменационной комиссией.

---

3. Перечень отчётных материалов по этапу

(конкретизируется в зависимости от этапа)

3.1. Отчёт о выполнении этапа (объёмом _____ страниц).

3.2. Электронный архив материалов этапа (3D-модели, чертежи, результаты расчётов, технологические карты).

3.3. Презентация результатов этапа (_____ слайдов) – для защиты этапа.

3.4. Дополнительные материалы: _____

4. Сроки выполнения этапа

4.1. Дата выдачи задания: «» _____ ***20*** г.

4.2. Срок сдачи отчёта на проверку руководителю: «» _____ ***20*** г.

4.3. Срок защиты результатов этапа (дифференцированный зачёт): «» _____ ***20*** г.

5. Консультанты по этапу (при наличии)

ФИО	Должность, учёная степень	Раздел консультации

6. Подписи

Задание получил(а):

Студент(ка) _____ / _____ / «» _____ ***20*** г.

(подпись) (инициалы, фамилия)

Задание выдал(а):

Руководитель сквозного проекта _____ / _____ / «» _____ ***20*** г.

(подпись) (инициалы, фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»

_____ / _____ / «» _____ ***20*** г.

(подпись) (инициалы, фамилия)

Пример заполнения для этапа 2 (для наглядности)

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

на выполнение этапа 2 сквозного проекта

(CAD. Освоение, 3 семестр)

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Тема сквозного проекта: Проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного ме-

ханизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания

1. Исходные данные для выполнения этапа

1.1. Техническое задание на проектирование кривошипно-шатунного механизма (утверждено на этапе 1).

1.2. Эскизная компоновка кривошипно-шатунного механизма (разработана на этапе 1).

1.3. CAD-система: КОМПАС-3D v20 (лицензионная версия, установленная в компьютерных классах кафедры).

2. Перечень подлежащих разработке вопросов

2.1. Освоить интерфейс и инструменты CAD-системы КОМПАС-3D.

2.2. Создать параметрические 3D-модели деталей кривошипно-шатунного механизма: коленчатый вал, шатун, поршень, поршневой палец, поршневые кольца (3 компрессионных, 1 маслосъёмное).

2.3. Сформировать сборочную единицу «Кривошипно-шатунный механизм в сборе» с заданными геометрическими сопряжениями.

2.4. Выполнить проверку сборки на интерференции.

2.5. Оформить ассоциативные чертежи: сборочный чертёж (формат А1), спецификацию (формат А4), рабочие чертежи деталей (коленчатый вал – А1, шатун – А2, поршень – А2, поршневой палец – А3, поршневые кольца – А4) в соответствии с ЕСКД.

3. Перечень отчётных материалов по этапу

3.1. Отчёт о выполнении этапа 2 (объёмом 20–25 страниц).

3.2. Электронный архив: файлы 3D-моделей деталей (формат .m3d), файл сборки (формат .a3d), файлы чертежей (формат .cdw и .pdf).

3.3. Презентация результатов этапа (10 слайдов).

4. Сроки выполнения этапа

4.1. Дата выдачи задания: 01.09.2026 г.

4.2. Срок сдачи отчёта на проверку руководителю: 01.12.2026 г.

4.3. Срок защиты результатов этапа (дифференцированный зачёт): 20–25.12.2026 г.

5. Консультанты по этапу

Не требуются.

6. Подписи

Задание получил: Иванов И.И. (подпись) 01.09.2026

Задание выдал: руководитель Петров П.П. (подпись) 01.09.2026

УТВЕРЖДАЮ: заведующий кафедрой Сидоров С.С. (подпись) 02.09.2026

Рекомендации по заполнению индивидуального задания

Для руководителя. Заполняйте задание до начала этапа (семестра). Чётко формулируйте перечень подлежащих разработке вопросов, учитывая уровень подготовки обучающегося и сложность темы. Указывайте конкретные наименования деталей, сборочных единиц, форматы чертежей. Это позволит обучающемуся точно понимать объём работы. При необходимости привлекайте консультантов по отдельным вопросам (например, по технологической части – технолога с предприятия-партнёра). Утверждайте задание у заведующего кафедрой.

Для обучающегося. Внимательно изучите задание в начале этапа. Уточните все непонятные моменты у руководителя до начала выполнения работ. Соблюдайте указанные сроки. Сохраняйте задание до завершения этапа – оно потребуется при оформлении отчёта. При возникновении трудностей, не позволяющих выполнить задание в установленный срок, своевременно информируйте руководителя для корректировки сроков.

Примечание

Приведённый шаблон является универсальным. Для каждого из пяти этапов сквозного проекта руководитель заполняет соответствующий раздел 2 «Перечень подлежащих разработке вопросов» и раздел 3 «Перечень отчётных материалов», используя типовые формулировки из настоящего приложения. Номер задания соответствует номеру этапа (№ 1 – для этапа 1, № 2 – для этапа 2, № 3 – для этапа 3, № 4 – для этапа 4 (конструкторская часть), № 4/2 – для этапа 4 (технологическая часть), № 5 – для этапа 5).

Приложение 3. Образец рабочего дневника студента по сквозному проекту

Общие положения

Рабочий дневник студента по сквозному проекту является документом, в котором обучающийся фиксирует ход выполнения работ на каждом этапе сквозного проекта. Дневник позволяет систематизировать информацию о выполненных работах, затраченном времени, возникших трудностях и способах их преодоления, а также о результатах консультаций с руководителем. Ведение дневника является обязательным требованием при выполнении сквозного проекта. Дневник предоставляется руководителю при сдаче каждого этапа и учитывается при выставлении оценки.

Дневник может вестись в бумажном или электронном виде. При ведении в электронном виде дневник распечатывается и подшивается в отчёт по этапу или предоставляется отдельно. Записи в дневнике должны быть краткими, но информативными. Рекомендуется заполнять дневник не реже одного раза в неделю, а в периоды интенсивной работы – после каждого рабочего дня.

Ниже приведена форма рабочего дневника, которая может быть использована для всех этапов сквозного проекта. Форма включает титульный лист и таблицу для записей. При необходимости форма может быть адаптирована под конкретный этап путём изменения заголовка и добавления специфических граф.

Форма рабочего дневника (титульный лист)

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»

РАБОЧИЙ ДНЕВНИК СТУДЕНТА

по сквозному проекту
Студент(ка):
_____
__
(фамилия, имя, отчество полностью)
Номер учебной группы: _____
Тема сквозного проекта:
_____

Этап сквозного проекта:
_____
(наименование этапа и номер семестра)
Руководитель сквозного проекта:
_____
(должность, учёная степень, учёное звание, фамилия, инициалы)
Начало этапа: «» _____ *20* г.
Окончание этапа: «» _____ *20* г.

Форма рабочего дневника (таблица для записей)

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя о выполнении
1							
2							
3							
4							
5							

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя о выполнении
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Итоговые сведения по этапу

Общее количество часов, затраченных на выполнение этапа: _____ часов

Количество консультаций с руководителем: _____

Количество проверок промежуточных результатов: _____

Оценка за этап: _____ (дифференцированный зачёт)

Дата защиты этапа: «» _____ ***20*** г.

Подписи

Студент(ка): _____ / _____ / «» _____ ***20*** г.

(подпись) (инициалы, фамилия)

Руководитель сквозного проекта: _____ / _____ / «» _____ ***20*** г.

(подпись) (инициалы, фамилия)

Пример заполнения рабочего дневника для этапа 2 (для наглядности)

Студент: Иванов Иван Иванович

Группа: 241-111

Тема сквозного проекта: Проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного механизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания

Этап сквозного проекта: Этап 2. CAD. Освоение (3 семестр)

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

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
1	05.09	Установка КОМПАС-3D, знакомство с интерфейсом	2	Нет	–	Изучить панели инструментов	+

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
2	08.09	Выполнение упражнений по созданию эскизов	3	Сложности с наложением геометрических зависимостей	Просмотрел видеоурок на сайте АСКОН	Уделить внимание сопряжениям	+
3	12.09	Создание 3D-модели поршня	4	Сложная геометрия днища	Использовал операцию «кинематический элемент»	Модель принята	+
4	15.09	Консультация с руководителем	1	–	–	Продолжить моделирование шатуна	+
5	18.09	Создание 3D-модели	4	Нет	–	Обратить	+

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
		шатуна				внимание на параметризацию	
6	22.09	Создание 3D-модели коленчатого вала	6	Сложности с построением колен (смещённые оси)	Построил вспомогательные плоскости	Модель принята, но упростить галтели	+
7	25.09	Консультация с руководителем, показ моделей	1	–	–	Доработать параметризацию	+
8	28.09	Создание 3D-моделей поршневых колец и пальца	2	Нет	–	–	+
9	02.10	Сборка КШМ, за-	3	Нет	–	Проверить	+

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
		дание сопряжений				интерференции	
10	05.10	Проверка интерференций, устранение пересечений	2	Обнаружены интерференции колец	Откорректировал размеры канавок	Интерференции устранены	+
11	08.10	Консультация с руководителем, проверка сборки	1	–	–	Сборка принята, приступать к чертежам	+
12	10.10	Генерация сборочного чертежа, оформление видов и разрезов	4	Нет	–	–	+
13	15.10	Оформление спецификации	2	Нет	–	–	+

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
14	18.10	Консультация с руководителем, проверка чертежей	1	Замечания по простановке размеров	Исправил согласно замечаниям	Чертежи приняты	+
15	20.10	Оформление рабочих чертежей деталей	6	Трудоёмкая простановка допусков	Использовал справочник допусков	Обратить внимание на шероховатость	+
16	25.10	Доработка чертежей по замечаниям	3	–	–	Замечания устранены	+
17	28.10	Оформление отчёта по этапу 2	4	Нет	–	–	+
18	30.10	Подготовка презентации	2	Нет	–	–	+
19	01.11	Предзащита этапа на кафедре	1	–	–	Защита назначена на	+

№ п/п	Дата	Вид выполненной работы	Затраченное время (часы)	Возникшие трудности	Способ преодоления трудностей	Рекомендации руководителя	Отметка руководителя
						05.11	
20	05.11	Защита этапа 2 (дифференцированный зачёт)	1	–	–	Оценка «отлично»	+

Итого часов: 52 часа
Количество консультаций с руководителем: 5
Оценка за этап: отлично

Рекомендации по ведению рабочего дневника

Для обучающегося. Заполняйте дневник регулярно, не откладывая на последний день этапа. Фиксируйте даже небольшие работы – это поможет при подготовке отчёта и при ответах на вопросы руководителя. Будьте честны при указании затраченного времени – это позволит руководителю оценить реальную трудоёмкость работ и при необходимости скорректировать календарный план. Указывайте возникшие трудности и способы их преодоления – это покажет вашу самостоятельность и инициативность. Обязательно записывайте рекомендации руководителя – это поможет не забыть их при доработке. Предоставляйте дневник руководителю для отметок на каждой консультации.

Для руководителя. Проверяйте дневник обучающегося на каждой консультации. Делайте отметки о выполнении работ в соответствующей графе. Обращайте внимание на возникшие трудности – при необходимости давайте дополнительные разъяснения. Контролируйте накопление часов – при значительном отклонении от плана выясняйте причины. Дневник является одним из источников информации для написания отзыва – вы можете

использовать записи о трудностях и способах их преодоления при характеристике самостоятельности и инициативности обучающегося.

Примечание

Дневник может вестись в электронном виде (например, в текстовом редакторе или в виде таблицы Excel) с последующей распечаткой и подшивкой в отчёт. Допускается ведение дневника в бумажном виде (в тетради или на распечатанных бланках). В любом случае дневник должен содержать все обязательные реквизиты, предусмотренные формой, и подписи студента и руководителя. При ведении дневника в электронном виде подписи могут быть проставлены после распечатки.

Приложение 4. Примерный перечень вопросов для защиты этапов сквозного проекта (для собеседования с руководителем)

Общие положения

Защита каждого этапа сквозного проекта проводится в форме собеседования обучающегося с руководителем (или комиссией). Целью собеседования является проверка не только наличия выполненной работы (отчёта, 3D-моделей, чертежей, расчётов), но и глубины понимания обучающимся выполненных действий, обоснованности принятых решений, способности аргументировать свой выбор и отвечать на вопросы. Ниже приведён примерный перечень вопросов, которые могут быть заданы руководителем при защите каждого этапа. Вопросы носят рекомендательный характер. Руководитель может задавать дополнительные вопросы, не входящие в перечень, если это необходимо для оценки уровня сформированности компетенций.

Вопросы для этапа 1 «Анализ и техническое предложение»

По аналитическому обзору и выбору прототипа:

1. Какие типы конструкций-прототипов вы проанализировали? Почему выбрали именно эти?
2. Какие критерии вы использовали для сравнения прототипов? Почему выбрали именно эти критерии?
3. Каковы основные достоинства и недостатки выбранного вами прототипа?
4. Какие конструктивные решения вы считаете наиболее удачными в прототипе, а какие – требующими доработки?
5. Какие патентные источники вы проанализировали? Какие технические решения защищены патентами?
6. Почему вы выбрали именно этот прототип для дальнейшего проектирования? Какие преимущества он имеет перед альтернативами?

По техническому заданию:

7. Как вы сформулировали цель и задачи сквозного проекта? Соответствуют ли они теме проекта?

8. Какие технические требования вы включили в техническое задание? Почему именно эти?

9. Какие требования к надёжности и условиям эксплуатации вы учли в техническом задании?

10. Какие требования к конструкторской документации вы предусмотрели?

11. Какие требования к технологичности вы включили в техническое задание?

По эскизной компоновке:

12. Какие основные геометрические параметры проектируемого узла вы определили?

13. Как вы обосновали выбранные размеры и пропорции узла?

14. Какие принципиальные решения по компоновке узла вы приняли? Почему?

15. Какие альтернативные варианты компоновки вы рассматривали? Почему отвергли их?

Общие вопросы:

16. Какие источники информации вы использовали при выполнении этапа? Как оценивали их достоверность?

17. Какие трудности возникли при выполнении этапа? Как вы их преодолели?

18. Какие выводы вы сделали по результатам этапа? Что планируете учесть на следующих этапах?

Вопросы для этапа 2 «CAD. Освоение»

По выбору CAD-системы и методам моделирования:

1. Какую CAD-систему вы использовали? Почему выбрали именно её?

2. Какие принципы параметрического моделирования вы применяли? Как задавали параметры?

3. Какие типы конструктивных элементов (операций) вы использовали при создании 3D-моделей?

4. Как вы организовывали иерархию построения модели (дерево модели)?

По 3D-моделям деталей:

5. Какие размеры вы сделали параметрическими? Почему именно их?

6. Как вы обеспечили возможность изменения модели при доработке конструкции?

7. Какие сложности возникли при моделировании наиболее сложных деталей? Как вы их решили?

8. Какие упрощения вы допустили при моделировании? Обоснованы ли они?

По сборке:

9. Какие геометрические сопряжения вы использовали при сборке? Почему выбрали именно эти?

10. Как вы проверяли сборку на интерференции? Какие интерференции были обнаружены и как вы их устранили?

11. Как вы обеспечили правильное взаимное расположение деталей в сборке?

12. Какие степени подвижности остались в сборке? Соответствует ли это работе реального механизма?

По чертежам:

13. Какие форматы чертежей вы выбрали для сборочного чертежа и рабочих чертежей? Почему?

14. Какие разрезы и сечения вы выполнили на сборочном чертеже? Почему именно эти?

15. Как вы проставляли размеры на чертежах? Какие принципы размерного анализа использовали?

16. Какие поля допусков и посадки вы назначили на ответственные поверхности? Почему?

17. Какие значения шероховатости вы назначили на различные поверхности? Почему?

18. Какие допуски формы и расположения поверхностей вы проставили? Почему?

Общие вопросы:

19. Какие трудности возникли при освоении CAD-системы? Как вы их преодолели?

20. Какие учебные материалы и ресурсы вы использовали?

21. Как вы организовали электронный архив моделей и чертежей?

22. Какие выводы вы сделали по результатам этапа? Что планируете улучшить?

Вопросы для этапа 3 «CAE. Расчёты»

По выбору CAE-системы и методов расчёта:

1. Какую CAE-систему вы использовали? Почему выбрали именно её?
2. Какие типы анализа вы выполняли (прочностной, тепловой, газодинамический)? Почему именно эти?
3. Какие допущения вы приняли при построении расчётной модели? Обоснованы ли они?

По расчётной сетке:

4. Какой тип конечных элементов вы выбрали? Почему?
5. Как вы определяли размер элемента сетки? Проводили ли анализ сходимости?
6. Как вы контролировали качество сетки (аспект-ратио, ортогональность)?
7. Как вы сгущали сетку в зонах концентрации напряжений?

По граничным условиям и нагрузкам:

8. Какие физические свойства материалов вы задали? Где взяли эти данные?
9. Как вы задали закрепления? Соответствуют ли они реальным условиям работы детали?
10. Какие нагрузки вы приложили? Как определили их величину и направление?
11. Как вы учли температурные воздействия (при наличии теплового анализа)?
12. Какие граничные условия вы задали на входе и выходе (при CFD-анализе)?

По результатам расчётов:

13. Какие поля напряжений вы получили? Где находятся зоны максимальных напряжений?
14. Каковы коэффициенты запаса прочности в наиболее нагруженных зонах? Соответствуют ли они нормативным?
15. Какие поля температур вы получили (при тепловом анализе)? Как распределена температура?
16. Какие поля давлений и скоростей вы получили (при CFD-анализе)? Каковы гидравлические потери?
17. Как вы оценивали усталостную долговечность? Какие коэффициенты запаса по усталости получены?

По оптимизации и верификации:

18. Какую оптимизацию вы выполнили (параметрическую, топологическую)? Какие результаты получены?

19. Как изменились масса и прочность детали после оптимизации?

20. Как вы верифицировали расчётную модель? Сравнивали ли результаты с теоретическими или экспериментальными данными?

21. Каковы основные рекомендации по оптимизации конструкции, которые вы сформулировали?

Общие вопросы:

22. Какие трудности возникли при выполнении расчётов? Как вы их преодолели?

23. Какие выводы вы сделали по результатам этапа? Как результаты повлияют на конструкцию?

Вопросы для этапа 4 «Разработка конструкторской документации»

По конструкторской части:

1. Какие изменения в 3D-модели вы внесли по результатам CAE-анализа? Почему?

2. Как изменилась масса детали после доработки? Как изменилась прочность?

3. Какие поля допусков вы назначили на ответственные поверхности? Почему выбрали именно эти квалитеты и посадки?

4. Как вы рассчитали размерные цепи? Каким методом (полной взаимозаменяемости или вероятностным)? Почему?

5. Обеспечивается ли собираемость узла при принятых допусках?

6. Как вы оформили электронный архив конструкторской документации? Какая структура папок?

По технологической части:

7. Как вы оценивали технологичность деталей? Какие элементы оказались сложными для изготовления?

8. Какие рекомендации по изменению конструкции для повышения технологичности вы предложили?

9. Как вы обосновали выбор материала? Какие альтернативные материалы рассматривали?

10. Какой метод получения заготовки вы выбрали? Почему?

11. Какую термообработку вы назначили? Какие свойства должны быть достигнуты?

12. Как вы разработали маршрутный технологический процесс? Какие операции включили и почему?

13. Как вы выбрали оборудование и оснастку для механической обработки?

14. Как вы рассчитали режимы резания для операционной карты? Какие формулы и справочники использовали?

15. Как вы разработали технологический процесс сборки? Какие методы обеспечения точности предусмотрели?

Общие вопросы:

16. Соответствует ли разработанная документация требованиям ЕСКД и ЕСТД?

17. Какие трудности возникли при разработке конструкторской и технологической документации?

18. Какие выводы вы сделали по результатам этапа?

Вопросы для этапа 5 «Интеграция и защита выпускной квалификационной работы»

По содержанию ВКР:

1. Какова актуальность вашей работы? Какие задачи решает разработанная конструкция?

2. Какие основные результаты получены на каждом этапе сквозного проекта?

3. Какие новые технические решения предложены в вашей работе? В чём их новизна?

4. Каковы основные технические характеристики разработанного узла (системы)?

5. Какие результаты CAE-анализа являются ключевыми? Что они показывают?

6. Какова экономическая эффективность внедрения вашей разработки?

По практической значимости:

7. Может ли ваша разработка быть внедрена в производство? Что для этого необходимо?

8. На каких предприятиях может быть использована ваша работа?

9. Есть ли акт внедрения или рекомендательное письмо от предприятия?

По защите и презентации:

10. Почему вы выбрали именно такую структуру презентации? Какие слайды являются ключевыми?

11. Как вы готовились к защите? Сколько репетиций провели?

12. Какие вопросы вы ожидаете от членов ГЭК? Как вы на них ответите?

Общие вопросы по сквозному проекту в целом:

13. Как изменился ваш проект от этапа 1 до этапа 5? Какие решения пересматривались и почему?

14. Какие компетенции вы сформировали в ходе выполнения сквозного проекта?

15. Что было самым сложным в выполнении сквозного проекта? Что самым интересным?

16. Какие навыки, полученные при выполнении сквозного проекта, будут наиболее полезны в вашей будущей профессиональной деятельности?

Рекомендации для руководителя по проведению собеседования

Выбирайте вопросы из перечня в зависимости от специфики темы и уровня подготовки обучающегося. Начинайте с общих вопросов, затем переходите к более детальным. Обращайте внимание не только на правильность ответа, но и на его аргументированность, использование профессиональной терминологии, способность делать выводы. При необходимости задавайте уточняющие вопросы. Фиксируйте качество ответов – это поможет при выставлении оценки. При неудовлетворительных ответах дайте обучающемуся рекомендации по устранению пробелов и назначьте повторное собеседование.

Рекомендации для обучающегося по подготовке к собеседованию

Внимательно перечитайте свой отчёт по этапу. Продумайте ответы на все вопросы из перечня, относящиеся к вашему этапу. Особое внимание уделите обоснованию принятых решений – почему вы сделали так, а не иначе. Будьте готовы пояснить любые цифры, графики, чертежи, представленные в отчёте. При ответе используйте профессиональную терминологию. Если вы не знаете ответа на вопрос, не пытайтесь угадать – честно признайтесь, что не знаете, но постарайтесь предположить, где можно найти ответ. Не бойтесь задавать уточняющие вопросы, если вы не поняли вопрос руководителя. Помните, что цель собеседования – проверить ваше понимание, а не «поймать» на незнании.

Приложение 5. Методические указания по подготовке презентации для защиты выпускной квалификационной работы (в рамках этапа 5)

Общие положения

Презентация является обязательным элементом защиты выпускной квалификационной работы. Она служит наглядным сопровождением доклада обучающегося и позволяет членам государственной экзаменационной комиссии и присутствующим лучше воспринять основные результаты работы. Качественно подготовленная презентация свидетельствует о высоком уровне подготовки выпускника и положительно влияет на итоговую оценку.

Ниже приведены рекомендации по структуре, содержанию, оформлению и подготовке презентации. Рекомендуемый объём презентации – 12–16 слайдов. Продолжительность доклада с использованием презентации – не более 10 минут. Презентация выполняется в программной среде Microsoft PowerPoint (или совместимой с ней, например LibreOffice Impress). Формат слайдов – 16:9 или 4:3 (в соответствии с форматом экрана в аудитории защиты).

---

1. Структура презентации

Рекомендуется следующая структура презентации:

Слайд 1. Титульный слайд

Слайд 2. Актуальность темы

Слайд 3. Цель и задачи работы

Слайд 4. Объект и предмет исследования. Анализ прототипов

Слайд 5. Техническое задание. Эскизная компоновка

Слайд 6. 3D-моделирование деталей

Слайд 7. Сборочная единица. Конструкторская документация

Слайд 8. Результаты CAE-анализа (прочностной анализ)

Слайд 9. Результаты CAE-анализа (тепловой и газодинамический анализ) – при наличии

Слайд 10. Оптимизация конструкции. Верификация

Слайд 11. Технологическая часть

Слайд 12. Эксплуатационная и диагностическая часть

Слайд 13. Экономическое обоснование

Слайд 14. Основные выводы и результаты работы

Слайд 15. Заключительный слайд (спасибо за внимание)

Примечание: в зависимости от специфики темы структура может быть изменена (объединение или разделение слайдов, добавление дополнительных слайдов). Количество слайдов может варьироваться от 12 до 16.

---

2. Рекомендуемое содержание слайдов

Слайд 1. Титульный слайд

Содержит следующие сведения:

- полное наименование университета (Московский политехнический университет);
- наименование факультета (Транспортный факультет) и кафедры (Энергоустановки для транспорта и малой энергетики);
- тему выпускной квалификационной работы;
- сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, номер группы);
- сведения о руководителе (должность, учёная степень, учёное звание, фамилия, инициалы);
- город и год выполнения работы.

Рекомендации по оформлению: фон – светлый (белый или светло-серый), шрифт – тёмный (чёрный или тёмно-синий). Тема работы выделяется полужирным шрифтом, размер шрифта – 24–28 пунктов. Остальной текст – 18–20 пунктов.

Слайд 2. Актуальность темы

Содержит обоснование актуальности выбранной темы:

- краткая характеристика современного состояния двигателестроения в данной области;
- проблемы, которые решает разработанная конструкция;
- практическая значимость работы.

Рекомендации по оформлению: текст в виде маркированного списка (3–5 пунктов). Объём текста на слайде – не более 50–70 слов. При возможности – небольшое иллюстративное изображение (схема, график, фотография).

Слайд 3. Цель и задачи работы

Содержит:

- чётко сформулированную цель работы (одно предложение);

• перечень задач, решённых в ходе выполнения работы (4–6 пунктов).

Рекомендации по оформлению: цель – в центре слайда, выделена полужирным шрифтом. Задачи – в виде нумерованного списка. Объём текста – не более 50 слов.

Слайд 4. Объект и предмет исследования. Анализ прототипов

Содержит:

• объект исследования (что проектируется или исследуется);

• предмет исследования (какие свойства, характеристики рассматриваются);

• краткий анализ существующих конструкций-прототипов (2–3 прототипа);

• обоснование выбора прототипа для проектирования.

Рекомендации по оформлению: использовать таблицу для сравнения прототипов (2–3 строки, 3–4 столбца) или маркированный список. Добавить схематические изображения прототипов (если есть).

Слайд 5. Техническое задание. Эскизная компоновка

Содержит:

• основные требования технического задания (2–3 ключевых требования);

• эскизную компоновку проектируемого узла (изображение).

Рекомендации по оформлению: текст требований – в виде маркированного списка. Изображение эскизной компоновки должно занимать не менее 40–50 процентов площади слайда.

Слайд 6. 3D-моделирование деталей

Содержит:

• перечень разработанных 3D-моделей деталей;

• скриншоты наиболее сложных или характерных деталей (2–3 изображения).

Рекомендации по оформлению: изображения должны быть чёткими, достаточного размера. Под каждым изображением – подпись (наименование детали). Допускается размещение на слайде 2–3 изображений.

Слайд 7. Сборочная единица. Конструкторская документация

Содержит:

- скриншот сборочной единицы (в сборе и/или в разрезе);
- перечень разработанных чертежей;
- изображение сборочного чертежа (уменьшенная копия) и спецификации.

Рекомендации по оформлению: скриншот сборки – центральное изображение на слайде. Чертежи могут быть показаны на дополнительном слайде или в виде уменьшенных копий.

Слайд 8. Результаты CAE-анализа (прочностный анализ)

Содержит:

- изображение конечно-элементной сетки (при необходимости);
- цветовую карту полей напряжений (эквивалентные напряжения по Мизесу);
- значения максимальных напряжений и коэффициентов запаса прочности.

Рекомендации по оформлению: цветовая карта должна занимать основную часть слайда. Шкала напряжений должна быть читаемой. На слайде также указать материал детали, величину максимальных напряжений и минимальный коэффициент запаса прочности.

Слайд 9. Результаты CAE-анализа (тепловой и газодинамический анализ) – при наличии

Содержит (в зависимости от выполненного анализа):

- цветовую карту полей температур (тепловой анализ);
- цветовые карты полей давлений и скоростей (газодинамический анализ);
- значения максимальных температур, давлений, скоростей, гидравлических потерь.

Рекомендации по оформлению: аналогично слайду 8. При наличии нескольких типов анализа можно разделить на два слайда.

Слайд 10. Оптимизация конструкции. Верификация

Содержит:

- результаты оптимизации (сравнение исходного и оптимизированного вариантов – масса, прочность);
- результаты верификации (сравнение расчётных данных с теоретическими или литературными).

Рекомендации по оформлению: использовать таблицу для сравнения параметров исходного и оптимизированного вариантов. При верификации – график или диаграмма сравнения.

Слайд 11. Технологическая часть

Содержит:

- основные результаты анализа технологичности;
- выбранный материал, метод получения заготовки, термообработка;
- схема маршрутного технологического процесса;
- эскиз наладки на операцию (из операционной карты).

Рекомендации по оформлению: маршрутный процесс – в виде схемы или таблицы. Эскиз наладки – в центре слайда или справа.

Слайд 12. Эксплуатационная и диагностическая часть

Содержит:

- типовые неисправности и их признаки (таблица или схема);
- «дерево отказов» (схема);
- алгоритм диагностики (блок-схема).

Рекомендации по оформлению: «дерево отказов» и блок-схема алгоритма должны быть чёткими, с читаемыми надписями. При большом объёме информации – разделить на два слайда.

Слайд 13. Экономическое обоснование

Содержит:

- основные экономические показатели (затраты на разработку, себестоимость, ожидаемый экономический эффект);
- график или диаграмму, иллюстрирующие экономическую эффективность.

Рекомендации по оформлению: данные представить в виде таблицы (3–5 строк) или диаграммы. Избегать перегруженности цифрами – только основные, итоговые показатели.

Слайд 14. Основные выводы и результаты работы

Содержит:

- краткое изложение основных результатов по каждому этапу сквозного проекта (4–6 пунктов);
- оценку достижения цели работы;
- практическую значимость и возможность внедрения.

Рекомендации по оформлению: маркированный список. Каждый пункт – одно-два предложения. Выводы должны быть краткими, но содержательными.

Слайд 15. Заключительный слайд (спасибо за внимание)

Содержит:

- фразу «Спасибо за внимание!» или «Благодарю за внимание!»;
- приглашение к вопросам («Готов ответить на ваши вопросы»).

Рекомендации по оформлению: минималистичный дизайн, возможно использование фонового изображения, связанного с темой работы (например, 3D-модель двигателя на размытом фоне).

---

3. Требования к оформлению презентации

3.1. Общие требования

- Единый стиль оформления всех слайдов (фон, шрифты, цветовая гамма, расположение заголовков).
- Фон – светлый (белый, светло-серый, светло-голубой). Тёмный фон допускается только при условии высокой контрастности текста и изображений.
- Цветовая гамма – не более 3–4 основных цветов. Избегать кислотных и плохо сочетаемых цветов.
- Заголовки слайдов – одинаковый размер и начертание на всех слайдах (рекомендуется – 28–32 пункта, полужирный).
- Текст на слайдах – не менее 20–24 пунктов для основного текста, не менее 16–18 пунктов для подписей и примечаний.

3.2. Требования к тексту

- Текст должен быть кратким, тезисным. Не копируйте на слайды большие абзацы из пояснительной записки.
- Один слайд – одна мысль. Максимальное количество строк на слайде – 10–12, максимальное количество слов на слайде – 80–100.
- Используйте маркированные и нумерованные списки вместо сплошного текста.
- Ключевые слова и цифры выделяйте полужирным шрифтом или цветом.
- Избегайте орфографических, пунктуационных и стилистических ошибок.

3.3. Требования к визуализации

- Все изображения (скриншоты 3D-моделей, чертежи, цветовые карты, графики, схемы) должны быть чёткими и читаемыми.
- Минимальный размер шрифта на изображениях (подписи, цифры на осях графиков) – 12–14 пунктов (при демонстрации на экране).
- Цветовые карты должны быть с подписанной шкалой (минимальное и максимальное значение).
- Графики должны иметь подписанные оси и единицы измерения.
- Схемы и блок-схемы должны быть выполнены с использованием стандартных условных обозначений.

3.4. Анимация и переходы

- Допускается использование простых анимационных эффектов (появление текста и изображений) для последовательного раскрытия информации.
- Избегайте избыточной анимации (вращение, вылетание, многократное мигание) – это отвлекает внимание.
- Переходы между слайдами – простые (затухание, выцветание). Время перехода – 0,5–1 секунда.

---

4. Рекомендации по подготовке к выступлению

- Заранее подготовьте текст доклада, соответствующий слайдам. Доклад не должен дословно повторять текст на слайдах – слайды служат иллюстрацией и опорой.
- Проведите хронометраж доклада. Рекомендуемое время – 8–10 минут. При превышении – сократите текст или количество слайдов.
- Проведите репетицию перед зеркалом или перед коллегами. Отработайте интонацию, паузы, жесты.
- Убедитесь, что вы умеете управлять презентацией (переключение слайдов, возврат к предыдущему слайду, запуск видео при наличии).
- При возможности – проверьте презентацию на оборудовании в аудитории защиты заранее (совместимость версий, шрифты, разрешение, цветопередача).
- Имейте при себе запасную копию презентации на флешнакопителе и, при возможности, в облачном хранилище.

---

5. Пример распределения времени доклада по слайдам

Слайды	Тема	Рекомендуемое время (секунды)
1	Титульный слайд	10–15
2	Актуальность темы	30–40
3	Цель и задачи работы	30–40
4	Объект и предмет исследования. Анализ прототипов	40–50
5	Техническое задание. Эскизная компоновка	30–40
6	3D-моделирование деталей	30–40
7	Сборочная единица. Конструкторская документация	30–40
8	Результаты CAE-анализа (прочностной анализ)	40–50
9	Результаты CAE-анализа (тепловой и газодинамический)	30–40
10	Оптимизация конструкции. Верификация	30–40
11	Технологическая часть	40–50
12	Эксплуатационная и диагностическая часть	40–50
13	Экономическое обоснование	30–40
14	Основные выводы и результаты работы	40–50

Слайды	Тема	Рекомендуемое время (секунды)
15	Заключительный слайд	5–10
Итого		**480–600 (8–10 минут)**

---

6. Типичные ошибки при подготовке презентации

- Перегруженность слайдов текстом (более 100 слов на слайде).
- Мелкий шрифт (менее 20 пунктов для основного текста).
- Нечитаемые цветовые сочетания (жёлтый на белом, синий на чёрном).
- Отсутствие единого стиля (разные шрифты, размеры, цвета на соседних слайдах).
- Размытые, нечёткие изображения.
- Отсутствие подписей к изображениям и графикам.
- Орфографические и пунктуационные ошибки.
- Избыточная анимация.
- Превышение количества слайдов (более 16) или времени доклада (более 10 минут).
- Чтение текста со слайдов дословно (слайды должны иллюстрировать, а не дублировать доклад).

---

7. Пример шаблона презентации (описание)

Слайд 1 (титульный):

Московский политехнический университет
Транспортный факультет
Кафедра «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема: «Проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного механизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания»

Выполнил: студент гр. 241-111 Иванов И.И.
Руководитель: доцент, к.т.н. Петров П.П.

Москва, 2026

Слайд 2 (актуальность):

Актуальность темы

- Поршневые двигатели – основной тип двигателей для автотранспорта
- Кривошипно-шатунный механизм – одна из наиболее нагруженных систем
- Повышение ресурса и снижение массы – актуальные задачи двигателестроения
- Разработанная конструкция позволяет снизить массу КШМ на 12% без потери прочности

Слайд 8 (прочностной анализ):

Прочностной анализ шатуна (ANSYS Workbench)
Материал: сталь 40Х, предел текучести 785 МПа
Максимальные напряжения: 412 МПа
Коэффициент запаса прочности: 1,9 (≥ 1,5 – норма)

[изображение цветовой карты напряжений]

---

8. Заключительные рекомендации

Презентация является вашим «лицом» на защите. Отнеситесь к её подготовке с максимальной ответственностью. Помните, что хорошая презентация – это не просто набор слайдов, а инструмент, помогающий вам донести до комиссии суть вашей работы. Потратьте время на выверку каждой детали: шрифтов, цветов, расположения элементов, грамотности текста. Проведите репетицию с презентацией несколько раз, пока выступление не станет естественным и уверенным. Успешная защита – это результат не только качественно выполненной работы, но и грамотной её презентации.

Приложение 6. Перечень рекомендуемого программного обеспечения с указанием версий и ссылок на учебные материалы

Общие положения

Для успешного выполнения сквозного проекта обучающимся необходимо освоить ряд программных продуктов, включая CAD-системы для 3D-моделирования и оформления конструкторской документации, CAE-пакеты для прочностного, теплового и газодинамического анализа, а также вспомогательное программное обеспечение для расчётов и оформления отчётной документации. Большинство перечисленных программных продуктов предоставляется Московским политехническим университетом в рамках лицензионных соглашений или доступно для бесплатного скачивания студентам через образовательные программы производителей.

Ниже приведён перечень рекомендуемого программного обеспечения с указанием версий, способов получения доступа и ссылок на официальные учебные материалы.

---

1. CAD-системы (для этапов 2 и 4)

1.1. КОМПАС-3D

Назначение: параметрическое 3D-моделирование деталей, создание сборочных единиц, оформление конструкторской документации (чертежи, спецификации) в соответствии с ЕСКД.

Рекомендуемая версия: КОМПАС-3D v20, v21, v22, v23 (университетская лицензия или учебная версия).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах кафедры. Для самостоятельной установки на домашний компьютер доступна учебная версия на сайте разработчика (АСКОН) после регистрации .

Официальные учебные материалы:

- Самоучитель КОМПАС-3D V20 (А.А. Герасимов) – подробное руководство по настройке, моделированию и оформлению чертежей .

- Официальный сайт КОМПАС-3D – раздел «Обучающие материалы» (статьи, видеоуроки): https://kompas.ru/publications/articles/
- «Азбука КОМПАС-3D» – встроенное учебное пособие (доступно из Стартовой страницы программы) .

1.2. SolidWorks

Назначение: параметрическое 3D-моделирование, создание сборок, оформление чертежей, базовые CAE-расчёты.

Рекомендуемая версия: SolidWorks 2022 Education Edition или более новая (предоставляется по образовательной лицензии).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах кафедры. Для самостоятельной установки доступна студенческая версия через программу SolidWorks Student Edition (требуется подтверждение статуса студента).

Официальные учебные материалы:

- Встроенные пошаговые учебные пособия (Tutorials) – доступны через вкладку Learn в программе .
- Introducing SOLIDWORKS – встроенное руководство по основам работы .
- Официальный сайт SOLIDWORKS – раздел с видеоуроками (Online Tutorials): https://www.solidworks.com/sw/support/tutorials.htm .

1.3. Siemens NX

Назначение: профессиональное 3D-моделирование, синхронное моделирование, управление данными об изделии (PDM).

Рекомендуемая версия: Siemens NX (версия, предоставляемая университетом, или NX Student Edition).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах кафедры. Для самостоятельной установки доступна бесплатная NX Student Edition для студентов (требуется регистрация на сайте Siemens) .

Официальные учебные материалы:

- Официальный сайт Siemens – раздел для студентов: https://www.siemens.com/global/en/products/designcenter/nx-cad-software/academic/student-software.html
- Siemens Xcelerator Academy – бесплатные онлайн-курсы для студентов (требуется подтверждение статуса студента) .
- Встроенная справочная система и учебные примеры.

2. CAE-пакеты (для этапа 3)

2.1. ANSYS Workbench

Назначение: проведение прочностного (FEA), теплового и газодинамического (CFD) анализа, оптимизация конструкции.

Рекомендуемая версия: ANSYS Workbench (актуальная версия, предоставляемая университетом).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах кафедры и на вычислительных серверах. Для студентов доступна бесплатная студенческая версия ANSYS Student (ограничена размером моделей) на официальном сайте.

Официальные учебные материалы:

- Официальная документация ANSYS Workbench (User's Guide, DesignXplorer User's Guide, Engineering Data User's Guide) – доступна в программе и на сайте поддержки: https://ansyshelp.ansys.com/ .
- ANSYS Learning Resources – официальные учебные материалы и видеоуроки: https://www.ansys.com/training-center.

2.2. Siemens Simcenter (NX CAE, STAR-CCM+)

Назначение: многодисциплинарный инженерный анализ (прочностной, тепловой, CFD), моделирование течений жидкостей и газов.

Рекомендуемая версия: актуальная версия, предоставляемая университетом.

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах кафедры.

Официальные учебные материалы:

- Simcenter STAR-CCM+ Documentation – официальная документация (доступна в программе).
- Siemens Xcelerator Academy – онлайн-курсы для студентов (требуется подтверждение статуса студента) .
- Встроенные учебные примеры и туториалы.

2.3. OpenFOAM

Назначение: открытое программное обеспечение для вычислительной гидродинамики (CFD).

Рекомендуемая версия: OpenFOAM v11 или более новая.

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО (лицензия GPL). Доступно для скачивания на официальном сайте.

Официальные учебные материалы:

- Официальная документация OpenFOAM – User Guide, Tutorial Guide, Programmer's Guide: https://www.openfoam.com/documentation .
- Вики-ресурс с учебными примерами: https://wiki.openfoam.com/ .

2.4. Salome Platform

Назначение: построение расчётных сеток (препроцессинг), подготовка геометрии к расчёту в CAE-пакетах.

Рекомендуемая версия: Salome v9.x или более новая.

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО (лицензия LGPL). Доступно для скачивания на официальном сайте.

Официальные учебные материалы: официальный сайт Salome – документация и учебные примеры.

2.5. ParaView

Назначение: визуализация результатов численного моделирования (цветовые карты, векторные поля, графики).

Рекомендуемая версия: ParaView v5.x или более новая.

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО (лицензия BSD). Доступно для скачивания на официальном сайте.

Официальные учебные материалы: официальный сайт ParaView – документация и учебные примеры.

---

3. Программное обеспечение для расчётов и обработки данных

3.1. Mathcad

Назначение: выполнение инженерных расчётов, оформление расчётных блоков с формулами, графиками и единицами измерения.

Рекомендуемая версия: Mathcad Prime (актуальная версия, предоставляемая университетом, или бесплатная студенческая версия PTC Mathcad Express).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах. Для самостоятельной установки доступна бесплатная студенческая версия на сайте PTC Education .

Официальные учебные материалы:

- Официальный сайт PTC Mathcad – раздел для образования: https://www.mathcad.com/en/education .
- Вебинары и учебные материалы PTC.

3.2. MATLAB

Назначение: численные расчёты, обработка экспериментальных данных, разработка алгоритмов, визуализация.

Рекомендуемая версия: MATLAB (актуальная версия, предоставляемая университетом).

Способ получения доступа: предоставляется университетом в компьютерных классах. Доступна бесплатная студенческая версия на сайте MathWorks (требуется регистрация с использованием университетской электронной почты) .

Официальные учебные материалы:

- MATLAB Academy – серия онлайн-курсов для студентов (бесплатно при регистрации через университет) .
- Официальная документация MathWorks.

---

4. Офисное и вспомогательное программное обеспечение

4.1. Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint)

Назначение: оформление пояснительной записки (Word), выполнение расчётов и таблиц (Excel), подготовка презентации для защиты (PowerPoint).

Рекомендуемая версия: Microsoft Office 2016 или более новая.

Способ получения доступа: предоставляется университетом (университетская подписка Microsoft Office 365 Education). Доступно для скачивания после входа в университетскую учётную запись.

4.2. LibreOffice

Назначение: альтернативный офисный пакет для оформления документации (при отсутствии Microsoft Office).

Рекомендуемая версия: LibreOffice 7.x или более новая.

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО. Доступно для скачивания на официальном сайте.

4.3. Adobe Acrobat Reader

Назначение: просмотр PDF-файлов (чертежи, отчёты, презентации).

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО.

4.4. PDF Creator

Назначение: создание PDF-файлов из любых документов (для сдачи отчётов в электронном виде).

Способ получения доступа: свободно распространяемое ПО.

---

5. Специализированное программное обеспечение

5.1. Антиплагиат.ВУЗ

Назначение: проверка текста выпускной квалификационной работы на объём заимствований.

Способ получения доступа: доступ предоставляется через университетскую систему. Проверка осуществляется руководителем или сотрудником кафедры.

5.2. OBD Auto Doctor (или аналоги)

Назначение: диагностика электронных систем управления двигателем (при выполнении эксплуатационно-диагностической части).

Способ получения доступа: демо-версия или бесплатная версия с ограниченным функционалом.

---

6. Общие рекомендации по освоению программного обеспечения

Для эффективного освоения перечисленных программных продуктов рекомендуется соблюдать следующий порядок действий.

Изучите встроенные учебные пособия (tutorials) – они есть во всех CAD-системах и большинстве CAE-пакетов. Встроенные пособия позволяют освоить базовые операции за несколько часов.

Просмотрите видеоуроки на официальных сайтах производителей и на образовательных платформах (YouTube, образовательные порталы университета). Многие производители публикуют серии видеоуроков для начинающих.

Используйте печатные и электронные учебные пособия. Для КОМПАС-3D рекомендуется «Самоучитель КОМПАС-3D V20» А.А. Герасимова . Для ANSYS Workbench – учебные пособия К.А. Басова и других авторов.

Практикуйтесь на простых примерах, постепенно переходя к сложным. Не пытайтесь сразу моделировать сложные детали – начните с простых геометрических тел.

При возникновении трудностей обращайтесь за консультацией к руководителю, преподавателям кафедры, а также к онлайн-сообществам пользователей (форумы АСКОН для КОМПАС-3D, форумы пользователей ANSYS и OpenFOAM).

Для CAE-пакетов особое внимание уделите верификации расчётных моделей – сравнивайте полученные результаты с теоретическими данными или литературными источниками .

7. Сводная таблица программного обеспечения

№	Наименование ПО	Назначение	Лицензия	Основной ресурс
1	КОМПАС-3D	CAD-моделирование, чертежи	Университетская / учебная	https://kompas.ru
2	SolidWorks	CAD-моделирование, чертежи	Университетская / студенческая	https://www.solidworks.com
3	Siemens NX	CAD-моделирование, CAE	Университетская / студенческая	https://www.siemens.com/nx
4	ANSYS Workbench	CAE (прочностной, тепловой,	Университетская / студенческая	https://www.ansys.com

№	Наименование ПО	Назначение	Лицензия	Основной ресурс
		CFD)		
5	OpenFOAM	CFD (открытое ПО)	Свободная (GPL)	https://www.openfoam.com
6	Mathcad	Инженерные расчёты	Университетская / студенческая	https://www.mathcad.com
7	MATLAB	Численные расчёты, алгоритмы	Университетская / студенческая	https://www.mathworks.com
8	Microsoft Office	Оформление документации	Университетская (Office 365)	https://www.microsoft.com/education
9	LibreOffice	Оформление документации (альтернатива)	Свободная	https://www.libreoffice.org
10	Антиплагиат.ВУЗ	Проверка уникальности текста	Университетская	Доступ через университет

8. Примечания

1. Все программные продукты, требующие лицензирования, предоставляются Московским политехническим университетом в рамках лицензионных соглашений. Установка на домашние компьютеры осуществляется в соответствии с условиями

этих соглашений (обычно разрешена для студентов на период обучения).

2. При использовании студенческих версий могут быть ограничения (например, размер модели в ANSYS Student не более 512 тыс. узлов). Для выполнения сквозного проекта этих ограничений, как правило, достаточно.

3. Рекомендуется использовать единую CAD-систему на протяжении всего сквозного проекта для обеспечения совместимости файлов между этапами. При переходе между разными CAD-системами возможны потери данных при конвертации.

4. Актуальные ссылки на учебные материалы и версии программного обеспечения уточняются на официальных сайтах производителей. Данные в приложении приведены по состоянию на 2026 учебный год.

Приложение 7. Образец титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта

Общие положения

Титульный лист отчёта по этапу сквозного проекта является первой страницей отчёта, оформляемого по результатам выполнения каждого из этапов 1–4. Титульный лист отличается от титульного листа выпускной квалификационной работы (Приложение 4 к рабочей программе ГИА) наличием информации об этапе, грифом «К защите на этапе...» (с указанием номера этапа) и отсутствием грифа «Допускается к защите» заведующего кафедрой (так как защита этапа проводится перед руководителем практики или комиссией кафедры). Титульный лист оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД и локальными нормативными актами университета.

Ниже приведён шаблон титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта, который может быть использован для этапов 1, 2, 3 и 4. Номер этапа и его наименование указываются в соответствующей строке.

Шаблон титульного листа отчёта по этапу сквозного проекта

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»

ОТЧЁТ

о выполнении этапа _____ сквозного проекта

(наименование этапа)

Студент(ка):

_____
__

(фамилия, имя, отчество полностью, номер учебной группы)

Тема сквозного проекта: _____

Руководитель сквозного проекта: _____

(должность, учёная степень, учёное звание, фамилия, инициалы)

К защите на этапе _____

(номер этапа)

Дата сдачи отчёта: «» _____ *20* г.

Дата защиты этапа: «» _____ *20* г.

Москва – 20___ г.

Пример заполнения для этапа 2 (для наглядности)

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»

ОТЧЁТ

о выполнении этапа 2 сквозного проекта

(CAD. Освоение)

Студент: Иванов Иван Иванович, группа 241-111

Тема сквозного проекта: Проектирование, расчёт и технологическая подготовка производства кривошипно-шатунного механизма рядного четырёхцилиндрового двигателя внутреннего сгорания

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

К защите на этапе 2

Дата сдачи отчёта: 01.12.2026 г.

Дата защиты этапа: 20.12.2026 г.

Москва – 2026 г.

Рекомендации по оформлению титульного листа отчёта по этапу

- Титульный лист выполняется на листе белой бумаги формата А4 (297×210 мм).
- Поля страницы: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм.
- Шрифт – Times New Roman, 14 кегль (основной текст). Наименование «ОТЧЁТ о выполнении этапа...» – 16–18 кегль, полужирный, прописные буквы.
- Наименование министерства, университета, факультета и кафедры печатается шрифтом 14 кегль.
- Строка «К защите на этапе ...» располагается в нижней части титульного листа перед городом и годом.
- Город и год выполнения указываются внизу по центру. Год указывается без слова «год» (например, «2026»).
- Номер страницы на титульном листе не проставляется, но титульный лист учитывается в общей нумерации страниц отчёта (как страница 1).

Отличия от титульного листа выпускной квалификационной работы

Элемент	Титульный лист отчёта по этапу	Титульный лист ВКР
Заголовок	«ОТЧЁТ о вы-	«ВЫПУСКНАЯ

Элемент	Титульный лист отчёта по этапу	Титульный лист ВКР
	полнении этапа X сквозного проекта»	КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА»
Указание этапа	Присутствует (в заголовке и в грифе «К защите на этапе X»)	Отсутствует
Гриф «ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ» с подписью зав. кафедрой	Отсутствует	Присутствует
Гриф «К защите на этапе X» с датами сдачи и защиты	Присутствует	Отсутствует
Нормоконтролёр	Отсутствует	Присутствует (при необходимости)
Консультанты	Отсутствуют (обычно)	Могут присутствовать

Примечание

При выполнении этапа 4, состоящего из двух частей (конструкторская часть – 6 семестр, технологическая часть – 7 семестр), оформляются два отдельных отчёта с соответствующими титульными листами. В заголовке отчёта указывается: «ОТЧЁТ о выполнении этапа 4 сквозного проекта (конструкторская часть)» и «ОТЧЁТ о выполнении этапа 4 сквозного проекта (технологическая часть)». Гриф «К защите на этапе 4» сохраняется для обеих частей, так как защита проводится в разных семестрах.