

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
«ТЕОРИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ»

направление подготовки / специальность

13.03.03 – энергетическое машиностроение

направленность (профиль) подготовки

Двигатели внутреннего сгорания

г. Владимир

Год
2022

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения 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:

- обеспечить понимание физических особенностей рабочих процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания;
- получение навыков расчетов действительных циклов двигателей;
- получение навыков применения способов оптимизации процессов, обеспечивающих достижение высоких мощностных, экономических и экологических показателей двигателей.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.04 «Теория рабочих процессов поршневых двигателей» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений дисциплин, блока 1 структуры программы бакалавриата.

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-2. Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.	<p>ПК-2.1. Знает основные закономерности техногенного воздействия на окружающую среду, устройство, принцип действия, кинематику и динамику поршневых двигателей внутреннего сгорания при создании объектов энергетического машиностроения.</p> <p>ПК-2.2. Умеет принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.</p> <p>ПК-2.3. Владеет простейшими методиками расчета основных элементов энергетического оборудования, деталей и узлов их для принятия обоснованного технического</p>	<p>Знает новейшие достижения в области расчета рабочих процессов в энергетических машинах.</p> <p>Умеет применять естественно-научные законы при проектировании нового двигателя.</p> <p>Владеет способами использования полученных знаний физико-математических дисциплин в процессе проектирования машин</p>	Экзамен

	решения при создании объектов энергетического машиностроения		
ПК-5. Способен участвовать в подготовке отчетов по результатам расчетных и экспериментальных исследований объектов энергетического машиностроения.	<p>ПК-5.1. Знает методы оформления отчетов по результатам расчетных и экспериментальных исследований объектов энергетического машиностроения.</p> <p>ПК-5.2. Умеет выполнять обобщение результатов исследований на базе стандартных и специализированных пакетов прикладных программ, оформлять отчеты и проводить анализ полученных данных.</p> <p>ПК-5.3. Владеет навыками пользователя стандартных и специализированных пакетов прикладных программ по обработке результатов исследований, оформлению отчетов.</p>	<p>Знает основные методы повышения мощности установок в энергетическом машиностроении.</p> <p>Умеет выполнять экспериментальные исследования, проводить обработку и анализ результатов испытаний.</p> <p>Владеет обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения.</p>	Экзамен

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 11 зачетных единиц, 396 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	Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов	5	1	2	2		1	7	
2	Термодинамические циклы комбинированных двигателей	5	2	2	2		1	7	
3	Рабочие тела, применяемые в ДВС	5	3	2	2		1	7	
4	Совершенное, несовершенное, полное	5	4	2	2		1	7	

	и неполное сгорания топлива								
5	Процессы газообмена в двигателях	5	5	2	2		1	7	Рейтинг-контроль №1
6	Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуске на процессы газообмена в 4-тактных комбинированных двигателях	5	6	2	2		1	7	
7	Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов	5	7	2	2		1	7	
8	Газообмен в 2-тактных двигателях	5	8	2	2		1	7	
9	Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах	5	9	2	2		1	7	
10	Расчетные методы определения температур за время газообмена	5	10	2	2		1	6	
11	Процессы сжатия	5	11	2	2		1	6	Рейтинг-контроль №2
12	Процессы смесеобразования	5	12	2	2		1	6	
13	Воспламенение горючих смесей	5	13	2	2		1	6	
14	Параметры, характеризующие процесс сгорания	5	14	2	2		1	6	
15	Экспериментальные методы исследования сгорания	5	15	2	2		1	6	
16	Особенности процессов расширения в действительных циклах	5	16	2	2		1	6	
17	Среднее индикаторное давление	5	17	2	2		1	6	Рейтинг-контроль №3
18	Составляющие механических потерь	5	18	2	2		1	6	
Всего за 5 семестр:				36	36			117	Экзамен (27)
19	Среднее эффективное давление	6	1	2				5	
20	Методы повышения эффективной мощности	6	2	2		2	2	5	
21	Способы повышения удельной мощности	6	3	2				5	
22	Наддув	6	4	2		2	2	5	
23	Установившиеся режимы и неустойчивые режимы работы двигателя	6	5	2				5	Рейтинг-контроль №1
24	Совместная работа двигателей и потребителей мощности	6	6	2		2	2	5	
25	Модульные схемы двигателей	6	7	2				5	
26	Внешний и внутренний тепловой балансы	6	8	2		2	2	5	
27	Изменение теплового баланса от режимов	6	9	2				5	
28	Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией	6	10	2		2	2	5	
29	Организация рабочего процесса малотоксичных двигателей	6	11	2				5	Рейтинг-контроль №2
30	Математические модели и методы поиска оптимальных решений	6	12	2		2	2	5	
31	Оптимизация рабочего процесса двигателей	6	13	2				5	
32	Ограничения при оптимизации	6	14	2		2	2	5	
33	Задачи моделирования рабочего процесса	6	15	2				5	
34	Граничные условия рабочих процессов	6	16	2		2	2	5	
35	Классификация математических моделей рабочего процесса	6	17	2				5	Рейтинг-контроль №3
36	Расчет теплообмена со стенками	6	18	2		2	2	5	
Всего за 6 семестр:				36		18		90	Экзамен (36)

Наличие в дисциплине КП/КР								
Итого по дисциплине			72	36	18		207	Экзамен (63)

Содержание лекционных занятий по дисциплине 5 семестр

Раздел 1. Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов

Содержание темы: 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.

Раздел 2. Термодинамические циклы комбинированных двигателей

Содержание темы: Термодинамические циклы комбинированных двигателей. Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.

Раздел 3. Рабочие тела, применяемые в ДВС

Содержание темы: 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.

Раздел 4. Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива

Содержание темы: Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива. Теплота сгорания горючей смеси. Теплоемкость и внутренняя энергия свежей, рабочей смеси и продуктов сгорания.

Раздел 5. Процессы газообмена в двигателях

Содержание темы: Процессы газообмена в двигателях. Газообмен в 4-тактных двигателях. Фазы газораспределения. Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки цилиндра. Влияние газодинамических явлений в выпускной и впускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.

Раздел 6. Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуске на процессы газообмена в 4-тактных комбинированных двигателях

Содержание темы: Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуске 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.

Раздел 7. Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов

Содержание темы: 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.

Раздел 8. Газообмен в 2-тактных двигателях

Содержание темы: Газообмен в 2-тактных двигателях. Действительная и геометрическая степень сжатия. Схемы газообмена, основные периоды газообмена. Параметры продувочного тела и выпускных газов. Коэффициенты, характеризующие газообмен: наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки.

Раздел 9. Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах

Содержание темы: Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах на процессы зарядки. Влияние конструктивных и режимных факторов на протекание процессов газообмена

Раздел 10. Расчетные методы определения температур за время газообмена

Содержание темы: 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.

Раздел 11. Процессы сжатия

Содержание темы: 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.

Раздел 12. Процессы смесеобразования

Содержание темы: Процессы смесеобразования в двигателях. Показатели качества горючей смеси. Внешнее и внутреннее смесеобразование. Испаряемость капель и пленок жидких 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.

Раздел 13. Воспламенение горючих смесей

Содержание темы: Воспламенение горючих смесей. Распространение пламени по объему камер 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.

Раздел 14. Параметры, характеризующие процесс сгорания

Содержание темы: 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.

Раздел 15. Экспериментальные методы исследования сгорания

Содержание темы: 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.

Раздел 16. Особенности процессов расширения в действительных циклах

Содержание темы: 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.

Раздел 17. Среднее индикаторное давление

Содержание темы: 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.

Раздел 18. Составляющие механических потерь

Содержание темы: Составляющие механических потерь. Среднее давление трения, его зависимость от средней скорости поршня. Мощность механических потерь. Механический КПД. Экспериментальное определение механических потерь.

6 семестр

Раздел 1. Среднее эффективное давление

Содержание темы: 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.

Раздел 2. Методы повышения эффективной мощности

Содержание темы: Методы повышения эффективной мощности двигателя. Показатели, характеризующие напряженность рабочего процесса: литровая мощность, поршневая мощность, комбинированные показатели.

Раздел 3. Способы повышения удельной мощности

Содержание темы: Способы повышения удельной мощности. Значения удельных мощностей для двигателей различных типов. Приведение мощности двигателей к стандартным атмосферным условиям.

Раздел 4. Наддув

Содержание темы: Наддув как основной способ повышения удельной мощности двигателя. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.

Раздел 5. Установившиеся режимы и неуставившиеся режимы работы двигателя

Содержание темы: Установившиеся режимы и неуставившиеся режимы работы двигателя, Области режимов работы двигателя. Характеристики двигателей. Нагрузочные, скоростные, комбинированные, регулировочные, специальные характеристики.

Раздел 6. Совместная работа двигателей и потребителей мощности

Содержание темы: Совместная работа двигателей и потребителей мощности. Возможные методы регулирования эффективной работы двигателей различных типов - качественное, количественное, смешанное регулирование, их достоинства и недостатки. Изменение степени сжатия в цилиндре; выключение цилиндров как способ регулирования работы двигателей.

Раздел 7. Модульные схемы двигателей

Содержание темы: Модульные схемы двигателей, обеспечивающие отключение движения поршней выключаемых цилиндров.

Раздел 8. Внешний и внутренний тепловой балансы

Содержание темы: Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей. Определение составляющих теплового баланса.

Раздел 9. Изменение теплового баланса от режимов

Содержание темы: Изменение теплового баланса от режимов двигателя. Теплоотдача в двигателях и теплонапряженность.

Раздел 10. Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией

Содержание темы: Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией.

Раздел 11. Организация рабочего процесса малотоксичных двигателей

Содержание темы: Организация рабочего процесса малотоксичных двигателей. Методы воздействия на протекание рабочего процесса с целью снижения расхода топлива и вредных выбросов с отработавшими газами.

Раздел 12. Математические модели и методы поиска оптимальных решений

Содержание темы: Математические модели и методы поиска оптимальных решений, применяемые для анализа и оптимизации термодинамических циклов.

Раздел 13. Оптимизация рабочего процесса двигателей

Содержание темы: Оптимизация рабочего процесса двигателей. Критерии оптимизации: мощность, удельный расход топлива, выбросы твердых частиц, окиси углерода, углеводородов и окислов азота.

Раздел 14. Ограничения при оптимизации

Содержание темы: Ограничения при оптимизации: максимальное давление в цилиндре, температура газов перед турбиной, жесткость сгорания. Параметры оптимизации

Раздел 15. Задачи моделирования рабочего процесса

Содержание темы: 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 тепловоспринимающие поверхности

Раздел 16. Граничные условия рабочих процессов

Содержание темы: Граничные условия рабочих процессов - процессы в агрегатах наддува, перепускных устройствах, охладителях надувочного воздуха, впускных фильтрах и глушителях шума.

Раздел 17. Классификация математических моделей рабочего процесса

Содержание темы: Классификация математических моделей рабочего процесса. Эмпирические модели. Термодинамические модели. CFD (Computational Fluid Dynamic) модели.

Раздел 18. Расчет теплообмена со стенками

Содержание темы: Расчет теплообмена со стенками. Расчет процесса сгорания. Модель сгорания Гриневецкого, Вибе.

Содержание практических занятий по дисциплине 5 семестр

Раздел 1. Термодинамические основы действительных рабочих процессов и циклов

Параметры рабочих циклов.

Анализ качественных и количественных показателей циклов.

Раздел 2. Термодинамические циклы комбинированных двигателей

Принципы распределения работы между поршневым двигателем и агрегатами наддува комбинированного двигателя.

Раздел 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.

Раздел 4. Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива

Теплота сгорания горючей смеси.

Теплоемкость и внутренняя энергия свежей, рабочей смеси и продуктов сгорания.

Раздел 5. Процессы газообмена в двигателях

Газообмен в 4-тактных двигателях.

Фазы газораспределения.

Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки.

Влияние газодинамических явлений в выпускной и впускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.

Раздел 6. Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуске 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.

Раздел 7. Зависимость коэффициентов наполнения и остаточных газов

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.

Раздел 8. Газообмен в 2-тактных двигателях

Действительная и геометрическая степень сжатия. Схемы газообмена, основные периоды газообмена. Параметры продувочного тела и выпускных газов. Коэффициенты, характеризующие газообмен: наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки.

Раздел 9. Влияние газодинамических явлений во впускной и выпускной системах

Влияние конструктивных и режимных факторов на протекание процессов газообмена

Раздел 10. Расчетные методы определения температур за время газообмена

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.

Раздел 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.

Раздел 12. Процессы смесеобразования

Показатели качества горючей смеси.

Внешнее и внутреннее смесеобразование.

Испаряемость капель и пленок жидких топлив.

Методы распыливания жидких топлив и суспензий.

Размеры капель и формы струи распыленного топлива.

Перемешивание топлива и окислителя в неразделенных и разделенных камерах сгорания.

Энергия, затрачиваемая на смесеобразование; вихревое отношение.

Объемное, пленочное, объемно-пленочное и послойное внутреннее смесеобразование.

Раздел 13. Воспламенение горючих смесей

Распространение пламени по объему камер 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.

Раздел 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.

Раздел 15. Экспериментальные методы исследования сгорания

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.

Раздел 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.

Раздел 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.

Раздел 18. Составляющие механических потерь

Среднее давление трения, его зависимость от средней скорости поршня.

Мощность механических потерь.

Механический КПД.

Экспериментальное определение механических потерь.

Содержание лабораторных занятий по дисциплине 6 семестр

Раздел 2. Методы повышения эффективной мощности

Индицирование двигателя, исследование процессов сжатия, сгорания и расширения по индикаторной диаграмме

Раздел 4. Наддув

Расчет цикла дизеля с турбонаддувом

Раздел 6. Совместная работа двигателей и потребителей мощности

Экспериментальное получение нагрузочной характеристики поршневого двигателя.

Снятие скоростной характеристик бензинового двигателя.

Снятие скоростной характеристик дизеля с регуляторной ветвью.

Снятие регуляторной характеристики дизеля.

Регулировочная характеристика двигателей.

Определение величины механических потерь в двигателях.

Раздел 8. Внешний и внутренний тепловой балансы

Определение теплового баланса двигателя с жидкостным охлаждением

Раздел 10. Тепловой баланс двигателя с частичной тепловой изоляцией

Определение теплового баланса двигателя с воздушным охлаждением

Раздел 12. Математические модели и методы поиска оптимальных решений

Расчет цикла бензинового двигателя без наддува

Раздел 14. Ограничения при оптимизации

Расчётное исследование влияния фаз газораспределения на показатели цикла в поршневом двигателе

Раздел 16. Граничные условия рабочих процессов

Расчётное исследование влияния объёма впускного трубопровода в одноцилиндровом дизеле с турбонаддувом

Раздел 18. Расчет теплообмена со стенками

Расчет цикла бензинового двигателя без наддува

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

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 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 впускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.
18. Влияние присоединения компрессора на впуске 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 впуске 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 жидких 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 неуставившиеся 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 теплонапряженность.

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.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины - экзамен.

Контрольные вопросы к экзамену Семестр 5

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 впускной системах двигателя на процессы зарядки цилиндров свежей смесью.
18. Влияние присоединения компрессора на впуске и газовой турбины на выпуске 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 жидких топлив.
41. Методы распыливания жидких топлив и суспензий.
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 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.
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 неуставившиеся 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.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа включает в себя практику подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов имеет проблемный и профессионально ориентированный характер, требующий самостоятельной творческой работы студента не только по лекционному материалу, но и по дополнительной литературе по указанию преподавателя. Перечень источников, используемых для самостоятельной работы приведен в разделе 6 «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины».

Вопросы для самостоятельного изучения:

5 семестр

1. Рабочий процесс в поршневых двигателях.
2. Виды поршневых двигателей.
3. Работа, совершаемая в цилиндре поршневого двигателя.
4. Четырехтактный двигатель.
5. Двухтактный двигатель.
6. Реальный и термодинамический циклы. Их эффективность.
7. Цикл Карно.
8. Прямой цикл Карно. Термический КПД. Теорема Карно.
9. Обратный цикл Карно.
10. Холодильный и отопительный коэффициенты.

11. Роль Карно в развитии термодинамики.
12. Обобщенный термодинамический цикл поршневых и комбинированных двигателей.
13. Цикл Отто. Прообразы современных двигателей Отто. Термодинамический цикл Отто.
14. Цикл Дизеля. Прообразы современных двигателей Дизеля. Термодинамический цикл Дизеля.
15. Цикл Тринклера. Термодинамический цикл Тринклера.
16. Сравнительный анализ термодинамических циклов поршневых двигателей.
17. Термодинамические циклы комбинированных двигателей. Основные схемы.
18. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с импульсной турбиной.
19. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с турбиной постоянного давления.
20. Термодинамический цикл комбинированного двигателя с промежуточным охлаждением рабочего тела.
21. Термодинамический цикл Стирлинга.
22. О термодинамических циклах роторных двигателей внутреннего сгорания.

6 семестр

1. Генерация вихревого движения заряда.
2. Интенсивность вихревого движения заряда и методы ее определения.
3. Интенсивность вихревого движения воздушного заряда в быстроходном двигателе с тангенциальными и спиральными впускными каналами.
4. Камеры сгорания и способы смесеобразования в поршневых двигателях. Особенности рабочего процесса в полуразделенных КС.
5. Особенности рабочего процесса в неразделенной КС.
6. О рабочих процессах гибридных двигателей
7. Впрыскивание топлива. Бензиновые двигатели.
8. Впрыскивание топлива. Дизели.
9. Характеристики впрыскивания топлива.
10. Влияние многократного впрыскивания на эффективные и экологические показатели рабочего процесса.
11. Теория распада струи жидкого топлива.
12. Вторичное дробление и оптимальные размеры капель.
13. Топливный факел как статистический ансамбль капель различных размеров.
14. Средний диаметр капель топлива.
15. Динамика топливного факела.
16. Полуэмпирические формулы для расчета динамики топливного факела.

Темы рефератов, которые студенты докладывают на практических занятиях

5 семестр

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 суспензий.
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.

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., 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.	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.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.	2012	https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21556843
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	
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	
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.,	1983	

Машиностроение, 1983. - 372 с.		
4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов: Учеб./ Луканин В.Н., Морозов К.А., Хачиян А.С. и др.; Под ред Луканина В.Н. - М.: Высшая школа, 1995. - 368 с.	1995	

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 ДИЗЕЛЬ-РК <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>
2. Онлайн-калькулятор <http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/gaus/>
3. Онлайн-калькулятор <http://math.semestr.ru/gauss/gauss.php>
4. Онлайн-калькулятор http://www.webmath.ru/web/prog13_1.php
5. Онлайн-калькулятор <http://matematikam.ru/solve-equations/sistema-gaus.php>
6. Онлайн-калькулятор http://www.math-pr.com/equations_1.php
7. Онлайн-калькулятор <http://ru.onlinemschool.com/math/assistance/equation/matr/>
8. Онлайн-калькулятор <http://ru.numberempire.com/equationsolver.php>

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия проводятся в аудиториях 301-2, 304-2, оснащенных проектор.

Практические занятия проводятся в аудитории 304-2 оборудованной проектором и компьютерами с лицензионным программным обеспечением Matlab R2010b, Mathcad 14.0M011.

Лабораторные работы проводятся в аудиториях 103-4, 304-2, оснащенных установками для исследования и испытания двигателей внутреннего сгорания в составе: двигатель (дизель, бензиновый двигатель), балансирная машина, пульт управления, измерительное оборудование (103-4); компьютеры, доступ в интернет, лицензионное программное обеспечение Matlab R2010b, Mathcad 14.0M011 (304-2).

Консультации проводятся в аудитории 334-2 оснащенной компьютерами, доступом в интернет, справочными материалами.

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

Рабочую программу составил
к.т.н.

 А. Ю. Абалев

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 31.08.2021 года

Заведующий кафедрой


 А. Ю. Абалев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

на заседании учебно-методической комиссии направления 13.03.03 – энергетическое машиностроение

Протокол № 1 от 31.08.2021 года

Председатель комиссии Председатель комиссии,
д.т.н., профессор

 А. Н. Готц

**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 рабочих процессов»

образовательной программы направления подготовки 13.03.03 – 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*