

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



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ»**

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 процессов в поршневых двигателях» является формирование знаний и навыков математического моделирования термодинамических, газодинамических и других процессов при получении тепловой энергии и преобразовании её в механическую в поршневых двигателях внутреннего сгорания, необходимых для выполнения опытно-конструкторских работ при создании новых или модернизации выпускаемых двигателей с высокими показателями.

Задачи: обеспечить получение знаний и практических навыков моделирования рабочих процессов в поршневом двигателе и агрегате наддува, уменью оценивать адекватность программ расчёта, грамотного и эффективного использования расчетных методов исследования при совершенствовании поршневых двигателей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Моделирование процессов в поршневых двигателях» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений 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 <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен участвовать в работах по расчету и конструированию деталей и узлов двигателя и энергетических установок в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-1.1. Знает, как разрабатывается проектная и техническая документация при выполнении эскизных, технических и рабочих проектов деталей и узлов двигателя и энергетических установок. ПК-1.2. Умеет использовать современные средства автоматизации проектирования деталей и узлов двигателя и энергетических установок. ПК-1.3. Владеет современными методами расчета при проектировании двигателей и энергетических установок, а также выбора основных и вспомогательных материалов.	<b>Знает</b> методы математического моделирования процессов в поршневых двигателях и области использования их при исследовании и анализе процессов в двигателях; методы оценки адекватности моделей, численные методы, используемые при проведении технических расчетов; достижения науки и возможности вычислительной техники, передовой и зарубежный опыт организации расчетно-экспериментальных исследований процессов в поршневых двигателях различного типа; методы использования математических моделей различного уровня для расчета и оптимизации рабочих процессов, для	Экзамен

		<p>разработки экономичных и малотоксичных двигателей.</p> <p><b>Умеет</b> обоснованно выбирать программы расчета при поиске путей совершенствования поршневых двигателей; использовать современные информационные технологии для моделирования и оптимизации процессов в двигателях с учетом их конструктивных особенностей;</p> <p>проектировать двигатели с заданными параметрами и характеристиками с использованием расчетных методов.</p> <p><b>Владеет</b> навыками: составления программ расчета процессов в поршневых двигателях; проведения оптимизации процессов преобразования тепловой энергии в механическую с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений.</p>	
--	--	--	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа

**Тематический план  
форма обучения – очная**

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Се мес тр	Не дел я сем ест ра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Са мо ст оя те ль на я ра бо та	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Ле кци и	Прак тиче ские заня тия	Лабо рато рные рабо ты	в ф ор м е пр ак т ич ес ко й по де о т ов ки 1		
1.	Общие сведения о моделировании	2	1-2	2	2		2	8	
2.	Принципы и последовательность разработки математических моделей	2	3-4	2	2		2	8	
3.	Разработка и оформление программы расчета	2	5-6	2	2		2	8	
4.	Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия	2	7-8	2	2		2	8	
5.	Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения	2	9-10	2	2		2	8	
6.	Моделирование процессов в трубопроводах	2	11-12	2	2		2	8	
7.	Использование характеристики компрессора	2	13-14	2	2		2	8	
8.	Выбор параметров перепуска газа минуя турбину	2	15-16	2	2		2	8	
9.	Перспективы развития методов расчета	2	17-18	2	2		2	8	
Всего за 2 семестр:								72	Экзамен (36)
Наличие в дисциплине КП/КР									КР
Итого по дисциплине								72	Экзамен ( 36), КР

<sup>1</sup> Данный пункт включается в рабочую программу только при формировании профессиональных компетенций.

## **Содержание лекционных занятий по дисциплине**

Раздел 1. Общие сведения о моделировании.

Содержание темы: Общие сведения о моделировании. Цели и области исследований с помощью моделей. Виды и классификация моделей. Физические и математические модели. Роль теорий подобия и размерностей.

Раздел 2. Принципы и последовательность разработки математических моделей.

Содержание темы : Принципы и последовательность разработки математических моделей: расчётные схемы, принятие допущений, выбор методов математического описания процессов (объектов), выбор метода оптимизации. Оценка адекватности модели.

Раздел 3. Разработка и оформление программы расчета.

Содержание темы : Разработка и оформление программы расчета. Тестирование программ. Особенности моделирования процессов в поршневых двигателях. Краткие сведения о существующих отечественных и зарубежных программных комплексах.

Раздел 4. Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия.

Содержание темы : Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия (в дизеле, бензиновом и газовых двигателях).

Раздел 5. Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения.

Содержание темы : Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения в двигателях с воспламенением топливовоздушной смеси от искры и сжатия.

Раздел 6. Моделирование процессов в трубопроводах.

Содержание темы: Моделирование процессов в трубопроводах двигателей без наддува и с турбонаддувом

Раздел 7. Использование характеристики компрессора.

Содержание темы: Использование характеристики компрессора для анализа совместной работы двигателя и ТКР. Аппроксимация характеристики для использования в программе расчёта цикла двигателя с наддувом.

Раздел 8. Выбор параметров перепуска газа минуя турбину.

Содержание темы : Использование программы расчёта цикла для выбора параметров перепуска газа минуя турбину, фаз газораспределения и др.

Раздел 9. Перспективы развития методов расчета.

Содержание темы : Перспективы развития методов расчета процессов в поршневых двигателях. Практика в вариантных расчетах.

## **Содержание практических занятий по дисциплине**

Раздел 1. Общие сведения о моделировании.

Содержание темы : Виды и классификация моделей. Элементы теорий подобия и размерностей.

Раздел 2. Принципы и последовательность разработки математических моделей.

Содержание темы: Построение расчетных схем. Оценка адекватности модели.

Раздел 3. Разработка и оформление программы расчета.

Содержание темы: Особенности моделирования процессов в поршневых двигателях.

Раздел 4. Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия.

Содержание темы : Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия (в дизеле, бензиновом и газовых двигателях).

Раздел 5. Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения.

Содержание темы : Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения в двигателях с воспламенением топливовоздушной смеси от искры и сжатия.

Раздел 6. Моделирование процессов в трубопроводах.

Содержание темы: Моделирование процессов в трубопроводах двигателей без наддува и с турбонаддувом

Раздел 7. Использование характеристики компрессора.

Содержание темы: Использование характеристики компрессора для анализа совместной работы двигателя и ТКР. Аппроксимация характеристики для использования в программе расчёта цикла двигателя с наддувом.

Раздел 8. Выбор параметров перепуска газа минуя турбину.

Содержание темы : Использование программы расчёта цикла для выбора параметров перепуска газа минуя турбину и фаз газораспределения.

Раздел 9. Перспективы развития методов расчета.

Содержание темы: Вариантные расчеты.

## **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. Понятие модели, их виды (классификация).
2. Аналоговые (физические) модели. Их преимущества и недостатки.
3. Математические модели. Их преимущества и недостатки.
4. Требования к математическим моделям. Устойчивость модели. Критерий Куранта.
5. Роль теории подобия и размерностей в математическом моделировании.
6. Выбор типа модели для конкретной задачи. Разработка расчётной схемы.
7. Принятие начальных и граничных условий. Оценка адекватности модели.
8. Методы тестирования программ расчета.
9. Выбор метода оптимизации результата расчета.
10. Оформление программ расчета.

#### **Рейтинг-контроль №2**

1. Модели процессов сжатия и расширения.
2. Моделирование теплообменных процессов в цилиндре двигателя.
3. Расчёт состава рабочего тела при работе двигателей на различном топливе.

4. Математическая модель процессов газообмена в цилиндре двигателя.
5. Модель процесса сгорания с использованием характеристики тепловыделения в двигателях с воспламенением от искры.
6. Особенности модели процесса сгорания с использованием характеристики тепловыделения в дизеле.
7. Моделирование процессов смесеобразования в поршневых ДВС.
8. Математические модели процессов в выпускном трубопроводе (перед турбиной).
9. Математические модели процессов во впускном трубопроводе.
10. Моделирование газотурбинного наддува.

### **Рейтинг-контроль №3**

1. Квазистационарные, однозонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
2. Квазистационарные, двухзонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
3. Особенности моделирования процессов при больших колебаниях давления в выпускной системе двигателя с турбонаддувом.
4. Особенности моделирования процессов при больших колебаниях давления во впускной системе двигателя с турбонаддувом.
5. Моделирование перепуска газа, минуя турбину.
6. Модель характеристики компрессора в программе расчета цикла ДВС.
7. Двухмерные математические модели. Области их применения при расчете процессов в поршневых двигателях.
8. Трёхмерные математические модели. Области их применения при расчете процессов в поршневых двигателях.
9. Методы решения уравнений в двух и трёхмерных моделях.
10. Моделирование процессов в газовых двигателях.

### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).**

#### **Контрольные вопросы к экзамену**

1. Понятие модели, их виды (классификация).
2. Аналоговые модели. Их преимущества и недостатки.
3. Математические модели. Их преимущества и недостатки.
4. Требования к математическим моделям. Устойчивость модели. Критерий Куранта.
5. Квазистационарные, однозонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
6. Квазистационарные, двухзонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
7. Выбор типа модели для конкретной задачи. Разработка расчётной схемы. Принятие начальных и граничных условий.
8. Исходное уравнение для моделирования процессов в цилиндре двигателя. Модели процессов сжатия и расширения.
9. Моделирование теплообменных процессов в цилиндре двигателя.
10. Расчёт состава рабочего тела и его теплоёмкостей при работе двигателей на различном топливе.
11. Математическая модель процессов газообмена в цилиндре двигателя.
12. Расчёт расходов газа через отверстия в системе газообмена. Коэффициенты расхода.
13. Модель процесса сгорания И.И. Вибера.
14. Особенности модели процесса сгорания Н.Ф. Разлейцева.

15. Моделирование процессов смесеобразования в поршневых ДВС.
16. Моделирование процесса сгорания в двигателях с воспламенением от искры.
17. Моделирование процесса сгорания в двигателях с воспламенением от сжатия.
18. Математические модели процессов в выпускном трубопроводе (перед турбиной).
19. Математические модели процессов во впускном трубопроводе.
20. Моделирование газотурбинного наддува.
21. Использование характеристик компрессора для расчёта текущего расхода воздуха при турбонаддуве одно и двух цилиндровых двигателей.
22. Аппроксимация характеристик компрессора полиномами.
23. Особенности моделирования процессов в газодизеле.
24. Настройка программы на расчет конкретного двигателя.
25. Основные предпосылки к разработке многозонных моделей.
26. Одномерные математические модели. Их возможности, способы решения систем уравнений.
27. Двухмерные математические модели. Их возможности и, способы решения систем уравнений.
28. Трёхмерные математические модели. Их возможности, способы решения систем уравнений.

### **5.3. Самостоятельная работа обучающегося.**

В течение семестра студенты, по индивидуальным заданиям, выполняют курсовую работу на тему «Формирование нагрузочной(скоростной) характеристики двигателя расчетным путем с помощью ПО AVL BOOST».

#### **Задание на курсовую работу**

Сформировать скоростную(нагрузочную) характеристику двигателя расчетным путем с использованием ПО AVL BOOST.

#### **Содержание курсовой работы**

1. Построение расчетной схемы двигателя
2. Задание параметров элементов и систем двигателя в натуральном сгорании, определение начальных и граничных условий.
3. Определение параметрических переменных и задание вариантов расчета.
4. Проведение вариантных расчетов.
5. Анализ результатов расчетов и оформление отчета.

По результатам выполнения курсовой работы студенты представляют расчетно-пояснительную записку и презентацию, иллюстрирующую ход работы и анализ полученных результатов. Ход выполнения курсовой работы учитывается при проведении рейтинг-контроля.

Курсовая работа защищается специальной комиссией, состоящей из двух преподавателей кафедр, при обязательной участии руководителя курсовой работы в присутствии студентов группы. Вопросы могут задавать все присутствующие.

#### **Перечень вопросов для СРС**

1. Определение модели, её назначение.
2. Роль моделей в исследовании физических процессов и оптимизации структуры различных материальных объектов.
3. Классификация моделей и их анализ. 4. Физические модели, область их применения.

5. Математические модели, область их использования. Преимущества и недостатки.
6. Математические модели процессов в поршневых двигателях (квазистационарные: одно, двух и много зонные). Их принципиальные отличия и возможности.
7. Принцип формирования пространственных моделей: одно, двух и трёхмерных. Их возможности в исследовании процессов в поршневых двигателях. Способы решения систем уравнений.
8. Сравнение эффективности применения различных моделей при решении практических задач исследования термодинамических и газодинамических процессов в двигателях.
9. Расчётные схемы. Правила выбора начальных и граничных условий.
10. Методы оценки адекватности модели.
11. Методика и критерии выбора типа модели для решения конкретной задачи.
12. Исходное уравнение для вычисления давления рабочего тела в цилиндре.
13. Назовите основные факторы, влияющие на изменение давления рабочего тела в цикле поршневого двигателя?
14. Модель процесса теплообмена между рабочим телом и стенками внутри цилиндрического пространства.
15. Исходное уравнение и модель процессов сжатия и расширения рабочего тела в цилиндре.
16. Основные перетекания рабочего тела между цилиндром и трубопроводами в процессах газообмена. Нарисуйте диаграмму газообмена в  $V_p$ .
17. Исходное уравнение для моделирования процесса газообмена в цилиндре.
18. Уравнение для вычисления приращения массы рабочего тела в цилиндре в процессах выпуска и впуска.
19. Уравнение для вычисления приращения давления рабочего тела вследствие изменения его массы в процессах газообмена.
20. Что представляют собой характеристики тепловыделения (выгорания топлива)?
21. Эмпирическое уравнение тепловыделения И.И. Вибера.
22. Уравнения для вычисления приращения давления рабочего тела в цилиндре двигателя в процессе сгорания.
23. Разработать модель для определения параметров рабочего тела в выпускном и впускном трубопроводе.
24. Какие предпосылки и допущения принимаются при моделировании газотурбинного наддува (турбонаддува)?
25. В каком случае текущий расход воздуха через компрессор определяется с использованием характеристики компрессора?

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. Щигарцов И. Математическое моделирование термодинамических процессов в двигателях. Учебное пособие/ Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016г.	2016	Да
2. Трёхмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых	2012	да

двигателях [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Р. З. Кавтарадзе, Д. О. Онищенко, А. А. Зеленцов. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.		
3. AVL BOOST / -Graz: AVL List GmbH, 2020	2020	Да
Дополнительная литература		
1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. 2-е издание – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 720 с.	2011	Да
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	Да

*\*не более 5 источников*

## 6.2. Периодические издания

1. Журнал «Фундаментальные исследования»
2. Журнал «Двигателестроение»
3. Журнал «Тракторы и сельхозмашины»

## 6.3. Интернет-ресурсы

1. [www.avl.com](http://www.avl.com)
2. <https://diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Main>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия проводятся в ауд. 304-2, оснащенной проектором.

Практические занятия проводятся в компьютерном классе кафедры - ауд. 304-2, оснащенной персональными компьютерами с установленным лицензионным программным обеспечением (AVL AST 2013.2, MATLAB R2010b, Mathcad 14.0 M011), доступом к сетевым ресурсам университета и интернет, необходимыми справочными материалами.

Самостоятельная работа студентов проводится в компьютерном классе кафедры - ауд. 304-2, оснащенной персональными компьютерами с установленным лицензионным программным обеспечением (AVL AST 2013.2, MATLAB R2010b, Mathcad 14.0 M011), доступом к сетевым ресурсам университета и интернет, необходимыми справочными материалами.

Рабочую программу составил  
к.т.н.

А. Ю. Абаляев

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  
Протокол № 1 от 30.08.22 года  
Заведующий кафедрой

ТДЧЭУ

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

«Моделирование процессов в поршневых двигателях»

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*