

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
А. И. Елкин
« 30 » 08 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»

направление подготовки / специальность

13.04.03 – энергетическое машиностроение

направленность (профиль) подготовки

Двигатели внутреннего сгорания

г. Владимир

Год
2022

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния деталей поршневых двигателей» является:

- формирование знаний в области используемых численных методов расчета теплонапряженных деталей, используемых при проектировании двигателей внутреннего сгорания.

Задачи:

- привить навыки выбора эффективных технических решений при конструировании поршневых двигателей,
- привить навыки выбора численных методов расчета прочности теплонапряженных деталей и узлов машиностроительных конструкций (метод конечных элементов) с использованием ПЭВМ при конструировании поршневых двигателей.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 «Моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния деталей поршневых двигателей» относится к вариативной части блока Б1 структуры программы магистратуры.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы.	ПК-3.1. Знает, как составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы. ПК-3.2. Умеет составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы. ПК-3.3. Владеет методиками составления описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разработки методических и нормативных документов.	Знает методы расчета и оценки нагрузок в основных деталях поршневых двигателей, способы их конструирования, их технические характеристики; Умеет формулировать в профессиональной деятельности цель проектирования двигателя, выбрать эффективные конструктивные решения, провести расчеты основных теплонапряженных деталей на базе современных методик с использованием современных пакетов САПР. Владеет способностью обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.	КП

<p>ПК-4. Способен проводить экспериментальные исследования с использованием автоматизированных систем регистрации и обработки информации</p>	<p>ПК-4.1. Знает, как проводить экспериментальные исследования с использованием стандартных и специализированных автоматизированных программ регистрации и обработки информации. ПК-4.2. Умеет выполнять экспериментальные исследования на базе автоматизированных систем регистрации и обработки информации. ПК-4.3. Владеет навыками пользователя стандартных и специализированных пакетов прикладных программ по обработке результатов исследований.</p>	<p>Знает методы обработки основных деталей двигателей, современные технологии проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества. Умеет представить графические и текстовые конструкторские документы в соответствии с требованиями стандартов. Владеет программами расчета теплонапряженного, деформированного и теплового состояния деталей двигателей.</p>	<p>Зачет</p>
<p>ПК-5. Способность выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов</p>	<p>ПК-5.1. Знает, как выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов методы оформления отчетов по результатам расчетных и экспериментальных исследований объектов энергетического машиностроения. ПК-5.2. Умеет выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов. ПК-5.3. Владеет навыками научных исследований в составе научно-исследовательских групп, разработки методик и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов пользователя стандартных и специализированных пакетов прикладных программ</p>	<p>Знает новые эффективные численные методы расчета Умеет находить компромисс между различными требованиями. Владеет современными методами выбора оптимальных конструкций деталей ДВС.</p>	<p>КП</p>

	по обработке результатов исследований, оформленно отчетов.		
--	--	--	--

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Тематический план
форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Математические модели анализа теплового состояния деталей поршневого двигателя. Математические модели анализа напряженно-деформированного состояния деталей двигателя.	2	1-4	4	4	4		15	
2	Приближенные методы определения напряженно-деформированного состояния при пластическом деформировании.	2	5-6	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №1
3	Ползучесть. Неупругое деформирование.		7-8	2	2	2		6	
4	Численные методы анализа теплового и напряженно-деформированного состояния деталей.	2	9-10	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №2
5	Метод конечных элементов.		11-16	6	6	6		15	
6	Расчет напряженно-деформированного состояния деталей двигателя. Выбор расчетных режимов.	2	17-18	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №3
Всего за 2 семестр:				18	18	18		54	
Наличие в дисциплине КИ/КР									КИ
Итого по дисциплине				18	18	18		54	КИ, зачет

Содержание лекционных занятий по дисциплине

- Введение в современные программные комплексы.
- Последовательность подготовки конечноэлементной модели.
- Команды построения геометрии.
- Команды задания типа конечных элементов и физико-механических свойств материала.
- Анализ конечноэлементной модели и ее оптимизация.
- Задание граничных условий.
- Анализ расчетных результатов.

1.1. Темы лабораторных работ

1. Введение в современные программные комплексы.
2. Последовательность подготовки конечно-элементной модели.
3. Команды построения геометрии.
4. Команды задания типа конечных элементов и физико-механических свойств материала.
5. Анализ конечно-элементной модели и ее оптимизация.
6. Задание граничных условий.
7. Анализ расчетных результатов.

Темы практических занятий

1. Расчет поршней двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов.
2. Расчет поршневого пальца.
3. Расчет шатуна.
4. Расчет коленчатого вала.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Рейтинг-контроль №1

1. Математические модели анализа теплового состояния деталей поршневого двигателя.
2. Математические модели анализа напряженно-деформированного состояния деталей двигателя.
3. Неупругое деформирование.
4. Приближенные методы определения напряженно-деформированного состояния при пластическом деформировании.
5. Ползучесть.
6. Численные методы анализа теплового и напряженно-деформированного состояния деталей.
7. Метод конечных элементов.
8. Численные методы анализа теплового и напряженно-деформированного состояния деталей.
9. Метод конечных элементов.
10. Прочностная надежность и оценка прочности деталей двигателя.
11. Многоцикловая усталость и расчет на выносливость деталей поршневых двигателей.
12. Оценка работоспособности теплонапряженных деталей двигателя. Основные задачи и модели прочностной надежности.
13. Расчетные схемы.

Рейтинг-контроль №2

1. Расчет теплового состояния деталей двигателя.
2. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей двигателя.
3. Выбор расчетных режимов деталей двигателей.
4. Использование метода конечных элементов (МКЭ) в инженерных расчетах.
5. Последовательность подготовки конечноэлементной модели и проведения расчетов.
6. Типы конечных элементов, используемых в программе.
7. Одномерная, плоская, осесимметричная и трехмерная постановка задачи МКЭ.
8. Учет в конечноэлементной модели симметрии детали и приложенных нагрузок.
9. Команды построения геометрии модели (точки, линии, поверхности, контуры, регионы, объемы).
10. Команды задания типа конечных элементов и физико-механических свойств материала.
11. Разбиение геометрической модели на конечные элементы.
12. Анализ конечноэлементной модели и ее оптимизация.
13. Команды задания нагрузок (тепловых, силовых) при статическом и динамическом анализе.
14. Кинематические граничные условия.
15. Запуск на решение и анализ полученных результатов.
16. Команды просмотра результатов расчета и получение копий результатов решения.
17. Расчет поршней двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов.
18. Осесимметричная и трехмерная постановка задачи.
19. Силовые нагрузки и кинематические граничные условия. Граничные условия теплообмена.
20. Моделирование нестационарных режимов нагружения. Анализ результатов расчета.
21. Расчет поршневого пальца. Использование контактных элементов на поверхностях сопряжения деталей. Силовые нагрузки и кинематические граничные условия. Анализ результатов расчета.
22. Расчет шатуна. Учет симметрии детали. Силовые и инерционные нагрузки. Кинематические граничные условия. Анализ результатов расчета.
23. Расчет коленчатого вала. Силовые нагрузки и кинематические граничные условия. Учет податливости опор. Учет в конечно-элементной модели концентраторов напряжений. Анализ результатов расчета.
24. Расчет головки цилиндров. Плоская и трехмерная модели. Кинематические граничные условия. Определение граничных условий теплообмена в полостях охлаждения. Анализ результатов расчета.

Рейтинг-контроль №3

1. Оценка работоспособности теплонапряженных деталей двигателя.
2. Основные задачи и модели прочностной надежности.
3. Гипотеза сплошности. Гипотеза однородности материального тела. Гипотеза изотропности материального тела.
4. Малые и большие градиенты напряжений. Малые и большие нагрузки.
5. Медленное и быстрое деформирование. Понятия «начальное, мгновенное и конечное состояние деформируемого тела»
6. Понятие тензора. Действия над тензорами.
7. Нормальные и касательные напряжения. Обозначения, направления действия и знак напряжений.
8. Анализ напряженного состояния. Нормальные и касательные напряжения. Связи между компонентами, определяющими поле тензора напряжений.
9. Формулировка общих физических уравнений связи напряженного и деформированного состояний для изотропных материалов.
10. Граничные условия. Начальные условия.
11. Граничные условия для уравнения теплопроводности.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины - зачет.

Вопросы к зачету

1. Как решить стационарную задачу теплопроводности?
2. Какие существуют математические модели анализа теплового состояния деталей поршневого двигателя?
3. Что такое неупругое деформирование?
4. Что такое кинематические граничные условия?
5. Какова последовательность подготовки конечноэлементной модели и проведения расчетов?
6. Что такое неупругое деформирование?
7. Какие существуют приближенные методы определения напряженно-деформированного состояния при пластическом деформировании?
8. Какова роль метода конечных элементов (МКЭ) в инженерных расчетах?
9. Какова последовательность подготовки конечноэлементной модели и проведения расчетов?
10. Какие существуют типы конечных элементов, используемых в программе?
11. Какова последовательность запуска на решение и анализ полученных результатов?
12. Какие существуют команды просмотра результатов расчета и получение копий результатов решения?
13. Какова методика расчета поршней двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов?
14. В чем различие осесимметричной и трехмерной постановки задачи?
15. Расчет головки цилиндров. Плоская и трехмерная модели. Кинематические граничные условия. Определение граничных условий теплообмена в полостях охлаждения. Анализ результатов расчета.
16. В чем состоит понятие тензора и какие существуют действия над тензорами?
17. В чем различия нормальных и касательных напряжений, каковы обозначения, направления действия и знак напряжений?
18. Какие существуют математические модели анализа теплового состояния деталей поршневого двигателя?
19. Что такое неупругое деформирование?
20. Что такое ползучесть?
21. В чем сущность метода конечных элементов?

Задание на курсовой проект

Исследование теплового и напряженного состояния (ТНДС) поршневой группы.

Содержание курсового проекта

Для расчета проводится расчет цикла ДВС на двух режимах и для наиболее напряженного проводится расчет температур и температурных напряжений. При этом учитываются следующие факторы нагружения:

- температурное поле на режиме номинальной мощности и холостого хода;
- газовые силы;
- силы инерции;
- контакт поршневого пальца с шатуном и поршнем;
- физическая нелинейность материалов поршневой группы

Результаты расчета оформляются в расчетно-пояснительную записку и проводится защита выполненной работы.

5.3 Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа заключается в изучении содержания тем курса по коллектам, учебникам и дополнительной литературе, подготовке к лабораторным и практическим занятиям, оформлении лабораторных работ, к рубежным контролям, к экзамену.

оформлении лабораторных работ. Она может включать в себя практику подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов должна иметь проблемный и профессионально ориентированный характер, требующий самостоятельной творческой работы студента.

Самостоятельная работа также включает выполнение курсового проекта, которая должна содержать описание модели (постановке задачи, типы используемых конечных элементов, кинематические граничные условия, обоснование, расчет и способ приложения действующих нагрузок), результаты расчета поля температур, напряжений и деформаций, расчеты запасов прочности для зон с максимальным уровнем напряжений.

Вопросы к самостоятельной работе студентов

1. Как создать трехмерную модель в среде трехмерного моделирования?
2. Как создать КЭМ поршневой группы?
3. Как решить стационарную задачу теплопроводности?
4. Какие существуют математические модели анализа теплового состояния деталей поршневого двигателя?
5. Что такое неупругое деформирование?
6. Что такое ползучесть?
7. В чем сущность метода конечных элементов?
8. Как оценить работоспособность теплонапряженных деталей двигателя?
9. Что такое прочностная надежность и оценка прочности деталей двигателя?
10. Как выбрать расчетные режимы деталей двигателей?
11. Что такое многоцикловая усталость?
12. Зачем нужен расчет на выносливость деталей поршневых двигателей?
13. Какие типы конечных элементов, используемых в программе?
14. Что такое одномерная, плоская, осесимметричная и трехмерная постановка задачи МКЭ?
15. Какие есть команды построения геометрии модели (точки, линии, поверхности, контуры, регионы, объемы)?
16. Что такое кинематические граничные условия?
17. Какова последовательность подготовки конечноэлементной модели и проведения расчетов?
18. Что такое осесимметричная и трехмерная постановка задачи?
19. Что такое гипотеза сплошности?
20. Что такое медленное и быстрое деформирование?

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцова А.А.. Трехмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых двигателях [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Р. З. Кавтарадзе, Д. О. Онищенко, А. А. Зеленцов. -М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0563.html
2. Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч.II [Электронный ресурс] / Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. -М.: БИНОМ, 2012.	2012	http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996308347.html
3. Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч. I [Электронный ресурс] // Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. -М.:	2012	https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21556843

БИНОМ, 2012		
Дополнительная литература		
1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.	2008	https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19576598
2. Прокопенко Н. И. Термодинамический расчет идеализированного цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] : учебное пособие / Прокопенко Н. И. - 3-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ, 2015.	2015	https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20241353

6.2. Периодические издания

1. «Известие вузов. Машиностроение» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7816
2. «Двигателестроение» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8643
3. «Двигатель» https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=7604
4. «Фундаментальные исследования» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=10121
5. «Тракторы и сельхозмашины» https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28193

6.3. Интернет-ресурсы

1. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе ДДЗЕЛЬ-РК <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>
2. Онлайн-калькулятор <http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/gaus/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекции, практические занятия и лабораторные работы проводятся в аудитории 304-2, оснащенной проектором и учебными компьютерами.

Набор слайдов, контрольные тесты, сценарии к проведению занятий с использованием интерактивной формы организации учебного процесса, программы Ansys, SolidWorks, Matlab.

Самостоятельная работа студентов осуществляется в аудитории 334-2, оснащенной компьютерами, доступом в интернет, справочными материалами.

Рабочую программу составил

В. С. Клевцов

Рецензент

(представитель работодателя) специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод», Владимирская область, г. Камешково

д.т.н.

А. Р. Кульчицкий

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

ТДиЭУ

Протокол № 1 от 30.08.22 года

Заведующий кафедрой

А. Ю. Абаляев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 13.04.03 – энергетическое машиностроение

Протокол № 1 от 30.08.22 года

Председатель комиссии Председатель комиссии,

д.т.н., профессор

А. Н. Гоц

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20____ / 20____ учебный года

Протокол заседания кафедры № _____ от _____ года

Заведующий кафедрой _____

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

«Теория поршневых двигателей»

образовательной программы направления подготовки 13.04.03 – энергетическое машиностроение.

направленность: *двигатели внутреннего сгорания*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой _____ / _____

*Подпись**ФИО*