Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.06.2026 12:15:50
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
к.т.н., профессор  /В.В. Галевко/

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н.  /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 6
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины 7
3.3. Содержание дисциплины 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 8
3.4.1. Семинарские/практические занятия 8
3.4.2. Лабораторные занятия 8
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 8
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 8
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 8
4.2. Основная литература 9
4.3. Дополнительная литература 9
4.4. Электронные образовательные ресурсы 9
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 9
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 9
5. Материально-техническое обеспечение 10
6. Методические рекомендации 11
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 11
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 12
7. Фонд оценочных средств 12
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 13
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения 14
7.3. Оценочные средства 15
Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации успеваемости. Вопросы для собеседования со студентами. 18

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся комплекса теоретических знаний и практических навыков, необходимых для эффективного проектирования, расчёта и оптимизации конструкции поршневых двигателей различного назначения, обеспечивающих их работоспособность, надёжность и соответствие современным требованиям на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

Задачами дисциплины являются:

- изучение конструктивных схем, компоновок и особенностей устройства современных поршневых двигателей различных типов и назначения;
- освоение методик расчёта на прочность, жёсткость, износостойкость и долговечность основных деталей и узлов двигателя (поршневой группы, шатуна, коленчатого вала, головки цилиндров, элементов систем);
- формирование навыков определения нагрузок, действующих на детали двигателя в различных режимах работы, с учётом динамики и теплового состояния;
- изучение методов выбора материалов и назначения термической и химико-термической обработки для деталей двигателя, работающих в условиях высоких температур и циклических нагрузок;
- приобретение навыков расчёта и конструирования систем двигателя (смазочной, охлаждения, газораспределения, топливоподачи) и их элементов;
- освоение методов обеспечения технологичности конструкции, унификации и стандартизации при проектировании двигателей;
- формирование умения выполнять проектировочные и проверочные расчёты с использованием современных CAE-систем и нормативных документов;
- изучение методов оптимизации конструкции двигателя по критериям массы, габаритов, экономичности и экологических показателей.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2. Способен проводить расчетно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)	**ИПК-2.1.** Способен проводить комбинированный термомеханический анализ детали, работающей в условиях высоких температур и механических нагрузок
	ИПК-2.2. Способен выполнять анализ усталостной долговечности детали при циклическом нагружении, учитывая реальный спектр нагрузок
	ИПК-2.7. Способен выполнять верифицированный прочностной расчёт ответственной детали КШМ в CAE-среде на основе ранее рассчитанных динамических нагрузок

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Формирующая. Дисциплина обеспечивает изучение методов прочностного расчёта основных деталей поршневого двигателя: поршня, поршневых колец и пальца, шатуна, коленчатого вала, элементов корпуса (блок, гильза, головка), деталей газораспределительного механизма. Студенты осваивают аналитические методы определения напряжений в опасных зонах, расчёта запасов прочности при статических и циклических нагрузках, оценки износостойкости сопряжений. В ходе выполнения курсового проекта и практических занятий формируются навыки определения расчётных нагрузок (с использованием результатов динамического расчёта), проведения термомеханического анализа деталей, работающих в

условиях высоких температур и механических нагрузок (ИПК-2.1), оценки усталостной долговечности при циклическом нагружении (ИПК-2.2), а также подготовки исходных данных для верифицированного прочностного расчёта в CAE-среде (ИПК-2.7).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Конструирование и расчет поршневых двигателей»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.8) и изучается в **6-м семестре** с курсовым проектом.

Данная дисциплина является **ядром третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация»**, интегрируя знания из предшествующих дисциплин для выполнения комплексного расчёта и конструирования поршневого двигателя или его узлов. Результаты, полученные в ходе изучения дисциплины, становятся основой для разработки полного комплекта конструкторской документации на четвёртом этапе.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр): знание устройства, принципов работы и конструктивных особенностей основных узлов и систем двигателя необходимо для понимания объекта конструирования.
- **Инженерная механика в энергетическом машиностроении** (Б1.1.16, 3 семестр): знание законов статики, кинематики и динамики необходимо для определения нагрузок на детали двигателя.
- **Сопротивление материалов** (Б1.1.15, 3-4 семестры): знание методов расчёта на прочность, жёсткость и устойчивость является основой для прочностных расчётов деталей двигателя.
- **Инженерная механика машин и механизмов** (Б1.1.21, 4 семестр): понимание кинематики и динамики механизмов необходимо для анализа работы кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов.
- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр) и **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): знание термодинамических циклов и рабочих процессов необходимо для определения тепловых нагрузок и параметров рабочего тела.
- **Конструкционные материалы поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.1.13, 3 семестр): знание свойств материалов и методов их упрочнения необходимо для обоснованного выбора при конструировании.
- **Нормирование точности и метрология в энергетическом машиностроении** (Б1.1.14, 3 семестр): знание основ взаимозаменяемости, допусков и посадок необходимо для назначения точности сопрягаемых деталей.
- **Автоматизированное проектирование в двигателестроении** (Б1.1.12, 2-3 семестры) и **Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин** (Б1.1.9, 1-2 семестры): владение CAD-системами и знание правил оформления КД необходимо для разработки чертежей и 3D-моделей.
- **Конструирование и расчет механизмов энергетических установок** (Б1.1.22, 5-6 семестры), изучаемое параллельно, даёт общие методы расчёта деталей машин, конкретизируемые применительно к двигателям.
- **Динамический расчет поршневых двигателей** (Б1.2.4, 5 семестр): выполняется в предшествующем семестре, обеспечивая исходные данные (силы, моменты) для прочностных расчётов.
- **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): знание устройства и принципов работы систем необходимо для их расчёта и конструирования.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин и освоении элементов образовательной программы, обеспечивая завершение третьего и переход к четвёртому этапу сквозного проекта:

- **Расчет и оптимизация деталей двигателя** (Б1.2.9, 6 семестр) – выполняется параллельно, углубляя методы расчёта с применением CAE-систем для оптимизации конструкций.

- **Разработка конструкторской документации на двигатели и их компоненты** (Б1.2.15, 7 семестр): использует результаты расчётов и конструирования для выпуска полного комплекта КД (IV этап).
- **Технологическая подготовка производства в машиностроении** (Б1.2.16, 7 семестр): учитывает конструктивные решения при разработке технологических процессов изготовления деталей (IV этап).
- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): результаты расчётов верифицируются при испытаниях опытных образцов (IV этап).
- **Виброакустика на транспорте** (Б1.2.11, 7 семестр) и **Снижение шума и вибрации автотранспортных средств** (Б1.2.10, 6 семестр): требуют учёта динамических характеристик спроектированного двигателя.
- Все последующие дисциплины, связанные с разработкой, испытаниями и эксплуатацией двигателей, а также подготовка и защита выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5 зачетных единиц (180 часов)**.

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			6
1	Аудиторные занятия	72	72
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	54	54
1.3	Лабораторные занятия	–	–
2	Самостоятельная работа	108	108
3	Промежуточная аттестация		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Экзамен	Экзамен
	Курсовой проект	Курсовой проект	Курсовой проект
	Итого	**180**	**180**

Примечание: курсовой проект выполняется в рамках часов самостоятельной работы.

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Самостоятельная работа
Семестр 6	**Конструирование и расчет поршневых двигателей**					
1	Тема 1. Введение. Общие принципы конструирования и расчётные режимы	10	4	2	2	6
2	Тема 2. Расчёт поршня	22	10	2	8	12
3	Тема 3. Расчёт поршневых колец и поршневого пальца	20	8	2	6	12
4	Тема 4. Расчёт шатуна	26	12	2	10	14
5	Тема 5. Расчёт коленчатого вала	30	14	4	10	16
6	Тема 6. Расчёт элементов корпуса двигателя (блок, гильза, головка)	24	10	2	8	14
7	Тема 7. Расчёт деталей газораспределительного механизма	24	10	2	8	14
8	Тема 8. Оценка работоспособности сопряжений и износостойкости	10	4	2	2	6

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Самостоятельная работа
9	Выполнение курсового проекта	14	–	–	–	14
	Итого за 1 семестр	**180**	**72**	**18**	**54**	**108**

3.3. Содержание дисциплины

Семестр 6. Конструирование и расчет поршневых двигателей

Тема 1. Введение. Общие принципы конструирования и расчётные режимы

Роль дисциплины в сквозном проектировании: обеспечение прочности, надёжности и эффективности конструкции через инженерный анализ. Общие принципы конструирования деталей двигателя. Расчётные режимы работы двигателя: режим номинальной мощности, режим максимального крутящего момента, режим максимальной частоты вращения холостого хода. Основные нагрузки, действующие на детали двигателя: силы давления газов, силы инерции, силы трения. Методы оценки работоспособности: расчёт на прочность (статическую и усталостную), расчёт на жёсткость, расчёт на износостойкость. Понятие о запасе прочности и допускаемых напряжениях. Определение напряжённо-деформированного состояния методами дискретного моделирования (конечно-элементный анализ).

Тема 2. Расчёт поршня

Конструкция поршня и материалы. Условия работы поршня (высокие температуры, давление газов, инерционные нагрузки). Расчёт поршня на прочность. Определение напряжений в наиболее опасных зонах: днище поршня (напряжения изгиба), кольцевые перемычки (срез и смятие), бобышки (смятие). Расчёт поршня на нагретое состояние (тепловые напряжения). Конструктивные мероприятия по снижению напряжений и тепловой напряжённости (охлаждение поршня, профилирование юбки). Определение зазоров между поршнем и цилиндром.

Тема 3.Расчёт поршневых колец и поршневого пальца

Назначение, конструкция и материалы поршневых колец. Расчёт компрессионных колец: распределение давления кольца на стенку цилиндра, напряжения изгиба при надевании на поршень, напряжения в рабочем состоянии. Расчёт маслосъёмных колец. Расчёт замка кольца. Конструкция и материалы поршневого пальца. Типы пальцев (плавающий, закреплённый). Расчёт поршневого пальца: на изгиб, на срез, на смятие в бобышках поршня и головке шатуна. Определение деформации пальца (овализация) и влияния на работу сопряжения.

Тема 4. Расчёт шатуна

Конструкция шатуна и материалы. Особенности конструкции верхней и нижней головок, стержня шатуна. Расчёт верхней головки шатуна: напряжения от запрессованной втулки, напряжения от сил инерции и давления газов. Определение запаса прочности в сечении А-А. Оценка поперечной деформации головки. Расчёт стержня шатуна на устойчивость и прочность при совместном действии сил сжатия и изгиба. Расчёт нижней головки шатуна и крышки. Расчёт шатунных болтов: силы затяжки, рабочие нагрузки, запас прочности. Конструктивные мероприятия по повышению прочности шатуна.

Тема 5. Расчёт коленчатого вала

Конструкция коленчатого вала и материалы. Способы изготовления (литьё, ковка). Силы, действующие на элементы коленчатого вала. Расчёт коренных и шатунных шеек на кручение и

изгиб. Определение удельного давления на поверхности шеек (подшипников). Расчёт щеки на изгиб и кручение. Определение запаса прочности в опасных сечениях (галтели, масляные отверстия). Расчёт коленчатого вала на усталостную прочность с учётом концентраторов напряжений, масштабного фактора, качества обработки поверхности. Способы повышения усталостной прочности коленчатых валов (азотирование, закалка ТВЧ, накатка галтелей).

Тема 6. Расчёт элементов корпуса двигателя (блок, гильза, головка)

Конструкция блока цилиндров и материалы. Расчёт блока на прочность и жёсткость (общие принципы). Конструкция и материалы гильз цилиндра (мокрые, сухие). Расчёт гильзы цилиндра: напряжения от давления газов, напряжения от запрессовки (для сухих гильз), температурные напряжения. Определение деформации гильзы. Конструкция головки блока цилиндров и материалы. Расчёт головки на прочность (общие принципы). Расчёт шпилек (болтов) крепления головки блока: силы предварительной затяжки, рабочие нагрузки, условие нераскрытия стыка. Конструктивные мероприятия по обеспечению герметичности газового стыка.

Тема 7. Расчёт деталей газораспределительного механизма

Конструкция механизма газораспределения (клапан, направляющая втулка, седло, пружина, распределительный вал). Расчёт клапана: напряжения в тарелке и стержне, тепловые напряжения, ударные нагрузки при посадке. Расчёт пружины клапана: определение усилий, расчёт на прочность и жёсткость, проверка на резонанс. Определение числа рабочих витков. Расчёт распределительного вала: нагрузки на кулачки, расчёт на изгиб и кручение, определение прогиба. Расчёт профиля кулачка (основные положения). Оценка износостойкости кулачка и толкателя.

Тема 8. Оценка работоспособности сопряжений и износостойкости

Виды сопряжений в двигателе (поршень-цилиндр, поршневое кольцо-цилиндр, поршневой палец-шатун, вал-вкладыш). Основные виды изнашивания. Расчёт сопряжений на износостойкость (гидродинамический расчёт подшипников скольжения). Определение минимальной толщины масляного слоя, критерий жидкостного трения. Влияние деформаций деталей на работу сопряжений. Конструктивные мероприятия по повышению износостойкости.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Определение расчётных нагрузок для различных режимов работы двигателя	2
2	Тема 2	Расчёт поршня: определение напряжений в днище и бобышках	4
3	Тема 2	Расчёт теплового состояния поршня и температурных напряжений	2
4	Тема 2	Определение зазоров между поршнем и цилиндром	2
5	Тема 3	Расчёт поршневых колец (напряжения при надевании, в рабочем состоянии)	4

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
6	Тема 3	Расчёт поршневого пальца на изгиб, срез, смятие и овализацию	4
7	Тема 4	Расчёт верхней головки шатуна	4
8	Тема 4	Расчёт стержня шатуна на прочность и устойчивость	4
9	Тема 4	Расчёт шатунных болтов	2
10	Тема 5	Расчёт коленчатого вала: определение сил, действующих на элементы вала	4
11	Тема 5	Расчёт коренных и шатунных шеек на прочность	4
12	Тема 5	Расчёт щеки коленчатого вала	2
13	Тема 6	Расчёт гильзы цилиндра (напряжения, деформации)	4
14	Тема 6	Расчёт шпилек крепления головки блока	4
15	Тема 7	Расчёт клапанной пружины	4
16	Тема 7	Расчёт распределительного вала (нагрузки, прогиб)	4
	Итого		**54**

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены учебным планом.

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект выполняется в 6-м семестре и является **завершающим этапом формирования компетенций по прочностному расчёту поршневого двигателя**. Результаты курсового проекта используются в выпускной квалификационной работе.

Примерные темы курсовых проектов:

1. Прочностной расчёт поршневой группы рядного четырёхцилиндрового бензинового двигателя.
2. Прочностной расчёт шатунной группы дизельного двигателя.
3. Прочностной расчёт коленчатого вала рядного четырёхцилиндрового двигателя.
4. Прочностной расчёт коленчатого вала V-образного шестицилиндрового двигателя.
5. Расчёт элементов корпуса (гильзы и шпилек головки блока) форсированного двигателя.
6. Расчёт деталей газораспределительного механизма (клапан, пружина, распределительный вал).

7. Прочностной расчёт поршня и шатуна двигателя с турбонаддувом.
8. Оценка усталостной прочности коленчатого вала с использованием CAD/CAE-систем.
9. Расчёт и анализ сопряжения «поршень – гильза цилиндра» на износостойкость.
10. Комплексный прочностной расчёт деталей кривошипно-шатунного механизма (по индивидуальному заданию).

Структура курсового проекта:

- Введение (актуальность, цель и задачи работы).
- Исходные данные для расчёта (параметры двигателя, материалы деталей, режимы нагружения).
- Определение расчётных нагрузок (с использованием результатов дисциплин «Динамический расчет поршневых двигателей» и «Теория рабочих процессов поршневых двигателей»).
- Расчёт детали (деталей) на прочность (статическую и усталостную) с определением запасов прочности.
- Анализ результатов расчёта и рекомендации по обеспечению требуемой надёжности.
- Заключение с выводами по работе.
- Список использованной литературы.
- Графическая часть (при необходимости): чертежи рассчитываемых деталей с указанием опасных сечений.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 14846–2020 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний
2. ГОСТ 10150– 2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия
3. ГОСТ Р 54120-2010 Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования

4.2. Основная литература

1. Баширов, Р. М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета : учебник / Р. М. Баширов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 336 с. — ISBN 978-5-8114-2741-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/96242

2. Уханов, А. П. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Голубев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 188 с. — ISBN 978-5-8114-4582-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — https://reader.lanbook.com/book/122188

4.3. Дополнительная литература

1. Автомобильные двигатели. Рабочие процессы, конструкция, основы расчёта и эксплуатации : учебник / Н. Г. Фаталиев, М. М. Аливагабов, А. Х. Бекеев, М. А. Арсланов. — Махачкала : ДагГАУ имени М.М.Джамбулатова, 2018. — 316 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://reader.lanbook.com/book/113001

2. Щерба, В. Е. Теория, расчет и конструирование поршневых компрессоров объемного действия: В. Е. Щерба. — 2-е изд., доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 323 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09232-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/517027

4.4. Электронные образовательные ресурсы

1. Курс «Конструирование и расчет ДВС»

URL: https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=9608

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

КиберЛенинка – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ») – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

Научная библиотека Московского политехнического университета – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

«Известия вузов. Машиностроение» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ) – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен:

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;
- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;

- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;

- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;

- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;

- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;

- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;

- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

При организации самостоятельной работы студентов следует:

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;

- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;

- осуществлять регулярный контроль выполнения.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;

- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;

- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:

- мультимедийные презентации для визуализации материала;

- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);

- дистанционные образовательные технологии;

- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объёме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;
- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (экзамена). Дисциплина «Конструирование и расчет поршневых двигателей» является формирующей для компетенции ПК-2, обеспечивая комплекс теоретических знаний и практических навыков, необходимых для эффективного проектирования, расчёта и оптимизации конструкции поршневых двигателей различного назначения, обеспечивающих их работоспособность, надёжность и соответствие современным требованиям на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

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

Индикаторы достижения компетенции:

- **ИПК-2.1.** Способен проводить комбинированный термомеханический анализ детали, работающей в условиях высоких температур и механических нагрузок.
- **ИПК-2.2.** Способен выполнять анализ усталостной долговечности детали при циклическом нагружении, учитывая реальный спектр нагрузок.
- **ИПК-2.7.** Способен выполнять верифицированный прочностной расчёт ответственной детали КШМ в CAE-среде на основе ранее рассчитанных динамических нагрузок.

Дисциплина «Конструирование и расчет поршневых двигателей» является ядром третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация», интегрируя знания из предшествующих дисциплин для выполнения комплексного расчёта и конструирования поршневого двигателя или его узлов. Результаты, полученные в ходе изучения дисциплины, становятся основой для разработки полного комплекта конструкторской документации на четвёртом этапе. В ходе изучения дисциплины студент осваивает общие принципы конструирования, методы расчёта поршня, поршневых колец и пальца, шатуна, коленчатого вала, элементов корпуса двигателя, деталей газораспределительного механизма, а также методы оценки работоспособности сопряжений и износостойкости.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

Текущее (рубежное) тестирование по модулям

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей дисциплины. Тестирование осуществляется в письменной или компьютерной форме и включает вопросы закрытого и открытого типа, а также расчётные задачи, направленные на проверку знаний

методов расчёта деталей двигателя, принципов конструирования, методов расчёта на прочность, усталость, износостойкость, тепловые напряжения. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к выполнению курсового проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7.

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать методы расчёта деталей, обосновывать выбор материалов, анализировать конструктивные параметры на работоспособность. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным, и направлен на выявление глубины усвоения материала, умения применять полученные знания для решения профессиональных задач. В рамках сквозного проекта устный опрос позволяет оценить способность студента обосновывать конструктивные решения и выполнять расчёты деталей проектируемого двигателя. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (определение расчётных нагрузок, расчёт поршня, расчёт поршневых колец и пальца, расчёт шатуна, расчёт коленчатого вала, расчёт гильзы цилиндра, расчёт шпилек крепления головки блока, расчёт клапанной пружины, расчёт распределительного вала) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. Результаты выполнения практических заданий фиксируются в виде отчётов, которые защищаются студентом в устной форме. Практические занятия ориентированы на формирование навыков прочностного расчёта деталей двигателя, необходимых для выполнения курсового проекта и третьего этапа сквозного проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7.

Курсовой проект

Курсовой проект выполняется в шестом семестре и является завершающим этапом формирования компетенций по конструированию и расчёту поршневых двигателей. Курсовой проект направлен на комплексное применение знаний и навыков для выполнения прочностного расчёта и конструирования узла поршневого двигателя. Выполнение курсового проекта позволяет оценить способность студента самостоятельно выполнять прочностной расчёт деталей двигателя, определять нагрузки, напряжения, запасы прочности, выбирать материалы и назначать термообработку, разрабатывать конструкторскую документацию, оценивать технологичность. Результаты курсового проекта используются в выпускной квалификационной работе. Проверяемые индикаторы: ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7.

Экзамен

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена по завершении изучения дисциплины. Экзамен позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса (по основным разделам конструирования и расчёта) и одно практическое задание (расчётная задача). Результаты экзамена определяют итоговую оценку по дисциплине и отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». Проверяемые индикаторы: ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Конструирование и расчет поршневых двигателей» формирует фундаментальные знания и навыки, необходимые для выполнения третьего этапа сквозного проекта — «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». В рамках этого этапа студент должен выполнить прочностной расчёт основных деталей двигателя, определить запасы прочности, обосновать выбор материалов, разработать конструкцию с учётом требований технологичности, подготовить исходные данные для CAE-анализа. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты курсового проекта и отчёта по третьему этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенции ПК-2 по дисциплине учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75% заданий теста (набрано более 15 баллов). Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет методами расчёта деталей двигателя, понимает принципы конструирования. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7 в части теоретических основ конструирования и расчёта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75% заданий теста (набрано 15 баллов и менее). Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в расчёте деталей, не может определить запасы прочности. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

7.2.2 Критерии оценки итогового тестирования по курсу

Итоговое тестирование проводится после завершения изучения всех модулей. Тест состоит из 30 заданий, охватывающих весь материал дисциплины. Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов — 30.

Оценка «отлично» выставляется студенту, набравшему от 29 до 30 баллов (97-100% правильных ответов). Студент демонстрирует системные теоретические знания по всем разделам дисциплины, уверенно выполняет расчёты деталей двигателя, обосновывает выбор материалов, назначает термообработку, рассчитывает запасы прочности. Сформированность индикаторов ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7 оценивается на продвинутом уровне, что позволяет студенту успешно выполнить курсовой проект и раздел сквозного проекта, связанный с прочностным расчётом.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, набравшему от 24 до 28 баллов (80-97% правильных ответов). Студент в целом демонстрирует системные теоретические знания, владеет большинством терминов, но допускает отдельные неточности в сложных вопросах, связанных с расчётом усталостной прочности или тепловых напряжений. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне, достаточном для выполнения курсового проекта.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от 18 до 23 баллов (60-80% правильных ответов). Студент демонстрирует знание основного материала, но допускает ошибки в деталях, испытывает затруднения при расчёте коленчатого вала или клапанной пружины, не в полной мере владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне, что требует дополнительной работы для успешного выполнения курсового проекта.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от 0 до 17 баллов (менее 60% правильных ответов). Студент не демонстрирует системных знаний, не владеет основными понятиями, не может выполнить прочностной расчёт деталей, допускает грубые ошибки. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение курсового проекта без дополнительной подготовки.

7.2.3 Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе и логически стройно его излагает. Студент демонстрирует полное знание методов расчёта поршня, шатуна, коленчатого вала, элементов корпуса, деталей ГРМ, методов оценки работоспособности сопряжений и износостойкости, принципов конструирования. Уверенно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. В контексте сквозного проекта такой уровень подготовки позволяет студенту самостоятельно выполнять прочностной расчёт деталей проектируемого двигателя.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет решать типовые задачи, но может испытывать затруднения при ответе на уточняющие вопросы или при объяснении сложных разделов (например, расчёт коленчатого вала на усталостную прочность). В целом демонстрирует хорошее владение профессиональной терминологией.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей. Студент допускает неточности и ошибки в изложении, испытывает затруднения при определении напряжений в опасных сечениях, обладает фрагментарными знаниями. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, требуют наводящих вопросов. Профессиональная терминология используется недостаточно уверенно.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может выполнить прочностной расчёт деталей. Отсутствует понимание критериев работоспособности. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению курсового проекта.

7.2.4 Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно, в установленные сроки. Студент продемонстрировал понимание методики решения задачи, способность применять теоретические знания для расчёта напряжений, деформаций, запасов прочности, выбора материалов, назначения термообработки. При защите студент аргументирует полученные результаты, отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует владение профессиональной терминологией. В рамках сквозного проекта успешное выполнение практических заданий позволяет студенту овладеть методами прочностного расчёта, необходимыми для выполнения курсового проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. Студент не понимает методику решения, не может объяснить полученные результаты, не отвечает на вопросы по существу задания, не владеет профессиональной терминологией. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.5 Критерии оценки курсового проекта

Курсовой проект выполняется в шестом семестре. Оценка выставляется по результатам защиты выполненного проекта. Защита проводится в форме устной презентации результатов с последующим ответом на вопросы преподавателя. Максимальная оценка — 5 баллов (отлично). Критерии оценки включают полноту выполнения задания, качество расчётов, правильность построения чертежей, обоснованность выводов, качество оформления пояснительной записки и презентации.

Оценка «отлично» выставляется студенту, который полностью выполнил курсовой проект в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует глубокое понимание методов конструирования и расчёта, самостоятельно выполняет прочностной расчёт детали (деталей), определяет нагрузки, напряжения, запасы прочности, обосновывает выбор материалов и термообработки, разрабатывает конструкторскую документацию. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, содержит все необходимые расчёты и чертежи. При защите студент свободно владеет материалом, аргументированно отвечает на вопросы, демонстрирует понимание взаимосвязей между конструктивными параметрами и работоспособностью детали. Сформированность индикаторов ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7 оценивается на продвинутом уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который выполнил курсовой проект в полном объёме, но допускает отдельные неточности в расчётах или незначительные отступления от требований к оформлению чертежей. Студент демонстрирует понимание методов расчёта, способен выполнять основные расчёты, но может испытывать затруднения при обосновании выбора материалов. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, но

содержит незначительные замечания. При защите студент в целом отвечает на вопросы, но может допускать неточности. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который выполнил курсовой проект, но допустил существенные ошибки в расчётах или не полностью выполнил требуемые разделы. Студент демонстрирует фрагментарные знания методов расчёта, испытывает значительные затруднения при определении напряжений и запасов прочности. Пояснительная записка оформлена с нарушениями требований. При защите студент отвечает на вопросы неуверенно, требует наводящих вопросов. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не выполнил курсовой проект, выполнил его не в полном объёме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания методов конструирования и расчёта, не может выполнить прочностной расчёт. Пояснительная записка отсутствует или оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить курсовой проект повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.6 Критерии оценки ответа на экзамене

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил программный материал по всем разделам, исчерпывающе и логически стройно излагает ответы на теоретические вопросы. Студент демонстрирует полное знание методов расчёта поршня, шатуна, коленчатого вала, элементов корпуса, деталей ГРМ, методов оценки работоспособности сопряжений и износостойкости, принципов конструирования. Уверенно и без ошибок выполняет практическое задание (расчётную задачу), аргументирует последовательность решения, делает обоснованные выводы. Даёт полные ответы на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов ИПК-2.1, ИПК-2.2, ИПК-2.7 оценивается на продвинутом уровне, что подтверждает готовность студента к выполнению третьего этапа сквозного проекта.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает ответы на теоретические вопросы, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и методами, умеет решать типовые задачи. Выполняет практическое задание в целом правильно, но может испытывать затруднения при обосновании отдельных этапов. На дополнительные вопросы отвечает в целом правильно, но допускает несущественные ошибки. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, допускает неточности и ошибки в изложении теоретических вопросов. Студент обладает фрагментарными знаниями по отдельным разделам. Выполняет практическое задание с помощью наводящих вопросов или допускает ошибки в расчётах. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, профессиональная терминология используется недостаточно уверенно. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает грубые ошибки в изложении теоретических вопросов. Студент не может выполнить практическое задание или выполняет его с грубыми ошибками, не понимает сути задания. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение третьего этапа сквозного проекта.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

7.3.1.1 Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 6-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определенные темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Расчёт поршневой группы, шатуна и коленчатого вала

Включает темы: Тема 1. Введение. Общие принципы конструирования и расчётные режимы; Тема 2. Расчёт поршня; Тема 3. Расчёт поршневых колец и поршневого пальца; Тема 4. Расчёт шатуна; Тема 5. Расчёт коленчатого вала.

Модуль 2 (недели 9–16) — Расчёт корпуса, ГРМ, износостойкости и курсовой проект

Включает темы: Тема 6. Расчёт элементов корпуса двигателя (блок, гильза, головка); Тема 7. Расчёт деталей газораспределительного механизма; Тема 8. Оценка работоспособности сопряжений и износостойкости; Тема 9. Выполнение курсового проекта.

7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

7.3.1.2.1 Модуль 1. Расчёт поршневой группы, шатуна и коленчатого вала

Перечень вопросов для собеседования:

1. Роль дисциплины в сквозном проектировании: обеспечение прочности, надёжности и эффективности конструкции через инженерный анализ.
2. Общие принципы конструирования деталей двигателя. Расчётные режимы работы двигателя: режим номинальной мощности, режим максимального крутящего момента, режим максимальной частоты вращения холостого хода.
3. Основные нагрузки, действующие на детали двигателя: силы давления газов, силы инерции, силы трения.
4. Методы оценки работоспособности: расчёт на прочность (статическую и усталостную), расчёт на жёсткость, расчёт на износостойкость. Понятие о запасе прочности и допускаемых напряжениях.
5. Конструкция поршня и материалы. Условия работы поршня (высокие температуры, давление газов, инерционные нагрузки).
6. Расчёт поршня на прочность. Определение напряжений в наиболее опасных зонах: днище поршня (напряжения изгиба), кольцевые перемычки (срез и смятие), бобышки (смятие).
7. Расчёт поршня на нагретое состояние (тепловые напряжения). Конструктивные мероприятия по снижению напряжений и тепловой напряжённости (охлаждение поршня, профилирование юбки). Определение зазоров между поршнем и цилиндром.
8. Назначение, конструкция и материалы поршневых колец. Расчёт компрессионных колец: распределение давления кольца на стенку цилиндра, напряжения изгиба при надевании на поршень, напряжения в рабочем состоянии.
9. Расчёт маслосъёмных колец. Расчёт замка кольца.
10. Конструкция и материалы поршневого пальца. Типы пальцев (плавающий, закреплённый). Расчёт поршневого пальца: на изгиб, на срез, на смятие в бобышках поршня и головке шатуна. Определение деформации пальца (овализация) и влияния на работу сопряжения.
11. Конструкция шатуна и материалы. Особенности конструкции верхней и нижней головок, стержня шатуна.
12. Расчёт верхней головки шатуна: напряжения от запрессованной втулки, напряжения от сил инерции и давления газов. Определение запаса прочности в сечении А-А. Оценка поперечной деформации головки.
13. Расчёт стержня шатуна на устойчивость и прочность при совместном действии сил сжатия и изгиба.
14. Расчёт нижней головки шатуна и крышки. Расчёт шатунных болтов: силы затяжки, рабочие нагрузки, запас прочности. Конструктивные мероприятия по повышению прочности шатуна.
15. Конструкция коленчатого вала и материалы. Способы изготовления (литьё, ковка). Силы, действующие на элементы коленчатого вала.
16. Расчёт коренных и шатунных шеек на кручение и изгиб. Определение удельного давления на поверхности шеек (подшипников).
17. Расчёт щеки на изгиб и кручение. Определение запаса прочности в опасных сечениях (галтели, масляные отверстия).
18. Расчёт коленчатого вала на усталостную прочность с учётом концентраторов напряжений, масштабного фактора, качества обработки поверхности.

19. Способы повышения усталостной прочности коленчатых валов (азотирование, закалка ТВЧ, накатка галтелей).

7.3.1.2.2 Модуль 2. Расчёт корпуса, ГРМ, износостойкости и курсовой проект

Перечень вопросов для собеседования:

1. Конструкция блока цилиндров и материалы. Расчёт блока на прочность и жёсткость (общие принципы).
2. Конструкция и материалы гильз цилиндра (мокрые, сухие). Расчёт гильзы цилиндра: напряжения от давления газов, напряжения от запрессовки (для сухих гильз), температурные напряжения. Определение деформации гильзы.
3. Конструкция головки блока цилиндров и материалы. Расчёт головки на прочность (общие принципы).
4. Расчёт шпилек (болтов) крепления головки блока: силы предварительной затяжки, рабочие нагрузки, условие нераскрытия стыка. Конструктивные мероприятия по обеспечению герметичности газового стыка.
5. Конструкция механизма газораспределения (клапан, направляющая втулка, седло, пружина, распределительный вал).
6. Расчёт клапана: напряжения в тарелке и стержне, тепловые напряжения, ударные нагрузки при посадке.
7. Расчёт пружины клапана: определение усилий, расчёт на прочность и жёсткость, проверка на резонанс. Определение числа рабочих витков.
8. Расчёт распределительного вала: нагрузки на кулачки, расчёт на изгиб и кручение, определение прогиба. Расчёт профиля кулачка (основные положения). Оценка износостойкости кулачка и толкателя.
9. Виды сопряжений в двигателе (поршень-цилиндр, поршневое кольцо-цилиндр, поршневой палец-шатун, вал-вкладыш). Основные виды изнашивания.
10. Расчёт сопряжений на износостойкость (гидродинамический расчёт подшипников скольжения). Определение минимальной толщины масляного слоя, критерий жидкостного трения.
11. Влияние деформаций деталей на работу сопряжений. Конструктивные мероприятия по повышению износостойкости.
12. Структура и содержание курсового проекта. Этапы выполнения курсового проекта.
13. Требования к пояснительной записке и графической части курсового проекта.

7.3.1.3 Рубежный контроль по модулям (тестирование)

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест – 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

Пример тестовых заданий (один вариант)

1. **Какой расчётный режим соответствует максимальным механическим нагрузкам на детали КШМ?**
2. A) Режим номинальной мощности
3. B) Режим максимального крутящего момента
4. C) Режим максимальной частоты вращения холостого хода
5. D) Режим пуска

Правильный ответ: B

6. **Какое напряжение определяют в днище поршня?**
7. A) Напряжение среза
8. B) Напряжение смятия
9. C) Напряжение изгиба

10. D) Напряжение кручения

Правильный ответ: C

11. **Какой параметр шатуна проверяется на устойчивость?**
12. A) Верхняя головка
13. B) Нижняя головка
14. C) Стержень
15. D) Шатунные болты

Правильный ответ: C

16. **Какой способ упрочнения коленчатого вала заключается в наклёпе поверхности галтелей?**
17. A) Азотирование
18. B) Закалка ТВЧ
19. C) Накатка галтелей
20. D) Цементация

Правильный ответ: C

21. **Какой параметр характеризует гидродинамический режим смазки в подшипнике?**
22. A) Коэффициент трения
23. B) Минимальная толщина масляного слоя
24. C) Температура масла
25. D) Давление масла

Правильный ответ: B

7.3.1.4 Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является составной частью курсового проекта и представляет собой выполнение прочностного расчёта и конструирования узла поршневого двигателя. Задание выполняется студентом самостоятельно в рамках курсового проекта.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Выбор объекта расчёта и конструирования.** Студент выбирает один из узлов поршневого двигателя для детальной проработки: поршневая группа, шатунно-поршневая группа, коленчатый вал, подшипниковый узел, клапанный механизм и т.п.
2. **Определение расчётных нагрузок.** На основе результатов теплового и динамического расчёта (дисциплины Б1.1.20 и Б1.2.4) определяются силы давления газов, силы инерции, тепловые нагрузки, действующие на выбранные детали.
3. **Расчёт детали (деталей) на прочность.** Выполняется расчёт напряжённо-деформированного состояния детали. Определяются напряжения в опасных сечениях. Рассчитываются запасы прочности (статической и усталостной).
4. **Выбор материала и назначение термообработки.** Обосновывается выбор материала для детали с учётом условий работы, технологии изготовления и стоимости. Назначаются режимы термической или химико-термической обработки.
5. **Разработка конструкторской документации.** Выполняется рабочий чертёж детали с нанесением размеров, допусков, обозначений шероховатости. При необходимости выполняется сборочный чертёж узла и спецификация.
6. **Анализ технологичности.** Оценивается технологичность конструкции детали, выявляются сложные для изготовления элементы. При необходимости вносятся изменения в конструкцию для повышения технологичности.

Требования к оформлению:

Индивидуальное задание выполняется в рамках курсового проекта. Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями к курсовому проекту. Графическая часть включает рабочие чертежи деталей и (при необходимости) сборочный чертёж узла.

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Расчёт поршневой группы, шатуна и коленчатого вала

Задание 1. Определение расчётных нагрузок для различных режимов работы двигателя

Для заданного двигателя определить силы давления газов и силы инерции для режима номинальной мощности и режима максимального крутящего момента. Сравнить значения.

Задание 2. Расчёт поршня: определение напряжений в днище и бобышках

Для заданного поршня определить напряжения изгиба в днище, напряжения смятия в бобышках. Рассчитать запас прочности.

Задание 3. Расчёт теплового состояния поршня и температурных напряжений

Для заданного поршня определить распределение температуры по высоте. Рассчитать температурные напряжения.

Задание 4. Определение зазоров между поршнем и цилиндром

Для заданного поршня определить монтажный и рабочий зазоры с учётом теплового расширения.

Задание 5. Расчёт поршневых колец (напряжения при надевании, в рабочем состоянии)

Для заданного поршневого кольца определить напряжения при надевании на поршень и в рабочем состоянии. Рассчитать запас прочности.

Задание 6. Расчёт поршневого пальца на изгиб, срез, смятие и овализацию

Для заданного поршневого пальца определить напряжения изгиба, среза, смятия. Рассчитать деформацию овализации.

Задание 7. Расчёт верхней головки шатуна

Для заданного шатуна определить напряжения от запрессованной втулки и от сил инерции. Рассчитать запас прочности.

Задание 8. Расчёт стержня шатуна на прочность и устойчивость

Для заданного шатуна определить напряжения сжатия и изгиба в стержне. Проверить устойчивость стержня. Рассчитать запас прочности.

Задание 9. Расчёт шатунных болтов

Для заданного шатуна определить силу затяжки болтов, рабочую нагрузку, запас прочности.

Задание 10. Расчёт коленчатого вала: определение сил, действующих на элементы вала

Для заданного коленчатого вала определить силы, действующие на шатунные и коренные шейки, щёки.

Задание 11. Расчёт коренных и шатунных шеек на прочность

Для заданного коленчатого вала определить напряжения кручения и изгиба в шейках. Рассчитать запас прочности.

Задание 12. Расчёт щеки коленчатого вала

Для заданного коленчатого вала определить напряжения изгиба и кручения в щеке. Рассчитать запас прочности.

Модуль 2. Расчёт корпуса, ГРМ, износостойкости и курсовой проект

Задание 13. Расчёт гильзы цилиндра (напряжения, деформации)

Для заданной гильзы цилиндра определить напряжения от давления газов, от запрессовки (для сухой гильзы), температурные напряжения. Определить деформацию гильзы.

Задание 14. Расчёт шпилек крепления головки блока

Для заданного двигателя определить силу затяжки шпилек, рабочую нагрузку, условие нераскрытия стыка. Рассчитать запас прочности шпилек.

Задание 15. Расчёт клапанной пружины

Для заданного клапанного механизма определить усилие пружины, жёсткость, напряжения в витках. Проверить на резонанс. Определить число рабочих витков.

Задание 16. Расчёт распределительного вала (нагрузки, прогиб)

Для заданного распределительного вала определить нагрузки на кулачки, напряжения изгиба и кручения, прогиб вала.

Задание 17. Расчёт сопряжения «поршень-гильза» на износостойкость

Для заданного двигателя определить минимальную толщину масляного слоя в сопряжении поршень-гильза. Оценить режим смазки.

7.3.1.6 Оценочные средства для курсового проекта

Курсовой проект выполняется в шестом семестре и является завершающим этапом формирования компетенций по конструированию и расчёту поршневых двигателей.

Цель курсового проекта: выполнить прочностной расчёт и конструирование узла поршневого двигателя, определить запасы прочности, обосновать выбор материалов, разработать конструкторскую документацию, оценить технологичность.

Примерные темы курсовых проектов:

1. Прочностной расчёт поршневой группы рядного четырёхцилиндрового бензинового двигателя.
2. Прочностной расчёт шатунной группы дизельного двигателя.
3. Прочностной расчёт коленчатого вала рядного четырёхцилиндрового двигателя.
4. Прочностной расчёт коленчатого вала V-образного шестицилиндрового двигателя.
5. Расчёт элементов корпуса (гильзы и шпилек головки блока) форсированного двигателя.
6. Расчёт деталей газораспределительного механизма (клапан, пружина, распределительный вал).
7. Прочностной расчёт поршня и шатуна двигателя с турбонаддувом.
8. Оценка усталостной прочности коленчатого вала с использованием CAD/CAE-систем.
9. Расчёт и анализ сопряжения «поршень — гильза цилиндра» на износостойкость.
10. Комплексный прочностной расчёт деталей кривошипно-шатунного механизма (по индивидуальному заданию).

Структура курсового проекта:

- **Введение** (актуальность, цель и задачи работы).
- **Исходные данные для расчёта** (параметры двигателя, материалы деталей, режимы нагружения).
- **Определение расчётных нагрузок** (с использованием результатов дисциплин «Динамический расчет поршневых двигателей» и «Теория рабочих процессов поршневых двигателей»).
- **Расчёт детали (деталей) на прочность** (статическую и усталостную) с определением запасов прочности.
- **Анализ результатов расчёта и рекомендации** по обеспечению требуемой надёжности.
- **Заключение** с выводами по работе.
- **Список использованной литературы**.
- **Графическая часть** (чертежи рассчитываемых деталей с указанием опасных сечений, при необходимости — сборочный чертёж узла).

7.3.2 Промежуточная аттестация (экзамен)

7.3.2.1 Условия допуска к экзамену

Студент допускается к сдаче экзамена при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).
- Выполнение и защита курсового проекта с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

7.3.2.2 Структура экзаменационного билета

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов (по одному из каждого модуля) и одного практического задания (расчётная задача).

Структура билета:

- **Вопрос 1** (Модуль 1): Расчёт поршневой группы, шатуна, коленчатого вала.

- **Вопрос 2** (Модуль 2): Расчёт элементов корпуса, ГРМ, износостойкости.
- **Задание 3**: Расчётная задача (расчёт поршня, шатуна, коленчатого вала, пружины, шпильки и т.п.).

7.3.2.3 Типовые экзаменационные билеты

Экзаменационный билет №1

Вопрос 1 (Модуль 1)

Расчёт поршня: конструкция, материалы, условия работы. Определение напряжений в днище, кольцевых перемычках, бобышках. Расчёт поршня на нагретое состояние (тепловые напряжения). Определение зазоров между поршнем и цилиндром.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Расчёт клапанной пружины: назначение, конструкция, материалы. Определение усилий, жёсткости, напряжений в витках. Проверка на резонанс. Определение числа рабочих витков.

Задание 3

Для поршневого пальца диаметром d = 30 мм, длиной L = 70 мм, расстоянием между бобышками B = 40 мм, максимальной силой, действующей на палец, P = 25 кН, определить напряжения изгиба и среза. Материал пальца — сталь 20Х, допускаемое напряжение [σ] = 200 МПа, [τ] = 100 МПа. Проверить прочность пальца.

Экзаменационный билет №2

Вопрос 1 (Модуль 1)

Расчёт шатуна: конструкция, материалы, условия работы. Расчёт верхней головки шатуна (напряжения от запрессованной втулки и от сил инерции). Расчёт стержня шатуна на устойчивость и прочность. Расчёт нижней головки шатуна и шатунных болтов.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Расчёт гильзы цилиндра: конструкция, материалы (мокрые, сухие). Напряжения от давления газов, от запрессовки, температурные напряжения. Определение деформации гильзы.

Задание 3

Для шатунного болта диаметром резьбы d = 12 мм, силой затяжки Fзат = 20 кН, рабочей нагрузкой Fр = 15 кН определить суммарную нагрузку на болт и запас прочности. Материал болта — сталь 40Х, предел текучести σт = 800 МПа.

Экзаменационный билет №3

Вопрос 1 (Модуль 1)

Расчёт коленчатого вала: конструкция, материалы, способы изготовления. Расчёт коренных и шатунных шеек на кручение и изгиб. Расчёт щеки на изгиб и кручение. Расчёт на усталостную прочность. Способы повышения усталостной прочности.

Вопрос 2 (Модуль 2)

Оценка работоспособности сопряжений и износостойкости. Виды сопряжений в двигателе. Расчёт сопряжений на износостойкость (гидродинамический расчёт подшипников скольжения). Определение минимальной толщины масляного слоя.

Задание 3

Для коренной шейки коленчатого вала диаметром d = 60 мм, длиной L = 40 мм, радиальной нагрузкой Fr = 30 кН определить среднее удельное давление. Рассчитать минимальную толщину масляного слоя, если динамическая вязкость масла μ = 0,01 Па·с, частота вращения n = 2000 об/мин, радиальный зазор Δ = 0,05 мм.

7.3.2.4 Полный перечень теоретических вопросов к экзамену по каждой теме

Модуль 1. Расчёт поршневой группы, шатуна и коленчатого вала

1. Роль дисциплины в сквозном проектировании: обеспечение прочности, надёжности и эффективности конструкции через инженерный анализ.

2. Общие принципы конструирования деталей двигателя. Расчётные режимы работы двигателя.

3. Основные нагрузки, действующие на детали двигателя: силы давления газов, силы инерции, силы трения.

4. Методы оценки работоспособности: расчёт на прочность (статическую и усталостную), расчёт на жёсткость, расчёт на износостойкость. Понятие о запасе прочности и допускаемых напряжениях.

5. Конструкция поршня и материалы. Условия работы поршня.

6. Расчёт поршня на прочность. Определение напряжений в днище поршня (напряжения изгиба), кольцевых перемычках (срез и смятие), бобышках (смятие).

7. Расчёт поршня на нагретое состояние (тепловые напряжения). Конструктивные мероприятия по снижению напряжений и тепловой напряжённости. Определение зазоров между поршнем и цилиндром.

8. Назначение, конструкция и материалы поршневых колец. Расчёт компрессионных колец.

9. Расчёт маслосъёмных колец. Расчёт замка кольца.

10. Конструкция и материалы поршневого пальца. Типы пальцев. Расчёт поршневого пальца на изгиб, на срез, на смятие. Определение деформации пальца (овализация).

11. Конструкция шатуна и материалы. Особенности конструкции верхней и нижней головок, стержня шатуна.

12. Расчёт верхней головки шатуна. Расчёт стержня шатуна на устойчивость и прочность.

13. Расчёт нижней головки шатуна и крышки. Расчёт шатунных болтов.

14. Конструкция коленчатого вала и материалы. Способы изготовления.

15. Расчёт коренных и шатунных шеек на кручение и изгиб. Определение удельного давления на поверхности шеек.

16. Расчёт щеки на изгиб и кручение. Определение запаса прочности в опасных сечениях.

17. Расчёт коленчатого вала на усталостную прочность. Способы повышения усталостной прочности.

Модуль 2. Расчёт корпуса, ГРМ, износостойкости и курсовой проект

1. Конструкция блока цилиндров и материалы. Расчёт блока на прочность и жёсткость (общие принципы).

2. Конструкция и материалы гильз цилиндра (мокрые, сухие). Расчёт гильзы цилиндра.

3. Конструкция головки блока цилиндров и материалы. Расчёт головки на прочность (общие принципы).

4. Расчёт шпилек (болтов) крепления головки блока.

5. Конструкция механизма газораспределения (клапан, направляющая втулка, седло, пружина, распределительный вал).

6. Расчёт клапана.

7. Расчёт пружины клапана.

8. Расчёт распределительного вала.

9. Виды сопряжений в двигателе. Основные виды изнашивания.

10. Расчёт сопряжений на износостойкость (гидродинамический расчёт подшипников скольжения). Определение минимальной толщины масляного слоя.

11. Влияние деформаций деталей на работу сопряжений. Конструктивные мероприятия по повышению износостойкости.

12. Структура и содержание курсового проекта. Этапы выполнения курсового проекта.

13. Требования к пояснительной записке и графической части курсового проекта.