

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»**



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Теория рабочих процессов поршневых двигателей»**

**Направление подготовки 13.03.03 – энергетическое машиностроение**  
**Профиль подготовки – двигатели внутреннего сгорания**  
**Уровень высшего образования – бакалавриат**  
**Форма обучения очная**

Се- мestr	Трудоемкость зач. ед./час.	Лек- ций, час.	Практич. Занятий, час.	Лаборат. Работы, час	СРС, час.	Форма промежу- точного контроля (экз./зачет)
5	7/252	54	36	36	90	экз. (36)
6	4/144	36	-	18	54	экз. (36).
Итого	11/396	90	36	54	144	Экз., экз. (72)

Владимир 2015

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью изучения дисциплины** «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» является формирование знаний в области организации процессов получения тепловой энергии и преобразования 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 понимание физических особенностей рабочих процессов, получение навыков расчетов действительных циклов двигателей, способов оптимизации процессов, обеспечивающих достижение высоких мощностных, экономических и экологических показателей двигателей.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО**

Дисциплина «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» относится к вариативной части дисциплин (модулей), устанавливаемых вузом, блока 1 структуры программы бакалавриата.

Вариативная (профильная) часть дает возможность расширения и углубления знаний, умений, навыков и компетенций, определяемых содержанием базовых (обязательных) дисциплин (модулей), позволяет студенту получить углубленные знания, навыки и компетенции для успешной профессиональной деятельности или обучения в магистратуре.

Для успешного изучения дисциплины «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» студенты должны быть знакомы с основными положениями курсов химии, термодинамики и теплопередачи, газовой динамики; иметь знания по устройству и работе поршневых двигателей, информатики (использование стандартных программ Microsoft Office Excel и др.)..

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующий компетенции:

способность демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках (ОПК-3).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знатъ:**

- новейшие достижения в области расчета рабочих процессов в энергетических машинах;
- основные методы повышения мощности установок в энергетическом машиностроении;

**уметь:**

- применять естественно-научные законы при проектировании нового двигателя;
- выполнять экспериментальные исследования, проводить обработку и анализ результатов испытаний;

**владеть:**

- способами использования полученных знаний физико-математических дисциплин в процессе проектирования машин, их узлов и агрегатов;
- обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)** **«Теория рабочих процессов поршневых двигателей»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 11 зачетных единиц трудоемкости (5 семестр – 7 зачетных единиц, 252 часа; 6 семестр – 4 зачетных единицы, 144 часа)

#### 4.1. Общеобразовательные модули дисциплины

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Объем учебной работы, с приме- нением интерак- тивных методов (в часах / %)	Формы теку- щего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма проме- жуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные занятия	СРС			
1	Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов. Параметры рабочих циклов. Термодинамический коэффициент полезного действия и среднее давление термодинамических циклов. Анализ качественных и количественных показателей циклов.	5	1	2	2	2		5		3/50	
2	Термодинамические циклы комбинированных двигателей. Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.	5	2	4	2	2		5		4/50	
3	Рабочие тела, применяемые в ДВС - топлива, окислители, их основные свойства. Реакции сгорания жидких и газообразных топлив. Стехиометрическое количество воздуха, коэффициент избытка воздуха. Состав горючей смеси и продуктов сгорания, коэффициент молекулярного изменения свежей смеси.	5	3	2	2	2		5		2/33	
4	Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива. Темплота сгорания горючей смеси. Теплоемкость и внутренняя энергия свежей, рабочей смеси и продуктов сгорания.	5	4	4	2	2		5		3/38	
5	Процессы газообмена в двигателях. Газообмен в 4-тактных двигателях. Фазы газораспределения. Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки цилиндра. Влияние газодинамических явлений в выпускной и выпускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.	5	5	2	2	2		5		1/17	Рейтинг-контроль №1
6	Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуск на процессы газообмена в 4-тактных комбинированных двигателях. Показатели процессов газообмена: коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов, коэффициент продувки камеры сгорания и коэффициент избытка продувочного тела. Понятие суммарного коэффициента избытка воздуха.	5	6	4	2	2		5		-	
7	Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов от регулируемых частоты циклов и мощности двигателя и параметров рабочих тел на впуске и выпуске. Экспериментальное определение показателей газообмена.	5	7	2	2	2		5		2/33	
8	Газообмен в 2-тактных двигателях. Действительная и геометрическая степень сжатия. Схемы газообмена, основные периоды газообмена. Параметры продувочного тела и выпуск	5	8	4	2	2		5		-	

	скных газов. Коэффициенты, характеризующие газообмен: наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки..									
9	Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах на процессы зарядки. Влияние конструктивных и режимных факторов на протекание процессов газообмена	5	9	2	2	2	5		2/33	
10	Расчетные методы определения температур за время газообмена в цилиндрах, выпускных трубопроводах и перед турбинами 2- и 4-тактных двигателей, экспериментальное определение показателей газообмена. Моделирование процессов газообмена. Критерии подобия и связи между ними. Показатели газообмена в подобных двигателях.		10	4	2	2	5		-	
11	Процессы сжатия. Отличия процессов сжатия в действительных циклах от процессов сжатия в термодинамических циклах. Величина степени сжатия в различных двигателях. Физические и химические процессы, протекающие в рабочем теле в процессе сжатия. Особенности процессов сжатия в двигателях с разделенными камерами сгорания. Значения давлений и температур рабочего тела в конце процессов сжатия в двигателях различных типов.		11	2	2	2	5		2/33	Рейтинг-контроль №2
12	Процессы смесеобразования в двигателях. Показатели качества горючей смеси. Внешнее и внутреннее смесеобразование. Испаряемость капель и пленок жидкых топлив. Методы распыливания жидких топлив и суспензий. Размеры капель и формы струи распыленного топлива. Перемешивание топлива и окислителя в неразделенных и разделенных камерах. Энергия, затрачиваемая на смесеобразование; вихревое отношение. Объемное, пленочное, объемно-пленочное и послойное внутреннее смесеобразование.		12	4	2	2	5		-	
13	Воспламенение горючих смесей. Распространение пламени по объему камеры сгорания; фазы сгорания; влияние конструктивных и режимных факторов на процессы сгорания в двигателях с различными способами воспламенения смесей. Концентрационные пределы распространения фронта пламени. Сгорание в разделенных и неразделенных камерах и при различных способах смесеобразования. Влияние на сгорание свойств топлива, состава смеси и движения заряда в камере. Процессы сгорания при совместном сжигании жидкого и газообразного топлив.		13	2	2	2	5		2/33	
14	Параметры, характеризующие процесс сгорания: скорость распространения фронта пламени, характеристики тепловыделения, период задержки воспламенения (период индукции), продолжительность сгорания, максимальные давления сгорания, скорости нарастания давлений. Расчет параметров рабочего тела в период сгорания, баланс энергии, коэффициенты выделения и использования теплоты, их зависимость от режимов работы двигателей.		14	4	2	2	5		2/50	

15	Экспериментальные методы исследования сгорания. 10. Токсичность продуктов сгорания, способы ее определения и снижения. Механизмы образования токсичных веществ. Способы создания малотоксичных двигателей. Оценка экологической безопасности двигателей по полному жизненному циклу. Стандарты ISO 14000.		15	2	2	2		5			
16	Особенности процессов расширения в действительных циклах. Теплоотдача в стенки, догорание топлива. Расчет состояния рабочего тела в процессе расширения, значения параметров состояния рабочего тела в конце расширения для различных двигателей.		16	4	2	2		5		2/25	
17	Среднее индикаторное давление. Зависимость среднего индикаторного давления от параметров рабочего цикла, зависимость его от конструктивных и режимных факторов. Удельный индикаторный расход топлива; индикаторный КПД. Значения индикаторных показателей для различных двигателей, их зависимость от конструктивных и режимных факторов.		17	2	2	2		5			Рейтинг-контроль №3
18	Составляющие механических потерь. Среднее давление трения, его зависимость от средней скорости поршня. Мощность механических потерь. Механический КПД. Экспериментальное определение механических потерь.		18	4	2	2		5		2/25	
<b>Всего за 5 семестр</b>				<b>54</b>	<b>36</b>	<b>36</b>		<b>90</b>		<b>27/21</b>	<b>экз.(36),КР</b>
1	Среднее эффективное давление, эффективная мощность двигателя. Способы повышения эффективной мощности. Удельный эффективный расход топлива, эффективный КПД двигателя. Зависимость эффективных показателей от конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов.	6	1	2		-		3	-	1/50	
2	Методы повышения эффективной мощности двигателя. Показатели, характеризующие напряженность рабочего процесса: литровая мощность, поршневая мощность, комбинированные показатели.	6	2	2		2		3			
3	Способы повышения удельной мощности. Значения удельных мощностей для двигателей различных типов. Приведение мощности двигателей к стандартным атмосферным условиям.	6	3	2		-		3		1/50	
4	Наддув как основной способ повышения удельной мощности двигателя. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.	6	4	2		2	1	3			
5	Установившиеся режимы и неустановившиеся режимы работы двигателя. Области режимов работы двигателя. Характеристики двигателей. Нагрузочные, скоростные, комбинированные, регулировочные, специальные характеристики.	6	5	2		-	-	3		-	Рейтинг-контроль №1
6	Совместная работа двигателей и потребителей мощности. Возможные методы регулирования эффективной	6	6	2		2		3		2/50	

	работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.									
7	Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.	6	7	2		-	3		-	
8	Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей. Определение составляющих теплового баланса.	6	8	2		2	3		1/25	
9	Изменение теплового баланса от режимов двигателя. Теплоотдача в двигателях и теплонапряженность.	6	9	2		-	1	3		
10	Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией.	6	10	2		2	3		1/25	
11	Организация рабочего процесса малотоксичных двигателей. Методы воздействия на протекание рабочего процесса с целью снижения расхода топлива и вредных выбросов с отработавшими газами.	6	11	2		-	3			Рейтинг-контроль №2
12	Математические модели и методы поиска оптимальных решений, применяемые для анализа и оптимизации термодинамических циклов.	6	12	2		2	3		2/50	
13	Оптимизация рабочего процесса двигателей. Критерии оптимизации: мощность, удельный расход топлива, выбросы твердых частиц, окиси углерода, углеводородов и окислов азота.	6	13	2		-	3		2/50	
14	Ограничения при оптимизации: максимальное давление в цилиндре, температура газов перед турбиной, жесткость сгорания. Параметры оптимизации	6	14	2		2	1	3	2/50	
15	Задачи моделирования рабочего процесса: определение мощностных и эффективных показателей двигателя, показателей эмиссии вредных веществ, диаграмм изменения давления и температуры в элементах ДВС, скорости тепловыделения, показателей эффективности процесса газообмена, тепловых потоков через теплоизолирующие поверхности	6	15	2		-	3		1/50	
16	Границные условия рабочих процессов - процессы в агрегатах наддува, перепускных устройствах, охладителях надувочного воздуха, впускных фильтрах и глушителях шума.	6	16	2		2	3			
17	Классификация математических моделей рабочего процесса. Эмпирические модели. Термодинамические модели. CFD (Computational Fluid Dynamic) модели.	6	17	2		-	3			Рейтинг-контроль №3
18	Расчет теплообмена со стенками. Расчет процесса сгорания. Модель сгорания Гриневецкого, Вибе.	6	18	2		2	3		2/50	
<b>Всего за 6 семестр</b>				<b>36</b>		<b>18</b>	<b>3</b>	<b>54</b>		<b>15/28</b>
<b>Итого за курс</b>				<b>90</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>3</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>42/23</b>
										<b>Экз. (36), экз. (36)</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ»

## **ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»**

С целью формирования и развития профессиональных навыков у студентов при проведении лекционных, практических занятий, а также при приеме курсовых работ и руководстве самостоятельной работой применяются следующие образовательные технологии.

Например, при обсуждении мощности двигателя на доске записывается формула для определения ее. Студентам предлагается указать на возможные мероприятия по повышению мощности. Именно это новое качество позволяет надеяться на эффективное, реально полезное расширение сектора самостоятельной учебной работы.

Перед началом каждой лекции лектор напоминает студентам о тех вопросах, которые были рассмотрены на предыдущих занятиях (лекциях и практических занятиях), а после этого ставим перед аудиторией задачи, которые следует решить.

При проведении практических занятий используются модульное обучение, при котором каждый модуль начинается: а) с входного контроля знаний и умений (для определения уровня готовности обучаемых к предстоящей самостоятельной работе); б) с выдачи индивидуального задания, основанного на таком анализе. Заданием являются: реферат по результатам самостоятельного изучения знаний, расчетно-графические задания, контрольная работа, тесты, устные и письменные опросы. Модуль всегда должен заканчиваться контрольной проверкой знаний. Контролем промежуточным и выходным проверяется уровень усвоения знаний и выработки умений в рамках одного модуля или нескольких модулей. Затем – соответствующая доработка, корректировка, установка на следующий «виток», т.е. последующий модуль.

При использовании модульного обучения повышается качество обучения за счет того, что все обучение направлено на отработку практических навыков; компетенция определяет необходимые личностные качества; сокращение сроков обучения; реально осуществляется индивидуализация обучения при реальной возможности создания индивидуальных программ обучения; быстрая адаптация учебно-методического материала к изменяющимся условиям, гибкое реагирование.

При этом соблюдается постоянная обратная связь преподавателя и студента. Например, выборочно задается студентам вопрос по некоторым изучаемым в модуле вопросам и студенты дают свои варианты ответов. В этом случае обеспечивается активная роль студентов на занятиях, так как отвечать на вопросы может каждый.

Часто на практических занятиях используются методы проблемного обучения. Схема проблемного обучения, представляется как последовательность процедур, включающих: постановку преподавателем учебно-проблемной задачи, создание для студентов проблемной ситуации; осознание, принятие и разрешение возникшей проблемы, в процессе кото-

рого они овладевают обобщенными способами приобретения новых знаний; применение данных способов для решения конкретных задач. Например, двигатель форсируется по мощности за счет введения турбонаддува на 20 %. Как это можно обеспечить? Для повышения творческой деятельности студентов посредством постановки проблемно сформулированных заданий и активизации, за счет этого, их познавательного интереса и, в конечном счете, всей познавательной деятельности, поскольку за счет дополнительного рассмотрения справочников приобретаются новые знания.

Усвоение студентами знаний, добытых в ходе активного поиска и самостоятельного решения проблем более прочные, чем при традиционном обучении. Кроме того, при таком обучении происходит воспитание активной, творческой личности студента, умеющего видеть и решать нестандартные профессиональные проблемы.

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

Для подготовки студентов к самостоятельной работе в каждом семестре при проведении практических занятий и самостоятельных домашних заданий каждому студенту выдается типовая индивидуальная задача, которую он должен выполнить самостоятельно – это расчет цикла двигателя без компьютерных программ. Проверка правильности расчета проводится с помощью компьютерных программ. Одна из таких типовых задач решается совместно с преподавателем.

### **6.1. Практические занятия**

Практические занятия являются формой индивидуально-группового и практико-ориентированного обучения на основе реальных или модельных ситуаций применительно к виду и профилю профессиональной деятельности. Темы практических занятий:

1. Анализ результатов расчёта цикла по методике В.И. Гриневецкого.
2. Анализ результатов расчёта цикла поршневого двигателя по временной модели.
3. Анализ изменения давления, температуры и других показателей теоретического цикла по расчётным диаграммам.
4. Аппроксимация характеристик компрессора для расчёта малоцилиндровых двигателей с наддувом.
5. Расчёт и построение диаграмм изменения параметров цикла в системе газотурбинного наддува.
6. Расчёт и построение диаграмм изменения давлений в цилиндре и трубопроводах одноцилиндрового двигателя с турбонаддувом.
7. Расчёт, построение и анализ характеристик тепловыделения бензинового двигателя.
8. Расчёт, построение и анализ характеристик тепловыделения дизеля.
9. Расчет цикла бензинового двигателя по разработанным моделям.
10. Расчет цикла дизеля по разработанным моделям.

11. Расчет цикла поршневого двигателя с использованием компьютерных программ.

## **6.2. Лабораторные работы**

Темы лабораторных работ:

1. Расчет цикла бензинового двигателя без наддува.
2. Расчет цикла дизеля с турбонаддувом.
3. Расчётное исследование влияния фаз газораспределения на показатели цикла в поршневом двигателе.
4. Расчётное исследование влияния объёма впускного трубопровода в одноцилиндровом дизеле с турбонаддувом.
5. Влияние угла опережения зажигания (впрыска топлива) на показатели цикла двигателя.
6. Расчётное исследование продолжительности сгорания топлива на показатели цикла.
7. Экспериментальное получение нагрузочной характеристики поршневого двигателя.
8. Снятие скоростной характеристики бензинового двигателя.
9. Снятие скоростной характеристики дизеля с регуляторной ветвью.
10. Снятие регуляторной характеристики дизеля.
11. Регулировочная характеристика двигателей.
12. Определение величины механических потерь в двигателях.
13. Определение теплового баланса двигателя с жидкостным охлаждением.
14. Определение токсичности поршневого двигателя.
15. Индицирование двигателя, исследование процессов сжатия, сгорания и расширения по индикаторной диаграмме.
16. Характеристика двигателя с принудительным зажиганием по составу смеси.
17. Характеристика холостого хода двигателя с принудительным зажиганием.

## **6.3. Самостоятельная работа**

Самостоятельная работа заключается в изучении тем курса по конспектам, учебникам и дополнительной литературе, подготовке к лабораторным и практическим занятиям, оформлении лабораторных работ, к рубежным контролям, к экзамену, подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов требует самостоятельной творческой работы студента не только по лекционному материалу, но и по дополнительной литературе по указанию преподавателя.

Примерные темы рефератов, которые студенты докладывают на практических занятиях:

1. Анализ современных тенденций развития поршневых двигателей.
2. Применение непосредственного впрыскивания бензина в цилиндр..
3. История развития топливоподачи в бензиновых двигателях.
4. Оценка погрешности индицирования двигателей.
5. Обзор методов расчетного и экспериментальной оценки показателей двигателей.
6. Оценка погрешности индицирования двигателей.
7. Обзор методов расчетной и экспериментальной оценки показателей надежности двигателей.
8. История развития поршневых двигателей
9. Моделирование образования токсичных веществ в цилиндрах дизелей.
10. Влияние газодинамических явлений в выпускной и впускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.
11. Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах на процессы зарядки.

12. Особенности процессов сжатия в двигателях с разделенными камерами сгорания.
13. Отличия процессов сжатия в действительных циклах от процессов сжатия в термодинамических циклах. Величина степени сжатия в различных двигателях.
14. Методы распыливания жидких топлив и супензий.
15. Перемешивание топлива и окислителя в неразделенных и разделенных камерах.
16. Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.
17. Процессы газообмена в двигателях.

#### **6.4. Задание на рейтинг-контроль**

**5 семестр**

##### **1-й рейтинг-контроль**

1. Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов.
2. Параметры рабочих циклов.
3. Термодинамический коэффициент полезного действия и среднее давление термодинамических циклов.
4. Анализ качественных и количественных показателей циклов.
5. Термодинамические циклы комбинированных двигателей.
6. Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.
7. Рабочие тела, применяемые в ДВС - топлива, окислители, их основные свойства.
8. Реакции сгорания жидкого и газообразного топлива.
8. Стехиометрическое количество воздуха, коэффициент избытка воздуха.
9. Состав горючей смеси и продуктов сгорания, коэффициент молекулярного изменения свежей смеси.
10. Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива.
11. Теплота сгорания горючей смеси.
12. Теплоемкость и внутренняя энергия свежей, рабочей смеси и продуктов сгорания.
13. Процессы газообмена в двигателях.
14. Газообмен в 4-тактных двигателях.
15. Фазы газораспределения.
16. Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки цилиндра.
17. Влияние газодинамических явлений в выпускной и выпускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.
18. Влияние присоединения компрессора на выпуске и газовой турбины на выпуске на процессы газообмена в 4-тактных комбинированных двигателях.

##### **2-й рейтинг-контроль**

1. Показатели процессов газообмена: коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов, коэффициент продувки камеры сгорания и коэффициент избытка продувочного тела.
2. Понятие суммарного коэффициента избытка воздуха.
3. Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов от регулируемых частоты циклов и мощности двигателя и параметров рабочих тел на выпуске и выпуске.
4. Экспериментальное определение показателей газообмена.
5. Газообмен в 2-тактных двигателях.
6. Действительная и геометрическая степень сжатия.

7. Схемы газообмена, основные периоды газообмена.
8. Параметры продувочного тела и выпускных газов.
9. Коэффициенты, характеризующие газообмен: наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки.
10. Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах на процессы зарядки.
11. Влияние конструктивных и режимных факторов на протекание процессов газообмена.
12. Расчетные методы определения температур за время газообмена в цилиндрах, выпускных трубопроводах и перед турбинами 2- и 4-тактных двигателей, экспериментальное определение показателей газообмена.
13. Моделирование процессов газообмена. Критерии подобия и связи между ними. Показатели газообмена в подобных двигателях.
14. Процессы сжатия. Отличия процессов сжатия в действительных циклах от процессов сжатия в термодинамических циклах.

### **3-й рейтинг-контроль**

1. Величина степени сжатия в различных двигателях.
2. Физические и химические процессы, протекающие в рабочем теле в процессе сжатия.
3. Особенности процессов сжатия в двигателях с разделенными камерами сгорания.
4. Значения давлений и температур рабочего тела в конце процессов сжатия в двигателях различных типов.
5. Процессы смесеобразования в двигателях.
6. Показатели качества горючей смеси.
7. Внешнее и внутреннее смесеобразование.
8. Испаряемость капель и пленок жидкых топлив.
9. Методы распыливания жидких топлив и суспензий.
10. Размеры капель и формы струи распыленного топлива.
11. Перемешивание топлива и окислителя в неразделенных и разделенных камерах.
12. Энергия, затрачиваемая на смесеобразование; вихревое отношение.
13. Объемное, пленочное, объемно-пленочное и послойное внутреннее смесеобразование.
14. Воспламенение горючих смесей.
15. Распространение пламени по объему камер сгорания; фазы сгорания; влияние конструктивных и режимных факторов на процессы сгорания в двигателях с различными способами воспламенения смесей.
16. Концентрационные пределы распространения фронта пламени.
17. Сгорание в разделенных и неразделенных камерах и при различных способах смесеобразования.
18. Влияние на сгорание свойств топлива, состава смеси и движения заряда в камере.

### **6 семестр**

#### **1-й рейтинг-контроль**

1. Процессы сгорания при совместном сжигании жидкого и газообразного топлив.
2. Параметры, характеризующие процесс сгорания: скорость распространения фронта пламени, характеристики тепловыделения, период задержки воспламенения (период индукции), продолжительность сгорания, максимальные давления сгорания, скорости нарастания давлений.

3. Расчет параметров рабочего тела в период сгорания, баланс энергии, коэффициенты выделения и использования теплоты, их зависимость от режимов работы двигателей.
4. Экспериментальные методы исследования сгорания.
5. Токсичность продуктов сгорания, способы ее определения и снижения.
6. Особенности процессов расширения в действительных циклах.
7. Теплоотдача в стенки, догорание топлива.
8. Расчет состояния рабочего тела в процессе расширения, значения параметров состояния рабочего тела в конце расширения для различных двигателей.
8. Среднее индикаторное давление.
9. Зависимость среднего индикаторного давления от параметров рабочего цикла, зависимость его от конструктивных и режимных факторов.
10. Удельный индикаторный расход топлива; индикаторный КПД.
11. Значения индикаторных показателей для различных двигателей; их зависимость от конструктивных и режимных факторов.
12. Составляющие механических потерь.
13. Среднее давление трения, его зависимость от средней скорости поршня.
14. Мощность механических потерь.
15. Механический КПД. Экспериментальное определение механических потерь.
16. Среднее эффективное давление, эффективная мощность двигателя.
17. Способы повышения эффективной мощности.
18. Удельный эффективный расход топлива, эффективный КПД двигателя.
19. Зависимость эффективных показателей от конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов.
20. Методы повышения эффективной мощности двигателя.

## **2-й рейтинг-контроль**

1. Показатели, характеризующие напряженность рабочего процесса: литровая мощность, поршневая мощность, комбинированные показатели.
2. Способы повышения удельной мощности.
3. Значения удельных мощностей для двигателей различных типов.
4. Приведение мощности двигателей к стандартным атмосферным условиям.
5. Наддув как основной способ повышения удельной мощности двигателя
6. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.
7. Установившиеся режимы и неустановившиеся режимы работы двигателя.
8. Области режимов работы двигателя.
9. Характеристики двигателей.
10. Нагрузочные, скоростные, комбинированные, регулировочные, специальные характеристики.
11. Совместная работа двигателей и потребителей мощности.
12. Возможные методы регулирования эффективной работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки.
13. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.
14. Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.
15. Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей.
16. Определение составляющих теплового баланса.
17. Изменение теплового баланса от режимов двигателя.
18. Теплоотдача в двигателях и теплоизмененность.
19. Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией.

20. Методы воздействия на протекание рабочего процесса с целью снижения расхода топлива и вредных выбросов с отработавшими газами.

### **3-й рейтинг-контроль**

1. Математические модели и методы поиска оптимальных решений, применяемые для анализа и оптимизации термодинамических циклов.
2. Оптимизация рабочего процесса двигателей.
3. Критерии оптимизации: мощность, удельный расход топлива, выбросы твердых частиц, окиси углерода, углеводородов и окислов азота.
4. Ограничения при оптимизации: максимальное давление в цилиндре, температура газов перед турбиной, жесткость сгорания.
5. Параметры оптимизации.
6. Совместная работа двигателей и потребителей мощности.
7. Возможные методы регулирования эффективной работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки.
8. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.
9. Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.
10. Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей.
11. Газообмен в 2-тактных двигателях.
12. Действительная и геометрическая степень сжатия.
13. Схемы газообмена, основные периоды газообмена.
14. Параметры продувочного тела и выпускных газов.

## **6.5. Контрольные вопросы к экзаменам**

### **Семестр 5**

1. 1. Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов.
2. Параметры рабочих циклов.
3. Термодинамический коэффициент полезного действия и среднее давление термодинамических циклов.
4. Анализ качественных и количественных показателей циклов.
5. Термодинамические циклы комбинированных двигателей.
6. Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.
7. Рабочие тела, применяемые в ДВС - топлива, окислители, их основные свойства.
8. Реакции сгорания жидких и газообразных топлив.
8. Стехиометрическое количество воздуха, коэффициент избытка воздуха.
9. Состав горючей смеси и продуктов сгорания, коэффициент молекулярного изменения свежей смеси.
10. Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива.
11. Теплота сгорания горючей смеси.
12. Теплоемкость и внутренняя энергия свежей, рабочей смеси и продуктов сгорания.
13. Процессы газообмена в двигателях.
14. Газообмен в 4-тактных двигателях.
15. Фазы газораспределения.
16. Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки цилиндра.
17. Влияние газодинамических явлений в выпускной и выпускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.

18. Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуск-ке на процессы газообмена в 4-тактных комбинированных двигателях.

19. Показатели процессов газообмена: коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов, коэффициент продувки камеры сгорания и коэффициент избытка продувочного тела.

20. Понятие суммарного коэффициента избытка воздуха.

21. Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов от регулируемых частоты циклов и мощности двигателя и параметров рабочих тел на впуске и выпуске.

22. Экспериментальное определение показателей газообмена.

23. Газообмен в 2-тактных двигателях.

24. Действительная и геометрическая степень сжатия.

25. Схемы газообмена, основные периоды газообмена.

26. Параметры продувочного тела и выпускных газов.

27. Коэффициенты, характеризующие газообмен: наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки.

28. Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах на процессы зарядки.

29. Влияние конструктивных и режимных факторов на протекание процессов газообмена.

30. Расчетные методы определения температур за время газообмена в цилиндрах, выпускных трубопроводах и перед турбинами 2- и 4-тактных двигателей, экспериментальное определение показателей газообмена.

31. Моделирование процессов газообмена. Критерии подобия и связи между ними. Показатели газообмена в подобных двигателях.

32. Процессы сжатия. Отличия процессов сжатия в действительных циклах от процессов сжатия в термодинамических циклах.

33. Величина степени сжатия в различных двигателях.

34. Физические и химические процессы, протекающие в рабочем теле в процессе сжатия.

35. Особенности процессов сжатия в двигателях с разделенными камерами сгорания.

36. Значения давлений и температур рабочего тела в конце процессов сжатия в двигателях различных типов.

37. Процессы смесеобразования в двигателях.

38. Показатели качества горючей смеси.

39. Внешнее и внутреннее смесеобразование.

40. Испаряемость капель и пленок жидкого топлива.

41. Методы распыливания жидкого топлива и супензий.

42. Размеры капель и формы струи распыленного топлива. 11. Перемешивание топлива и окислителя в неразделенных и разделенных камерах.

## Семестр 6

1. Процессы сгорания при совместном сжигании жидкого и газообразного топлива.

2. Параметры, характеризующие процесс сгорания: скорость распространения фронта пламени, характеристики тепловыделения, период задержки воспламенения (период индукции), продолжительность сгорания, максимальные давления сгорания, скорости нарастания давлений.

3. Расчет параметров рабочего тела в период сгорания, баланс энергии, коэффициенты выделения и использования теплоты, их зависимость от режимов работы двигателей.

4. Экспериментальные методы исследования сгорания.

5. Токсичность продуктов сгорания, способы ее определения и снижения.

6. Особенности процессов расширения в действительных циклах.
7. Теплоотдача в стенки, догорание топлива.
8. Расчет состояния рабочего тела в процессе расширения, значения параметров состояния рабочего тела в конце расширения для различных двигателей.
8. Среднее индикаторное давление.
9. Зависимость среднего индикаторного давления от параметров рабочего цикла, зависимость его от конструктивных и режимных факторов.
10. Удельный индикаторный расход топлива; индикаторный КПД.
11. Значения индикаторных показателей для различных двигателей; их зависимость от конструктивных и режимных факторов.
12. Составляющие механических потерь.
13. Среднее давление трения, его зависимость от средней скорости поршня.
14. Мощность механических потерь.
15. Механический КПД. Экспериментальное определение механических потерь.
16. Среднее эффективное давление, эффективная мощность двигателя.
17. Способы повышения эффективной мощности.
18. Удельный эффективный расход топлива, эффективный КПД двигателя.
19. Зависимость эффективных показателей от конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов.
20. Методы повышения эффективной мощности двигателя.
21. Показатели, характеризующие напряженность рабочего процесса: литровая мощность, поршневая мощность, комбинированные показатели.
22. Способы повышения удельной мощности.
23. Значения удельных мощностей для двигателей различных типов.
24. Приведение мощности двигателей к стандартным атмосферным условиям.
25. Наддув как основной способ повышения удельной мощности двигателя
26. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.
27. Установившиеся режимы и неустановившиеся режимы работы двигателя.
28. Области режимов работы двигателя.
29. Характеристики двигателей.
30. Нагрузочные, скоростные, комбинированные, регулировочные, специальные характеристики.
31. Совместная работа двигателей и потребителей мощности.
32. Возможные методы регулирования эффективной работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки.
33. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.
34. Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.
35. Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей.
36. Определение составляющих теплового баланса.
37. Изменение теплового баланса от режимов двигателя.
38. Теплоотдача в двигателях и теплонапряженность.
39. Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией.
40. Методы воздействия на протекание рабочего процесса с целью снижения расхода топлива и вредных выбросов с отработавшими газами.
41. Математические модели и методы поиска оптимальных решений, применяемые для анализа и оптимизации термодинамических циклов.
42. Оптимизация рабочего процесса двигателей.
43. Критерии оптимизации: мощность, удельный расход топлива, выбросы твердых частиц, окиси углерода, углеводородов и окислов азота.

44. Ограничения при оптимизации: максимальное давление в цилиндре, температура газов перед турбиной, жесткость сгорания.
45. Параметры оптимизации.
46. Совместная работа двигателей и потребителей мощности.
47. Возможные методы регулирования эффективной работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки.
48. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.
49. Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.
50. Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Основная литература

1. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов 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. – [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0563.html](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." – <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996308347.html>.
3. Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч.І [Электронный ресурс] // Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. - М. : БИНОМ, 2012." – Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч.І [Электронный ресурс] // Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. - М. : БИНОМ, 2012." –

### б) Дополнительная литература

- I. 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. Двигатели внутреннего сгорания. В 4 кн. Кн.2. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учеб. по специальности "Двигатели внутреннего сгорания"/ Орлин А.С., Круглов М.Г., Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А. и др.; Под ред Орлина А.С., Круглова М.Г. - 4-е издание, переработанное и дополненное. М., Машиностроение, 1983. - 372 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов: Учеб./ Луканин В.Н., Морозов К.А., Хачян А.С. и др.; Под ред Луканина В.Н. - М.: Высшая школа, 1995. - 368 с.
5. Отраслевые журналы «Известие вузов. Машиностроение», «Двигателестроение», «Двигатель», «Фундаментальные исследования», «Тракторы и сельхозмашины»
6. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе **ДИ-ЗЕЛЬ-РК** <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>.
7. Онлайн-калькулятор.

<http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/gaus/>

<http://math.semestr.ru/gauss/gauss.php>

[http://www.webmath.ru/web/prog13\\_1.php](http://www.webmath.ru/web/prog13_1.php)

<http://matematikam.ru/solve-equations/sistema-gaus.php>

[http://www.math-pr.com/equations\\_1.php;](http://www.math-pr.com/equations_1.php)

[http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/matr/;](http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/matr/)

<http://ru.numberempire.com/equationsolver.php>.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) «ТЕОРИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»**

Для выполнения самостоятельных работ и при проведении практических занятий используются ПК в компьютерной классе кафедры. Используются программы Mathcad 12, MATLAB, а также компьютерные программы по расчету циклов бензиновых двигателей, дизелей и газовых двигателей, разработанные на кафедре.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта ВО по направлению 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», утвержденному приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 1083 от 01. 10. 2015 года, применительно к учебному плану направления 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» (уровень высшего образования бакалавриат), утвержденному ректором ВлГУ 03.11.2015 г.

Рабочую программу составил профессор кафедры ТД и ЭУ, д.т.н.

А.Н. Гоц

Рецензент

(представитель работодателя) главный специалист ООО «ЗИП «КТЗ» г. Владимир  
д.т.н.

А.Р. Кульчицкий

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТДиЭУ

Протокол № 9 от 10.11.2015 года

Заведующий кафедрой «Тепловые двигатели и энергетические установки»

В.Ф. Гуськов  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 13.03.03 „Энергетическое машиностроение“

Протокол № 6 от 11.11.2015 года

Председатель комиссии

В.Ф. Гуськов  
(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2016/2017 учебный год

Протокол заседания кафедры № 2 от 06.09.16 года

Заведующий кафедрой Гусков В.Ф.

Рабочая программа одобрена на 2017/2018 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 05.09.17 года

Заведующий кафедрой Гусков В.Ф.

Рабочая программа одобрена на 2018/2019 учебный год

Протокол заседания кафедры № 24 от 04.09.18 года

Заведующий кафедрой Гусков В.Ф.