

14, 15, 16

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



**ТВЕРЖДАЮ**  
 Проректор  
 по учебно-методической работе  
 А.А. Панфилов  
 « 02 » 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Моделирование процессов в поршневых двигателях»**

Направление подготовки 13.04.03. – энергетическое машиностроение  
 Профиль/программа подготовки двигатели внутреннего сгорания  
 Уровень высшего образования магистратура  
 Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./час	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	4/144	18	18	-	72	36 (экзамен)

Владимир  
 2015 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целями 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 энергию в поршневых двигателях внутреннего сгорания, необходимых для выполнения опытно-конструкторских работ при создании новых или модернизации выпускаемых двигателей с высокими показателями.

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

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Моделирование процессов в поршневых двигателях» относится к профилю «Двигатели внутреннего сгорания» раздела ОПОП – магистратура.

Для успешного изучения дисциплины «Моделирование процессов в поршневых двигателях» студенты должны быть знакомы с основными положениями высшей математики, теории вероятностей, информатики; курсов термодинамики и теплопередачи, газовой динамики; иметь знания по устройству, теории рабочих процессов, конструированию и агрегатам наддува поршневых двигателей.

Дисциплины, в которых студенты ранее изучили основные разделы математики и информатики, дали им представление о возможностях математического аппарата при теоретическом исследовании физических процессов, принципам построения алгоритмов расчета.

При изучении дисциплин «Термодинамика и теплопередача», «Газовая динамика» студенты должны хорошо усвоить основные закономерности преобразования тепловой энергии в механическую работу, теплообмена, движения жидких и газообразных сред, что дает представление о возможностях моделирования при исследовании физических процессов.

Материал дисциплины «Теория рабочих процессов в поршневых и комбинированных двигателях внутреннего сгорания» совместно с другими разделами (устройство, расчет и конструирование ДВС и др.) является базой для успешного усвоения закономерностей протекания процессов в системах ДВС.

Практика в разработке программ и выполнении расчетов на практических и лабораторных занятиях позволит студентам приобрести навыки для последующей работы в научных учреждениях и на предприятиях энергомашиностроения.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

3.1. Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих общекультурных компетенций:

- способностью к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);
- способностью действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения(ОК-2);
- способностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3).

3.2. Выпускник, освоивший программу магистратуры, должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

- способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- способностью использовать иностранный язык в профессиональной сфере (ОПК-3).

3.3. Выпускник, освоивший программу магистратуры, должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду профессиональной деятельности, на которую ориентирована программа магистратуры:

-3.3.1. Проектно-конструкторская деятельность:

- способностью использовать методы решения задач оптимизации параметров различных систем (ПК-1);
- способностью использовать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, методов расчетного анализа объектов профессиональной деятельности (ПК-2);
- способностью использовать современные технологии проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества (ПК-3).

### 3.3.2. Научно-исследовательская деятельность:

- способностью использовать знание теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности (ПК-4);
- готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах (ПК-5);
- способностью составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований (ПК-6).

### 3.3.3. Педагогическая деятельность:

- способностью и готовностью к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки (ПК-11).

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:**

***знать:***

- 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 разработки экономичных и малотоксичных двигателей;

***уметь:***

- 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;
- проектировать двигатели с заданными параметрами и характеристиками с использованием расчетных методов;

***владеть практическими 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.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контрольные работы	СРС	КП/КР		
1	Общие сведения о моделировании. Цели и области исследований с помощью моделей. Виды и классификация моделей. Физические и математические модели. Роль теорий подобия и размерностей.	2	1-2	2	2	-	-	4	-	2/50	
2	Принципы и последовательность разработки математических моделей: расчётные схемы, принятие допущений, выбор методов математического описания процессов (объектов), выбор метода оптимизации. Оценка адекватности модели.	2	3-4	2	2	-	-	4	-	2/50	
3	Разработка и оформление программы расчета. Тестирование программ. Особенности моделирования процессов в поршневых двигателях. Краткие сведения о существующих отечественных и зарубежных программных комплексах.	2	5-6	2	2	-	-	4	-	2/50	Рейтинг-контроль № 1
4	Моделирование в цилиндре процессов газообмена и сжатия (в дизеле, бензиновом и газовых двигателях).	2	7-8	2	2	-	-	16	-	2/50	
5	Моделирование процессов смесеобразования, сгорания и расширения в двигателях с воспламенением топливовоздушной смеси от искры и сжатия.	2	9-10	2	2	-	-	16	-	2/50	
6	Моделирование процессов в трубопроводах двигателей без наддува и с турбонаддувом	2	11-12	2	2	-	-	16	-	2/50	Рейтинг-контроль № 2
7	Использование характеристики компрессора для анализа совместной работы двигателя и ТКР. Аппроксимация характеристики для использования в программе расчёта цикла двигателя с наддувом.	2	13-14	2	2	-	-	4	-	2/50	

8	Использование программы расчёта цикла для выбора параметров перепуска газа минуя турбину, фаз газораспределения и др.	2	15-16	2	2	-	-	4	-	2/50	
9	Перспективы развития методов расчета процессов в поршневых двигателях. Практика в вариантных расчетах.	2	15-16	-	4	-	-	4	-	2/50	Рейтинг-контроль № 3
<b>Итого</b>				<b>18</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>18/50</b>	<b>Экзамен, 36ч.</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Применяемые образовательные технологии, являющиеся конкретным способом достижения целей образования в рамках данной дисциплины, предусматривают проведение занятий в аудитории, с полным количеством мест за персональными компьютерами.

**На лекциях** предусматривается широкое использование слайдов и и примеров реализации математического моделирования термодинамических процессов в двигателе на экране.

**Практические** занятия проводятся в активной форме с выполнением конкретных заданий на персональном компьютере. Темы и порядок выполнения заданий изложены в «Методических указаниях к практическим занятиям по дисциплине “Моделирование процессов в поршневых двигателях”».

**Темы для самостоятельного** изучения приведены в методических указаниях к самостоятельной работе студентов по данной дисциплине.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕЙТИНГ-КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ЭКЗАМЕН ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ СТУДЕНТАМИ

Контроль текущей успеваемости студентов осуществляется при устном опросе и проведением рейтинг-контроля.

### *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, одно зонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
2. Квазистационарные, двух зонные 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.

### ***ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНАМ***

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, одно зонные математические модели процессов в поршневых двигателях. Принимаемые допущения, области применения.
6. Квазистационарные, двух зонные 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. Вибе.
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, способы решения систем уравнений.
28. Трёхмерные математические модели. Их возможности, способы решения систем уравнений.

### ***ВОПРОСЫ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ***

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  $pV$ .
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. Вибе.
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 во 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?

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература:**

1. Введение в математическое моделирование (электронный ресурс). Учебное пособие. Под ред. П.В. Трусова М.: Логос, 2014 – 140 с.
2. Щигарцов И. Математическое моделирование термодинамических процессов в двигателях. Учебное пособие/ Издательство: [LAP LAMBERT Academic Publishing](http://LAP-LAMBERT.com), 2016г.
- 3.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. -

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 208. – 720 с.
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. -
3. Периодические издания «Фундаментальные исследования», «Двигателестроение», «Тракторы и сельхозмашины».
4. Гаврилов А.А., Игнатов М.С., Эфрос В.В. Расчет поршневых двигателей внутреннего сгорания. – Владимир, 2003. – 102 с.
5. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Харьков: Вища школа, 1980. – 168 с.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Программы расчета на ПК циклов поршневых двигателей с турбонаддувом, работающих на бензине, дизельном и газовом топливе (разработаны автором на кафедре).
2. Лицензионная программа фирмы АСКОН КОМПАС-3DV10.
3. Лицензионная программа Microsoft Excel.
4. Электронный учебник MADI-book.
5. Персональные компьютеры и демонстрационный прибор.

Рабочая программа по дисциплине «Моделирование процессов в поршневых двигателях» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 13.04.03 «Энергетическое машиностроение» .

Рабочую программу составил:  д.т.н., профессор кафедры ТДиЭУ

Гаврилов А.А.

Рецензенты:



профессор, к.т.н кафедры ТД и ЭУ Гоц А.Н.

Вед. специалист ООО ЗИП Д.т.н., Кульчицкий А.Р.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки»  
« 10 » февраля 2015 г., протокол № 19.

Зав. кафедрой  В.Ф. Гуськов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 13.04.03 «Энергетическое машиностроение» (магистратура)  
« 12 » 02 2015 г., протокол № 1.

**Председатель учебно-методической комиссии**



В.Ф. Гуськов

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на: \_\_\_\_\_ учебный год.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на: \_\_\_\_\_ учебный год.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Рабочая программа одобрена на 2015/16 учебный год

Протокол заседания кафедры № 201 от 17.02.15 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 2016/17 учебный год

Протокол заседания кафедры № 3 от 13.09.16 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 05.09.17 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2018/2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 24 от 10.09.2018 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2019/2020 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 03.09.2019 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на 2020/2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.20 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

В.Ф. Гуськов

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_