

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Институт транспорта и логистики
Кафедра двигателей внутреннего сгорания**

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
Быкадоров В.В.
04 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ДВИГАТЕЛИ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ»

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Двигатели внутреннего сгорания»

Луганск 2023

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Двигатели внешнего сгорания». – 53с.

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Двигатели внешнего сгорания» разработана с учетом ФГОС ВО: Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 145.

СОСТАВИТЕЛИ:

старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Брянцев М.А.,
старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Доценко Д.М.,
старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ковтун А.С.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» 12.04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой _____ А.А.Данилейченко

Переутверждена: « _____ » _____ 202_ г., протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики

« 14 » 04 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

© Брянцев М.А., Доценко Д.М.,
Ковтун А.С., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель преподавания дисциплины - изучение студентами особенностей рабочих процессов силовых установок, методов расчета параметров рабочих процессов и показателей, их характеристик, областей использования и перспектив развития двигателей внешнего сгорания.

Задачи изучения дисциплины - получение студентами комплекса знаний по принципу действия, общему устройству двигателей внешнего сгорания, методам расчета параметров рабочих тел в рабочих полостях силовых установок, расчетным и экспериментальным характеристикам двигателей, влиянию конструктивных и эксплуатационных факторов на технико-экономические показатели двигателей внешнего сгорания, области их применения.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Двигатели внешнего сгорания» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, модуль профессиональных дисциплин по выбору подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания разделов из цикла фундаментальных и профессионально-ориентированных дисциплин, умения воспользоваться имеющейся информацией для дальнейшего проектирования и расчета рабочего процесса двигателя внешнего сгорания и его систем, навыки работы на ЭВМ, полученные при изучении курсов Информатики и Инженерной графики.

Основывается на базе дисциплин: введение в профессию, история развития тепловых двигателей, физика, термодинамика и теплопередача, тепломассообмен, механика жидкости и газа.

Является основой для изучения следующих дисциплин: диагностика и техобслуживание ДВС, специальные виды ДВС, испытания ДВС.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	ПК-3.1. Знает как проводить расчетно-экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов.	знать: - принцип действия и общее устройство двигателей внешнего сгорания, методы расчетов параметров рабочих тел в рабочем пространстве силовых установок, расчетные и экспериментальные характеристики двигателей, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на технико-экономические показатели силовых установок, области их использования и перспектива дальнейшего развития и использования; уметь: определять параметры рабочих тел и влияния основных факторов на показатели циклов различных типов двигателей внешнего сгорания; делать выбор конструктивных схем и материалов, используемых для различных систем двигателей; проектировать отдельные узлы и механизмы, используемые в двигателях различного назначения; определять потери энергии в элементах силовых установок; владеть навыками: составления программ расчета процессов в двигателях внешнего сгорания; проведения оптимизации процессов преобразования тепловой энергии в механическую с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений.
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (Зач. ед)	108 (Зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	68	16
Лекции	34	8
Семинарские занятия		
Практические занятия	17	4
Лабораторные работы	17	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	18	18
Самостоятельная работа студента (всего)	40	92
Форма аттестации	экзамен	экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Введение. История развития двигателей внешнего сгорания.

Основные проблемы современной транспортной теплоэнергетики. Перспективы использования возобновляемых источников энергии, возможности уменьшения загрязнения окружающей среды системами теплосиловых установок. Значение работ отечественных и зарубежных ученых в создании двигателей внешнего сгорания, научные центры по разработке проблем двигателестроения. Роль двигателестроения в деле развития экономики страны. Необходимость создания новых силовых установок. Основные типы двигателей с внешним подводом теплоты (ДВПТ).

Тема 2. Термодинамический анализ циклов двигателей внешнего сгорания.

Идеальные термодинамические циклы ДВПТ. Цикл Стирлинга. Анализ цикла. Использование принципа регенерации теплоты для повышения термического КПД цикла. Способ осуществления цикла Стирлинга в поршневом двигателе. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла. Среднее давление термодинамического цикла. Влияние параметров рабочего тела и конструктивных параметров двигателя на среднее давление цикла. Условия осуществления идеального цикла двигателя Стирлинга с гармоническим законом изменения объемов рабочих полостей (цикл Шмидта).

Тема 3. Рабочий процесс двигателя Стирлинга.

Основные показатели рабочего процесса и факторы, влияющие на них. Фазовый сдвиг поршней. Определение массовых скоростей газовых потоков в отдельных полостях рабочего пространства двигателя Стирлинга. Влияние температуры и физических свойств рабочего тела. Тепловые и гидравлические потери при движении газов.

Тема 4. Конструктивные схемы двигателей Стирлинга.

Механизмы преобразования движения поршней: кривошипно-шатунный механизм, бесшатунный силовой механизм, механизмы с наклонной шайбой. Влияние механизмов преобразования движения на компоновку двигателя Стирлинга.

Тема 5. Двигатели Стирлинга с ромбическим механизмом.

Особенности кинематики ДВПТ с ромбическим механизмом. Относительное движение рабочего и вытеснительного поршней. Методы определения размеров кинематических звеньев симметричного ромбического механизма и влияние их на показатели рабочего процесса двигателя Стирлинга.

Тема 6. Конструкции двигателей Стирлинга.

Конструктивные компоновки двигателей Стирлинга. Относительные объемы и конструктивные особенности теплообменников: нагревателя, регенератора, охладителя и воздухоподогревателя. Механизмы уплотнения газовых полостей. Буферное пространство двигателя. Камеры сгорания. Проблемы смазки. Вспомогательные агрегаты двигателей. Свободно-поршневые конструкции двигателей Стирлинга.

Тема 7. Источники теплоты двигателей внешнего сгорания.

Использование традиционных топлив для двигателей Стирлинга. Использование тепловых стимуляторов. Нетрадиционные источники теплоты: сжигание металлов, использование солнечной энергии, теплоты ядерных реакторов, радиоактивных изотопов, вторичных энергоресурсов промышленных предприятий. Способы интенсификации процессов теплоиспользования. Каталитические методы сжигания топлива в кипящем слое. Использование тепловых труб.

Тема 8. Регулирование двигателей Стирлинга.

Регулирование режимов работы двигателей изменением температуры и давления рабочего тела, изменением фазового угла между поршнями, смещением циклов, изменением степени сжатия двигателя. Основные элементы системы регулирования и их характеристики.

Тема 9. Характеристики двигателей Стирлинга и основные технико-экономические показатели.

Скоростные характеристики ДВПТ. Коэффициент приспособляемости двигателя. Пусковые качества. Токсичность ДВПТ. Уровень шума. Экономические характеристики.

Тема 10. Области использования и перспективы развития двигателей внешнего сгорания.

Двигатели Стирлинга для транспортных установок, для подводных и космических энергоустановок, для тепловых насосов, стационарных энергосистем, для систем искусственного сердца, для подземных транспортных средств. Газотурбинные установки работающие по замкнутому циклу. Современный уровень развития и разработок двигателей Стирлинга в различных странах мира.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Введение. История развития двигателей внешнего сгорания.	3	2
2	Термодинамический анализ циклов двигателей внешнего сгорания.	3	
3	Рабочий процесс двигателя Стирлинга.	3	
4	Конструктивные схемы двигателей Стирлинга.	3	
5	Двигатели Стирлинга с ромбическим механизмом.	4	2
6	Конструкции двигателей Стирлинга.	4	
7	Источники теплоты двигателей внешнего сгорания.	4	2
8	Регулирование двигателей Стирлинга.	4	
9	Характеристики двигателей Стирлинга и основные технико-экономические показатели.	3	2
10	Области использования и перспективы развития двигателей внешнего сгорания.	3	
	Итого:	34	8

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Выбор конструктивных параметров симметричного ромбического механизма двигателя Стирлинга	3	1
2	Расчет индикаторной диаграммы двигателя внешнего	3	1

	сгорания		
3	Определение массовых потоков в газовых полостях двигателя внешнего сгорания	3	1
4	Определение линейных скоростей газовых потоков в полостях двигателя внешнего сгорания	3	
5	Определение конструктивных параметров теплообменных аппаратов двигателя внешнего сгорания	3	1
6	Определение интенсивности теплообмена в газовых полостях двигателя внешнего сгорания	2	
	Итого:	17	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Изучение стенда для испытания ДВПТ. Снятие нагрузочной характеристики ДВПТ.	4	1
2	Снятие индикаторной диаграммы электропневматическим индикатором МАИ-2.	4	
3	Измерение частоты вращения коленчатого вала и эффективной мощности двигателя Стирлинга.	3	1
4	Измерение температур деталей и рабочих сред при диагностировании ДВПТ. Измерение тепловых потоков в ДВПТ. Тепловой баланс ДВПТ	3	1
5	Определение среднего индикаторного давления по развернутым индикаторным диаграммам.	3	1
	Итого:	17	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1.	Введение. История развития двигателей внешнего сгорания.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
2.	Термодинамический анализ циклов двигателей внешнего сгорания.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
3.	Рабочий процесс двигателя Стирлинга.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
4.	Конструктивные схемы двигателей Стирлинга.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
5.	Двигатели Стирлинга с ромбическим механизмом.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
6.	Конструкции двигателей Стирлинга.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
7.	Источники теплоты двигателей внешнего сгорания.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
8.	Регулирование двигателей Стирлинга.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
9.	Характеристики двигателей	работа с лекциями и	1	4

	Стирлинга и основные технико-экономические показатели.	учебной литературой		
10.	Области использования и перспективы развития двигателей внешнего сгорания.	работа с лекциями и учебной литературой	1	4
11.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 1	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	4
12.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 2	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	4
13.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 3	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	4
14.	Подготовка к проведению лабораторной работы № 4	подготовка к лабораторным работам с оформлением отчета	1	4
15.	Выбор конструктивных параметров симметричного ромбического механизма двигателя Стирлинга	выполнение и защита практических работ	1	4
16.	Расчет индикаторной диаграммы двигателя внешнего сгорания	выполнение и защита практических работ	1	2
17.	Определение массовых потоков в газовых полостях двигателя внешнего сгорания	выполнение и защита практических работ	1	3
18.	Определение линейных скоростей газовых потоков в полостях двигателя внешнего сгорания	выполнение и защита практических работ	1	3
19.	Определение конструктивных параметров теплообменных аппаратов двигателя внешнего сгорания	выполнение и защита практических работ	2	3
20.	Определение интенсивности теплообмена в газовых полостях двигателя внешнего сгорания	выполнение и защита практических работ	2	3
21.	Расчет конструктивных параметров ДВПТ с ромбическим механизмом движения и интенсивности теплообмена в отдельных полостях двигателя внешнего сгорания	работа с лекциями и учебной литературой	18	18
	Итого:		40	92

4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Компетентностная технология, направленная на формирование у студентов способностей практического применения знаний, умений и навыков в решении профессиональных задач.

Акмеологическая технология, определяющая стратегию организации образовательного процесса на достижение наивысших результатов в профессиональном становлении студентов.

Информационные технологии: мультимедиа-презентации для лекций, практических и лабораторных работ, использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект, размещенный во внутренней сети.) при подготовке к лекциям, практическим и лабораторным занятиям.

Работа в команде: совместная работа студентов в группе при выполнении лабораторных работ.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Уокер Г. Двигатели Стирлинга [Текст] / Г. Уокер; сокр. пер. с англ. Б. В. Сутугина, Н. В. Сутугина. - Москва: Машиностроение, 1985. - 408 с. - ISBN (в пер.) : 2 р. 30 к.
2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга [Текст] / Г. Уокер; пер. с англ. Б. В. Сутугина. - Москва: Энергия, 1978. - 152 с. - ISBN В пер. : 85 к.
3. Достияров А. М. Перспективные тепловые двигатели Стирлинга [Текст] : учебное пособие / А. М. Достияров, С. Т. Амандыков; Каз. политехн. ин-т им. В. И. Ленина, Алма-Ат. энерг. ин-т. - Алма-Ата: КазПТИ, 1990. - 208 с. - 45 к.
4. Ридер Г. Двигатели Стирлинга [Текст] / Г. Ридер, Ч. Хупер; пер. с англ. С. С. Ченцова, Е. Е. Черейского, В. И. Кабакова. - Москва: Мир, 1986. - 464 с. - ISBN (в пер.): 3 р. 30 к.

б) дополнительная литература:

5. Двигатели Стирлинга [Текст] / [В. Н. Даниличев, С. И. Ефимов, В. А. Звонов и др.] ; под ред. М. Г. Круглова. - Москва : Машиностроение, 1977. - 150 с. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 50 к.
6. Онучин Е. М. Применение двигателей Стирлинга на древесном топливе в лесной промышленности: монография / Е. М. Онучин, П. Н. Анисимов. - Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. - 196 с. - ISBN 978-5-8158-1938-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1872100>
7. Алиев, И. Н. Двигатель Стирлинга : методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая физика» / И. Н. Алиев, И. С. Копылов, В. М. Коршунов. - Москва : Издательство МГТУ им. Баумана, 2016. - 23, [1] с. : ил. - ISBN 978-5-7038-4368-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2076858> (дата обращения: 30.01.2024).
8. Смирнов Г.В. Двигатели внешнего сгорания. - М.; Знание, 1967, - 32 с. - Режим доступа: https://yadi.sk/d/mGuMk_14TzPQc
9. Достияров А. М. Перспективные тепловые двигатели Стирлинга [Текст] : учебное пособие / А. М. Достияров, С. Т. Амандыков; Каз. политехн. ин-т им. В. И. Ленина, Алма-Ат. энерг. ин-т. - Алма-Ата : КазПТИ, 1990. - 208 с. - 45 к.
10. Трухов В. С. Расчет параметров внутреннего теплообменного контура двигателя Стирлинга [Текст] : монография / В. С. Трухов, И. А. Турсунбаев, Г. Я. Умаров; АН Узбекской ССР, Физико-технич. ин-т им. С. В. Стародубцева. - Ташкент : Фан, 1979. - 80 с. - 65 к. - Режим доступа: <https://yadi.sk/d/fvJOZTg5TzPQU> <https://yadi.sk/d/gPegzqoTTzP6n>
11. Двигатели Стирлинга [Текст] / [В. Н. Даниличев, С. И. Ефимов, В. А. Звонов и др.] ; под ред. М. Г. Круглова. - Москва : Машиностроение, 1977. - 150 с. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 50 к.

в) методические указания:

12. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / Сост. М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2019. - 27с.
13. Методические указания к контрольным работам по курсу «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / Сост.: А.А.Данилейченко, А. А. Крайнюк. - Луганск: Изд-во ВНУ им.В.Даля, 2012. - 29с.
14. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / Сост.: А.А.Данилейченко, А. А. Крайнюк. - Луганск: Изд-во ВНУ им.В.Даля, 2012. - 40с.
15. Методические указания к практическим занятиям (занятия 1-2) по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / сост. А. А. Данилейченко. - Луганск : ВНУ им. В. Даля, 2013. - 23 с.
16. Методические указания к практическим занятиям (занятия 3–7) «Расчет процессов теплообмена во внутреннем контуре двигателя Стирлинга» по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / сост.: А. И. Крайнюк, А. А. Данилейченко. - Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2012. - 29 с.
17. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» [Электронный ресурс] / Сост. М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2019. - 35с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>
Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>
Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>
Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>
Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>
Электронные библиотечные системы и ресурсы
Электронно-библиотечная система «Консультант-студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>
Информационный ресурс библиотеки образовательной организации
Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционные занятия проводятся в академических аудиториях.

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: проводятся с использованием раздаточного материала, наглядных пособий, демонстрационных плакатов. Прочее: комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме.

Лабораторные работы: лаборатория ДВС, оснащенная специализированными лабораторными стендами (Стенд «Всетин» с ДВС, стенды с дизелями 5Д2, 6ЧН12/14, 1Ч12/14, 5Д4, стенд СДТА, стенд «Motorpal», стенд с ДВС 4ЧН8,5/11 с волновым обменником давления, наглядное пособие двигатель ТВЗ-117 и СПГТ, лабораторные стенды 1, 2, 3, 4 по теплотехнике, лабораторное контрольно-измерительное оборудование, наглядные пособия), плакаты со схемами лабораторных работ, шаблоны отчетов по лабораторным работам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет (комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме).

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Двигатели внешнего сгорания»

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ПК- 3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	Базовый	знать: - принцип действия и общее устройство двигателей внешнего сгорания, методы расчетов параметров рабочих тел в рабочем пространстве силовых установок, расчетные и экспериментальные характеристики двигателей, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на технико-экономические показатели силовых установок, области их использования и перспектива дальнейшего развития и использования

Основной		Повышенный	уметь: определять параметры рабочих тел и влияния основных факторов на показатели циклов различных типов двигателей внешнего сгорания; делать выбор конструктивных схем и материалов, используемых для различных систем двигателей; проектировать отдельные узлы и механизмы, используемые в двигателях различного назначения; определять потери энергии в элементах силовых установок
Заключительный		Высокий	владеть навыками: составления программ расчета процессов в двигателях внешнего сгорания; проведения оптимизации процессов преобразования тепловой энергии в механическую с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Этапы формирования (семестр изучения)
1.	ПК-3	ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	ПК-3.1. Знает как проводить расчетно-экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов.	Тема 1 Введение. История развития двигателей внешнего сгорания. Тема 2 Термодинамический анализ циклов двигателей внешнего сгорания. Тема 3 Рабочий процесс двигателя Стирлинга. Тема 4 Конструктивные схемы двигателей Стирлинга. Тема 5 Двигатели Стирлинга с ромбическим механизмом. Тема 6 Конструкции двигателей Стирлинга. Тема 7 Источники теплоты двигателей внешнего сгорания. Тема 8 Регулирование двигателей Стирлинга. Тема 9 Характеристики двигателей Стирлинга и основные технико-экономические показатели. Тема 10 Области использования и перспективы развития двигателей внешнего сгорания.	4/5

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контрوليруемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
	ПК-3	ПК-3.1. Знает как проводить расчетно-экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов.	знать: - принцип действия и общее устройство двигателей внешнего сгорания, методы расчетов параметров рабочих тел в рабочем пространстве силовых установок, расчетные и экспериментальные характеристики двигателей, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на технико-экономические показатели силовых установок, области их использования и перспектива дальнейшего развития и использования; уметь: определять параметры рабочих тел и влияния основных факторов на показатели циклов различных типов двигателей внешнего сгорания; делать выбор конструктивных схем и материалов, используемых для различных систем двигателей; проектировать отдельные узлы и механизмы, используемые в двигателях различного назначения; определять потери энергии в элементах силовых установок; владеть навыками: составления программ расчета процессов в двигателях внешнего сгорания; проведения оптимизации процессов преобразования тепловой энергии в механическую с целью достижения прогрессивных экономических и экологических показателей в условиях ограничений	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10	Лабораторная работа, практическая работа, контрольная работа.

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ПК-3. Способен участвовать в расчетных и экспериментальных исследованиях, проводить обработку и анализ результатов	ПК-3.1. Знает как проводить расчетно-экспериментальные исследования, обработку и анализ результатов.
--	--

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Двигатели внутреннего сгорания» дисциплина «Двигатели внешнего сгорания»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Кем и когда был предложен двигатель Стирлинга?

- 1) 27 сентября
- 2) священником
- 3) в 1816
- 4) Робертом Стирлингом
- 5) Ленуаром

Ответ: 1234

Обоснование: Двигатель Стирлинга был предложен шотландским священником Робертом Стирлингом 27 сентября 1816 года. Достижением Стирлинга является добавление узла, который он назвал «эконом».

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие основные элементы двигателя Стирлинга?

- 1) вытеснительный поршень
- 2) регенератор
- 3) рабочий поршень
- 4) маховик
- 5) ребра охлаждающие

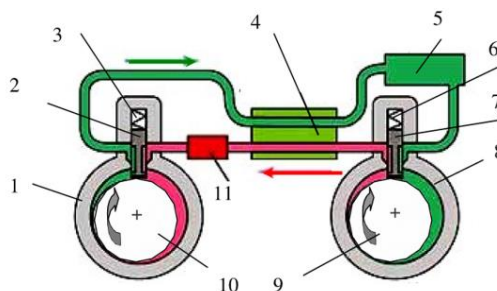
Ответ: 12345

Обоснование: 12345

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*



Какие типы двигателя НЕ изображены на рисунке?

- 1) Термоакустический двигатель Стирлинга
- 2) α -Стирлинг
- 3) β -Стирлинг
- 4) γ -Стирлинг
- 5) роторный Стирлинг

Ответ: 1234

Обоснование: все кроме роторного

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие иные рабочие вещества, применяются в так называемом органическом цикле Ренкина ?

- 1) гелий
- 2) н-пентан или толуол
- 3) спирт
- 4) изопентат
- 5) вода и водяной пар

Ответ: 245

Обоснование: В так называемом органическом цикле Ренкина вместо воды и водяного пара используются органические жидкости, например н-пентан или толуол, изопентан. За счет этого становится возможным использовать источники тепла, имеющие низкую температуру, например солнечные пруды (Solar pond), которые обычно нагреваются до 70—90 °С.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Цикл Карно состоит из

- 1) двух изобар и двух адиабат
- 2) двух изотерм и двух адиабат
- 3) двух политроп и двух адиабат
- 4) двух изотерм и двух изобар
- 5) двух изохор и двух адиабат

Ответ: 2

Обоснование: Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Цикл Стирлинга состоит из термодинамических процессов

- 1) изотерма, изохора, изотерма, изохора
- 2) изотерма, изобара, изотерма, изобара
- 3) изотерма, изохора, изотерма, изобара
- 4) изотерма, изобара, изотерма, изохора

5) нет правильного ответа

Ответ: 1

Обоснование: Цикл Стирлинга состоит из термодинамических процессов 1-2 изотермическое расширение рабочего тела с подводом тепла от нагревателя, 2-3 изохорный отвод тепла от рабочего тела к регенератору, 3-4 изотермическое сжатие рабочего тела с отводом тепла к холодильнику, 4-1 изохорный нагрев рабочего тела с подводом тепла от регенератора

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Цикл Ренкина с водой в качестве рабочего тела состоит из следующих процессов:

- 1) изобара, адиабата, изотерма, адиабата
- 2) изобара, изотерма, адиабата
- 3) изобара, адиабата, изотерма и изобара одновременно, адиабата.
- 4) изобара, изотерма, изобара, адиабата
- 5) нет правильного ответа

Ответ: 3

Обоснование: Цикл Ренкина с водой в качестве рабочего тела состоит из следующих процессов изобара, адиабата, изотерма и изобара одновременно, адиабата

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Где применяется цикл Ренкина?

- 1) в двигателях внутреннего сгорания
- 2) в двигателях внешнего сгорания
- 3) в роторных двигателях внутреннего сгорания
- 4) все ответы правильные
- 5) в современных тепловых и атомных электростанциях большой мощности, использующих в качестве рабочего тела воду. Паровоз с тендером-конденсатором также работает по этому термодинамическому циклу.

Ответ: 5

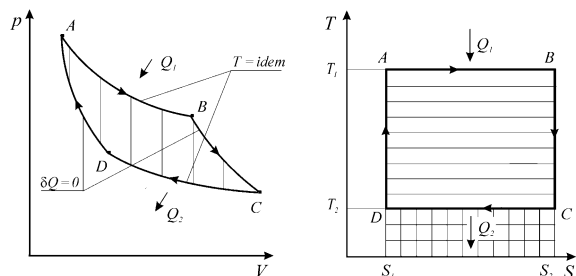
Обоснование: Цикл Ренкина повсеместно применяется в современных тепловых и атомных электростанциях большой мощности, использующих в качестве рабочего тела воду. Паровоз с тендером-конденсатором также работает по этому термодинамическому циклу.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Установите последовательность цикла Карно по диаграммам.



- 1) Рабочее тело адиабатически сжимается до исходного размера, и его температура увеличивается до температуры нагревателя.
- 2) Рабочее тело приводится в контакт с холодильником и передает ему Q_2 тепла в изотермическом процессе. При этом объём рабочего тела уменьшается.
- 3) Рабочее тело отсоединяется от нагревателя и продолжает расширяться адиабатически (без теплообмена с окружающей средой). При этом его температура уменьшается до температуры холодильника.
- 4) А- В. Рабочее тело с температурой, равной температуре нагревателя, приводится в контакт с нагревателем. Нагреватель сообщает рабочему телу Q_1 тепла в изотермическом процессе, при этом объём рабочего тела увеличивается.
- 5) цикл повторяется

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	3	2	1	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

		1 кг воздуха совершает цикл Стирлинга в пределах температур $T_3 = 800 \text{ К}$ и $T_1 = 300 \text{ К}$ при этом наивысшее давление составляет 6 МПа, а наинизшее – 0,15 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, работу, термический КПД цикла, количество подведенной и отведенной теплоты. Установите последовательность решения.
--	--	--

- 1) Точка 4: $T_4 = 800 \text{ К}$. Из уравнения изохоры процесса 4-1:

$$p_4 = p_1 \cdot \left(\frac{T_4}{T_1} \right) = 0,1 \cdot \left(\frac{800}{300} \right) = 0,4 \text{ МПа} . \quad V_4 = V_1 = 0,574 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

- 2) Точка 1: $p_1 = 0,15 \text{ МПа}$, $T_1 = 300 \text{ К}$, $v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,15 \cdot 10^6} = 0,574 \text{ м}^3/\text{кг}$.

- 3) Точка 3: $p_3 = 6 \text{ МПа}$, $T_3 = 800 \text{ К}$, удельный объём газа находим из уравнения состояния: $v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 800}{6 \cdot 10^6} = 0,0383 \text{ м}^3/\text{кг}$.

- 4) Точка 2: $T_2 = 300 \text{ К}$. Из уравнения изохоры процесса 2-3 имеем:
 $p_2 = p_3 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} \right) = 6 \cdot \left(\frac{800}{300} \right) = 2,25 \text{ МПа}$, $V_2 = V_3 = 0,0383 \text{ м}^3/\text{кг}$.

- 5) Термический КПД цикла равен: $\eta_t = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = \frac{800 - 300}{800} = 0,625$.

Подведенное количество теплоты определяется:

$$q_1 = R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{v_4}{v_3} = 287 \cdot 800 \cdot \ln \frac{0,574}{0,0383} = 621569 \text{ Дж} / \text{кг}.$$

Отведенное количество теплоты определяется:

$$q_2 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{v_1}{v_2} = 287 \cdot 300 \cdot \ln \frac{0,574}{0,0383} = 233088 \text{ Дж / кг}.$$

Работа цикла: $l = q_1 - q_2 = 621569 - 233088 = 388481 \text{ Дж / кг}.$

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	2	1	4	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Цикл Ренкина с водой в качестве рабочего тела состоит из следующих процессов:

- 1) Происходит догрев до температуры насыщения и испарение воды (перевод в состояние влажного пара, а затем сепарация пара от капель воды с повышением степени сухости), а затем перегрев пара в пароперегревателе. В этом процессе затрачивается теплота Q1. Происходит в паровом котле, в активной зоне реактора или в парогенераторе.
- 2) Сжатие конденсированного рабочего тела до первоначального давления с затратой работы в питательном насосе.
- 3) Конденсация отработавшего пара с отводом теплоты Q2 в конденсаторе охлаждающей конденсатор водой (циркуляционной водой), или воздухом, нагнетаемым вентилятором, в случае конденсатора воздушного охлаждения.
- 4) Процесс расширения пара в турбине или паровой машине и преобразования части внутренней энергии пара в механическую работу
- 5) цикл повторяется

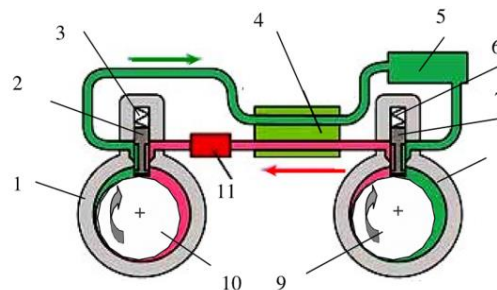
Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	4	3	2	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.



Укажите последовательность работы роторного двигателя Стирлинга

- 1) при вращении ротора 9 в полости нагнетания малого цилиндра 8 происходит сжатие газа.
- 2) при опускании вниз разделительной пластины 7 сжатый газ поступает через регенератор 4 в нагреватель 11, где его давление и температура повышается вследствие подвода тепла.
- 3) при сообщении через разделительную пластину 2 нагревателя 11 с полостью расширения большого цилиндра 1 происходит расширение газа с выработкой механической энергии вращения вала 10 и заодно вала 9, так как они находятся на одном валу.
- 4) при дальнейшем вращении вала 10 происходит вытеснение сработавшего газа через опущенную разделительную пластину 2 в холодильник 5 через регенератор 4 и далее в полость расширения малого цилиндра 8.
- 5) из-за разницы в площадях S_b и S_m соответственно поверхностей роторов 10 и 9 и разности давлений в ветвях высокого и низкого давлений (Δp) возникает результирующая сила $F = \Delta p \cdot (S_b - S_m)$. Эта сила вращает вал с роторами, и рабочее тело непрерывно циркулирует, последовательно проходя через всю систему.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

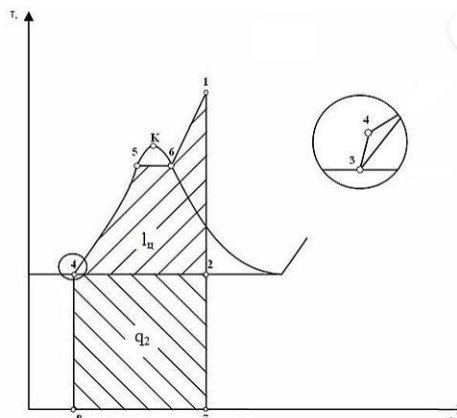
**Задание на установление соответствия
повышенный уровень**

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие видов преобразования энергий.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:



В цикле Ренкина, изображенном на рисунок, установите как называются процессы?

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	1-2	1	изотерма и изобара одновременно — конденсация отработавшего пара с отводом теплоты Q в конденсаторе охлаждающей конденсатор водой (циркуляционной водой)
Б	2-3	2	адиабата, процесс расширения пара в турбине и преобразования части внутренней энергии пара в механическую работу
В	3-4	3	изохора
Г	4-1	4	адиабата — сжатие сконденсированного рабочего тела до первоначального давления с затратой работы в питательном насосе,
		5	изобара — происходит догрев (в экономайзере) до температуры насыщения и испарение воды (перевод в состояние влажного пара, а затем сепарация пара от капель воды с повышением степени сухости), а затем перегрев пара в пароперегревателе.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	1	4	5

**Задание на установление соответствия
повышенный уровень**

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

	Какие процессы изображенные на диаграмме цикла Стирлинга?
--	---

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	1—2	1	изохорный отвод тепла от рабочего тела к регенератору
Б	2—3	2	изотермическое расширение рабочего тела с подводом тепла от нагревателя
В	3—4	3	изохорный нагрев рабочего тела с подводом тепла от регенератора

Г	4—1	4	Изобарное охлаждение рабочего тела с отводом тепла к регенератору
		5	изотермическое сжатие рабочего тела с отводом тепла к холодильнику

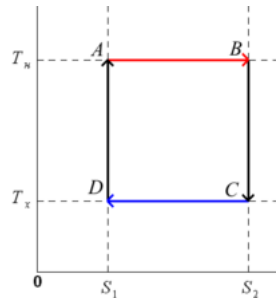
Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	1	5	3

Задание на установление соответствия повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие



На рисунке изображен цикл Карно, как называются составляющие его процессы?

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	А-В	1	адиабатическое сжатие
Б	В-С	2	изотермическое расширение
В	С-Д	3	изотермическое сжатие
Г	Д-А	4	адиабатическое расширение
		5	изохорное сжатие

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	4	3	1

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Как классифицируют двигатели Стирлинга по способу соединения цилиндров?

Ответ (решение): Классификация двигателей Стирлинга по способу соединения цилиндров идентифицирует способ компоновки пары вытеснитель-поршень по отношению к рабочим полостям переменного объема. Имеются три типа соединения цилиндров:

1) альфа - включает группу двигателей с двумя отдельными цилиндрами, в каждом из которых имеется уплотненный в нем поршень. Горячий и холодный переменные объемы формируются независимо друг от друга при движении соответствующих поршней.

2) бета - один цилиндр, в котором последовательно расположены поршень и вытеснитель, а переменный холодный объем образуется при совместном движении поршня и вытеснителя.

3) гамма - в той или иной мере гибрид компоновок альфа и бета, в котором имеются два отдельных цилиндра, как в способе альфа, однако переменный холодный объем образуется способом бета.

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

По каким основным признакам классифицируют двигатели Стирлинга?

Ответ (решение): Предлагаемая схема классификации и идентификации двигателей Стирлинга включает следующие три признака: режим работы, способ соединения цилиндров, способ соединения поршней.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Представьте уравнение общего теплового баланса двигателя, показывающее распределение теплоты, выделяемой при сгорании топлива в камере сгорания, на полезную работу и различные потери.

Ответ (решение): Уравнение общего теплового баланса двигателя, показывающее распределение теплоты, выделяемой при сгорании топлива в камере сгорания, на полезную работу и различные потери, можно представить в виде:

$$Q_T = Q_e + Q_w + Q_{газ} + Q_M + Q_{нс} + Q_{ост},$$

где Q_e - теплота, эквивалентная эффективной работе двигателя; Q_w - теплота, передаваемая в систему охлаждения; Q_M - теплота, передаваемая смазочному маслу; $Q_{газ}$ - теплота, уносимая продуктами сгорания; $Q_{нс}$ - потери теплоты вследствие неполноты сгорания топлива; $Q_{ост}$ - остаточный член, характеризующий неучтенные потери теплоты.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Какие рабочие тела используют в двигателе Стирлинга?

Ответ (решение): в качестве рабочего тела для ДВПТ можно применять водород, при использовании которого двигатель имеет наиболее высокие эффективные показатели рабочего процесса, но свойство водорода при высоких температурах диффундировать через стальные стенки нагревателя, вынуждает постоянно пополнять систему водородом, или применять специальные дорогостоящие материалы для изготовления нагревателя. Поэтому чаще в качестве рабочего тела в двигателях используют гелий, аргон, углекислый газ, воздух под высоким давлением. Гелий обладает большей теплоемкостью и лучшей теплопроводностью по сравнению с воздухом. При одинаковых давлениях и температурах плотность гелия примерно в 7 раз меньше плотности воздуха, поэтому можно увеличить скорость потока гелия в каналах теплообменников в 2-3 раза без существенного снижения давления. Увеличение коэффициента теплопередачи при использовании гелия вместо воздуха позволяет сократить габаритные размеры теплообменных аппаратов примерно в 2 – 3 раза. В случае использования в качестве источника тепловой энергии атомного реактора гелий является единственным рабочим телом, которое не становится радиоактивным во внутреннем контуре реактора, и поэтому возможно создание реакторов с температурой газа на выходе более 1000 Цельсия. При использовании в качестве рабочего тела гелия вместо водорода для обеспечения требуемой мощности рабочий объем двигателя должен быть увеличен на 40%.

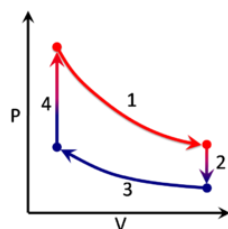
Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Изобразите идеализированный цикл Стирлинга в P-V координатах.



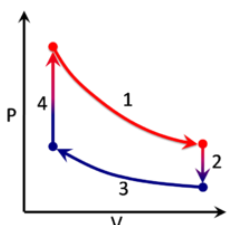
Ответ (решение): 4 - нагрев в регенераторе, 1 - расширение, 2 -охлаждение в регенераторе, 3 - сжатие. Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга

Цикл Стирлинга состоит из четырёх фаз и разделён двумя переходными фазами: 4 нагрев, 1 расширение и переход к источнику холода, 2 охлаждение, 3 сжатие и переход к источнику тепла. Таким образом, при переходе от тёплого источника к холодному источнику происходит расширение и сжатие газа, находящегося в цилиндре. При этом изменяется давление, за счёт чего можно получить полезную работу. Нагрев и охлаждение рабочего тела (участки 4 и 2) производятся регенератором. В идеале количество тепла, отдаваемое и отбираемое регенератором, одинаково. Полезная работа производится только за счёт изотерм, то есть зависит от разницы температур нагревателя и охладителя, как в цикле Карно.

3. КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	1234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	1234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	43215	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	32145	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	14325	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A2B1B4Г5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2B1B5Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A2B4B3Г1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	Классификация двигателей Стирлинга по способу соединения цилиндров идентифицирует способ компоновки пары вытеснитель-поршень по отношению к рабочим полостям переменного объема. Имеются три типа соединения цилиндров: 1) альфа - включает группу двигателей с двумя отдельными цилиндрами, в каждом из которых имеется уплотненный в нем поршень. Горячий и холодный переменные объемы формируются независимо друг от друга при движении соответствующих поршней.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

	2) бета - один цилиндр, в котором последовательно расположены поршень и вытеснитель, а переменный холодный объем образуется при совместном движении поршня и вытеснителя. 3) гамма - в той или иной мере гибрид компоновок альфа и бета, в котором имеются два отдельных цилиндра, как в способе альфа, однако переменный холодный объем образуется способом бета.	
17.	Предлагаемая схема классификации и идентификации двигателей Стирлинга включает следующие три признака: режим работы, способ соединения цилиндров, способ соединения поршней.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Уравнение общего теплового баланса двигателя, показывающее распределение теплоты, выделяемой при сгорании топлива в камере сгорания, на полезную работу и различные потери, можно представить в виде: $Q_T = Q_e + Q_w + Q_{газ} + Q_m + Q_{нс} + Q_{ост},$ где Q_e - теплота, эквивалентная эффективной работе двигателя; Q_w - теплота, передаваемая в систему охлаждения; Q_m - теплота, передаваемая смазочному маслу; $Q_{газ}$ - теплота, уносимая продуктами сгорания; $Q_{нс}$ - потери теплоты вследствие неполноты сгорания топлива; $Q_{ост}$ - остаточный член, характеризующий неучтенные потери теплоты.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	в качестве рабочего тела для ДВПТ можно применять водород, при использовании которого двигатель имеет наиболее высокие эффективные показатели рабочего процесса, но свойство водорода при высоких температурах диффундировать через стальные стенки нагревателя, вынуждает постоянно пополнять систему водородом, или применять специальные дорогостоящие материалы для изготовления нагревателя. Поэтому чаще в качестве рабочего тела в двигателях используют гелий, аргон, углекислый газ, воздух под высоким давлением. Гелий обладает большей теплоемкостью и лучшей теплопроводностью по сравнению с воздухом. При одинаковых давлениях и температурах плотность гелия примерно в 7 раз меньше плотности воздуха, поэтому можно увеличить скорость потока гелия в каналах теплообменников в 2-3 раза без существенного снижения давления. Увеличение коэффициента теплопередачи при использовании гелия вместо воздуха позволяет сократить габаритные размеры теплообменных аппаратов примерно в 2 – 3 раза. В случае использования в качестве источника тепловой энергии атомного реактора гелий является единственным рабочим телом, которое не становится радиоактивным во внутреннем контуре реактора, и поэтому возможно создание реакторов с температурой газа на выходе более 1000 Цельсия. При использовании в качестве рабочего тела гелия вместо водорода для обеспечения требуемой мощности рабочий объем двигателя должен быть увеличен на 40%.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

20.	 4 - нагрев в регенераторе, 1 - расширение, 2 - охлаждение в регенераторе, 3 - сжатие. Диаграмма «давление-объём» идеализированного цикла Стирлинга	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ответ отсутствует - 0 баллов
-----	--	---

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

ВАРИАНТ 2

Задание с выбором ответа базовый уровень

Задание 1.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

- 1) громоздкость и материалоемкость
- 2) высокие давления (свыше 100 атм) и особые виды рабочего тела
- 3) тепло подводится не к рабочему телу непосредственно, а только через стенки теплообменников.
- 4) Для быстрого изменения мощности двигателя используются способы, отличные от применяемых в двигателях внутреннего сгорания
- 5) все ответы неверные

Ответ: 1234

Обоснование: рабочее тело необходимо охлаждать это приводит к существенному увеличению массогабаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов. Для получения характеристик, сравнимых с характеристиками ДВС, приходится применять высокие давления (свыше 100 атм) и особые виды рабочего тела — водород, гелий. Тепло подводится не к рабочему телу непосредственно, а только через стенки теплообменников. Стенки имеют ограниченную теплопроводность, из-за чего КПД оказывается ниже, чем можно было ожидать. Горячий теплообменник работает в очень напряжённых условиях теплопередачи и при очень высоких давлениях, что требует применения высококачественных и дорогостоящих материалов. Для быстрого изменения мощности двигателя используются способы, отличные от применяемых в двигателях внутреннего сгорания: буферная ёмкость изменяемого объёма, изменение среднего давления рабочего тела в камерах, изменение фазового угла между рабочим поршнем и вытеснителем. В последнем случае отклик двигателя на управляющее действие водителя является почти мгновенным.

Задание с выбором ответа базовый уровень

Задание 2.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какие преимущества двигателя Стирлинга?

- 1) «всеядность» двигателя

- 2) простота конструкции
- 3) увеличенный ресурс
- 4) экономичность
- 5) малая шумность

Ответ: 12345

Обоснование:

«Всеядность» двигателя - может работать от почти любого перепада температур: например, от солнца, от ядерного или изотопного нагревателя, угольной или дровяной печи и т. д.

Простота конструкции - не требует газораспределительного механизма. Он запускается самостоятельно и не нуждается в стартере. Его характеристики позволяют избавиться от коробки передач.

Увеличенный ресурс - простота конструкции, отсутствие многих «нежных» узлов позволяет «стирлингу» обеспечить небывалый для других двигателей запас работоспособности в десятки и сотни тысяч часов непрерывной работы.

Экономичность - для утилизации некоторых видов тепловой энергии, особенно при небольшой разнице температур, «стирлинги» часто оказываются самыми эффективными видами двигателей

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Какие детали в двигателях Стирлинга относятся к деталям движения?

- 1) поршни (рабочий и вытеснительный)
- 2) крейцкопф
- 3) поршневые пальцы
- 4) подшипники, коленчатые валы
- 5) шатуны, штоки

Ответ: 12345

Обоснование: 12345

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Из каких основных деталей состоит роторный двигатель Стирлинга?

- 1) большой цилиндр, малый цилиндр
- 2) холодильник, теплообменник-регенератор
- 3) короткий ротор, длинный ротор
- 4) кривошипно-шатунный механизм
- 5) нагреватель

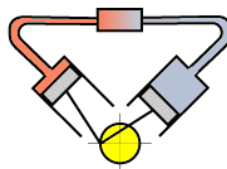
Ответ: 1235

Обоснование: кривошипно-шатунного механизма нет – это роторный двигатель

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*



Какой тип двигателя Стирлинга изображен на рисунке?

- 1) Термоакустический двигатель Стирлинга
- 2) α -Стирлинг
- 3) β -Стирлинг
- 4) γ -Стирлинг
- 5) роторный Стирлинг

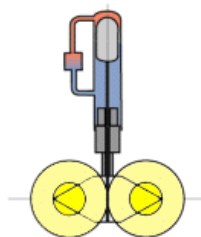
Ответ: 2

Обоснование: α -Стирлинг — содержит два отдельных силовых поршня в отдельных цилиндрах, один — горячий, другой — холодный. Цилиндр с горячим поршнем находится в теплообменнике с более высокой температурой, с холодным — в более холодном. У данного вида двигателя отношение мощности к объёму достаточно велико, но, к сожалению, высокая температура «горячего» поршня создаёт определённые технические трудности. Регенератор находится между горячей частью соединительной трубки и холодной.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа



Какой тип двигателя Стирлинга изображен на рисунке?

- 1) Термоакустический двигатель Стирлинга
- 2) α -Стирлинг
- 3) β -Стирлинг
- 4) γ -Стирлинг
- 5) роторный Стирлинг

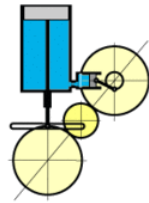
Ответ: 3

Обоснование: β -Стирлинг — цилиндр всего один, горячий с одного конца и холодный с другого. Внутри цилиндра движутся поршень (с которого снимается мощность) и вытеснитель, разделяющий горячую и холодную полости. Газ перекачивается из холодной части цилиндра в горячую через регенератор. Регенератор может быть внешним, как часть теплообменника, или может быть совмещён с поршнем-вытеснителем.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа



Какой тип двигателя Стирлинга изображен на рисунке?

- 1) Термоакустический двигатель Стирлинга
- 2) α -Стирлинг
- 3) β -Стирлинг
- 4) γ -Стирлинг
- 5) роторный Стирлинг

Ответ: 4

Обоснование: γ -Стирлинг — тоже есть поршень и вытеснитель, но при этом два цилиндра — один холодный (там движется поршень, с которого снимается мощность), а второй горячий с одного конца и холодный с другого (там движется вытеснитель). Регенератор может быть внешним, в этом случае он соединяет горячую часть второго цилиндра с холодной и одновременно с первым (холодным) цилиндром. Внутренний регенератор является частью вытеснителя.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Двигатель Стирлинга является реверсивным?

- 1) все ответы неправильные
- 2) невозможно сделать его реверсивным вообще
- 3) да, но нужны некоторые переделки в конструкции
- 4) нет, нужны серьезные переделки в конструкции
- 5) является реверсивным без переделок в конструкции.

Ответ: 5

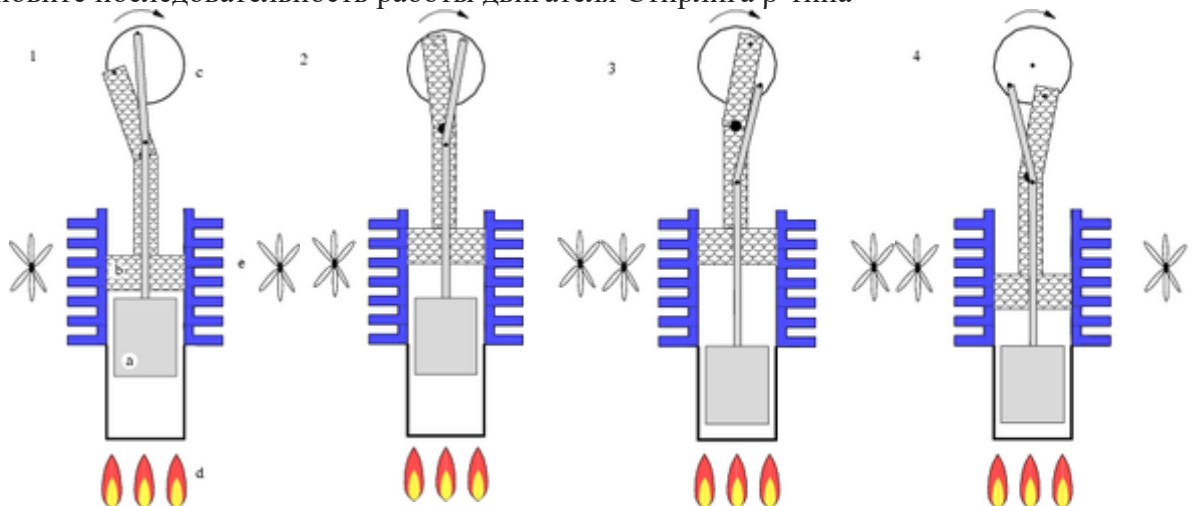
Обоснование: Двигатель Стирлинга является реверсивным, если вращать вал внешней силой, то с одной стороны рабочего объема газ будет нагреваться, а с другой — охлаждаться.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Установите последовательность работы двигателя Стирлинга β -типа



где: а — вытеснительный поршень; b — рабочий поршень; с — маховик; d — огонь (область нагревания); е — охлаждающие ребра (область охлаждения).

- 1) Вытеснительный поршень поднимается вверх, тем самым перемещая охлаждённый воздух в нижнюю часть.
- 2) Воздух остывает и сжимается, рабочий поршень опускается вниз.
- 3) Маховик толкает вытеснительный поршень вниз, тем самым перемещая разогретый воздух из нижней части в охлаждающую камеру.
- 4) Внешний источник тепла нагревает газ в нижней части теплообменного цилиндра. Создаваемое давление толкает рабочий поршень вверх (вытеснительный поршень неплотно прилегает к стенкам).
- 5) Цикл повторяется.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

4	3	2	1	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Установите последовательность цикла Стирлинга

- 1) 3—4 изотермическое сжатие рабочего тела с отводом тепла к холодильнику
- 2) 2—3 изохорный отвод тепла от рабочего тела к регенератору
- 3) 1—2 изотермическое расширение рабочего тела с подводом тепла от нагревателя
- 4) 4—1 изохорный нагрев рабочего тела с подводом тепла от регенератора
- 5) цикл повторяется

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	2	1	4	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

1 кг воздуха совершает цикл Карно в пределах температур $T_3=800$ К и $T_1=300$ К при этом наивысшее давление составляет 6 МПа, а наинизшее – 0,1 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, работу, термический КПД цикла, количество подведенной и отведенной теплоты.

Последовательность решения

- 1) Точка 3:

$$P_3 = 6 \text{ МПа}, T_3 = 800 \text{ К}.$$

Удельный объем газа находим из уравнения состояния:

$$\nu_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 900}{6 \cdot 10^6} = 0,043 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

- 4) Точка 4:

$$T_4 = 800 \text{ К}.$$

Из уравнения адиабаты процесс 4-1:

$$P_4 = P_1 \cdot \left(\frac{T_4}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0,1 \cdot \left(\frac{900}{300} \right)^{3,5} = 4,68 \text{ МПа}.$$

Из уравнения изотермы процесс 3-4 определяем:

$$\nu_4 = \frac{P_3 \cdot \nu_3}{P_4} = \frac{6 \cdot 0,383}{4,645} = 0,0495 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

- 3) Точка 1:

$$P_1 = 0,15 \text{ МПа}, T_1 = 300 \text{ К},$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

2) Точка 2:

$$T_2 = 300 \text{ К} .$$

Из уравнения адиабаты процесса 2-3 имеем:

$$p_2 = p_3 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 6 \left(\frac{800}{300} \right)^{3,5} = 0,194 \text{ МПа} .$$

Из уравнения изотермы 1-2 получаем:

$$v_2 = \frac{p_1 \cdot v_1}{p_2} = \frac{0,15 \cdot 0,574}{0,194} = 0,4438 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

5) Термический КПД цикла равен:

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = \frac{800 - 300}{800} = 0,625 .$$

Подведенное количество теплоты определяется:

$$q_1 = R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{v_4}{v_3} = 287 \cdot 800 \cdot \ln \frac{0,0495}{0,0383} = 58898 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Отведенное количество теплоты определяется:

$$q_2 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{v_1}{v_2} = 287 \cdot 300 \cdot \ln \frac{0,574}{0,4438} = 22150 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Работа цикла:

$$l = q_1 - q_2 = 58898 - 22150 = 36748 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	4	3	2	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

1 кг воздуха совершает цикл Эриксона в пределах температур $T_3=800 \text{ К}$ и $T_1=300 \text{ К}$ при этом наивысшее давление составляет 6 МПа, а наинизшее – 0,15 МПа. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, работу, термический КПД цикла, количество подведенной и отведенной теплоты.

Последовательность решения

1) Точка 3:

$$p_3 = 6 \text{ МПа}, \quad T_3 = 800 \text{ К} .$$

Удельный объем газа находим из уравнения состояния:

$$v_3 = \frac{RT_3}{p_3} = \frac{287 \cdot 800}{6 \cdot 10^6} = 0,0383 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

5) Точка 4:

$$T_4 = 800 \text{ К} .$$

Из уравнения изобары процесса 4-1:

$$p_4 = p_1 = 0,15 \text{ МПа} .$$

Из уравнения изотермы процесс 3-4 определяем:

$$v_4 = \frac{p_3 \cdot v_3}{p_4} = \frac{6 \cdot 0,0383}{0,15} = 1,532 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

2) Точка 1:

$$p_1 = 0,15 \text{ МПа}, \quad T_1 = 300 \text{ К} .$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,15 \cdot 10^6} = 0,574 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

3) Точка 2:

$$T_2 = 300 \text{ К} .$$

Из уравнения изобары процесса 2-3 имеем:

$$p_2 = p_3 = 6 \text{ МПа} .$$

Из уравнения изотермы 1-2 получаем:

$$v_2 = \frac{p_1 \cdot v_1}{p_2} = \frac{0,15 \cdot 0,574}{6} = 0,0144 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

4) Термический КПД цикла равен:

$$\eta_t = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = \frac{800 - 300}{800} = 0,625 .$$

Подведенное количество теплоты определяется:

$$q_1 = R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{v_4}{v_3} = 287 \cdot 800 \cdot \ln \frac{1,532}{0,0383} = 846967 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Отведенное количество теплоты определяется:

$$q_2 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{v_1}{v_2} = 287 \cdot 300 \cdot \ln \frac{0,574}{0,0144} = 317313 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Работа цикла:

$$l = q_1 - q_2 = 846967 - 317313 = 529654 \text{ Дж} / \text{кг} .$$

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	5	2	3	4
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия

повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

Установите назначение деталей в двигателе Стирлинга с ромбическим механизмом.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	регенеративный теплообменник или регенератор	1	шарнирно сочленённый ромб для преобразования работы возвратно-поступательного движения поршня в работу вращательного движения
Б	ромбический механизм	2	передает теплоту посредством попеременного соприкосновения теплоносителей разной температуры с одними и теми же поверхностями устройства.
В	маховик	3	служит для восприятия сил от давления газов
Г	шатун (шток)	4	для создания равномерного вращения вала двигателя
		5	жёстко сочленён с поршнем для передачи сил давления газов на вал двигателя через ромбический механизм

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

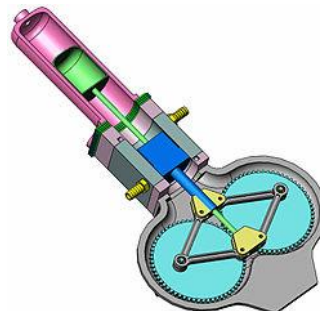
А	Б	В	Г
2	1	4	5

Задание на установление соответствия

повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие



Что показано на рисунке двигателя Стирлинга с ромбическим механизмом?

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	розовым цветом показан	1	холодный цилиндр (с двумя впускным и выпускным патрубками, окрашенных тёмно-жёлтым)
Б	тёмно-серым показан	2	горячий цилиндр
В	тёмно-синим показан	3	вытесняющий поршень
Г	светло-зелёным показан	4	термоизоляционная прокладка, разделяющая два цилиндра
		5	силовой поршень

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	1	5	3

Задание на установление соответствия повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие конструкций двигателей Стирлинга.

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	α -Стирлинг	1	вместо использования поршня-вытеснителя, рабочее тело движется между горячей и холодной полости за счёт явлений акустического резонанса. Такая схема позволяет уменьшить количество движущихся частей, но возникают сложности с поддержанием акустического резонанса, а также со снятием мощности.
Б	β -Стирлинг	2	содержит два отдельных силовых поршня в отдельных цилиндрах, один — горячий, другой — холодный. Цилиндр с горячим поршнем находится в теплообменнике с более высокой температурой, с холодным — в более холодном. У данного вида двигателя отношение мощности к объёму достаточно велико, но, к сожалению, высокая температура «горячего» поршня создаёт определённые технические трудности. Регенератор находится между горячей частью соединительной трубки и холодной.
В	γ -Стирлинг	3	тоже есть поршень и вытеснитель, но при этом два цилиндра — один холодный (там движется поршень, с которого снимается мощность), а второй горячий с одного конца и холодный с другого (там движется вытеснитель). Регенератор может быть внешним, в этом случае он соединяет горячую часть второго цилиндра с холодной и одновременно с первым (холодным) цилиндром. Внутренний регенератор является частью вытеснителя
Г	Термоакустический двигатель Стирлинга	4	цилиндр всего один, горячий с одного конца и холодный с другого. Внутри цилиндра движутся поршень (с которого снимается мощность) и вытеснитель, разделяющий горячую и холодную полости. Газ перекачивается из холодной части цилиндра в горячую через регенератор. Регенератор может быть внешним, как часть теплообменника, или может быть совмещён с поршнем-вытеснителем.
		5	решены проблемы герметичности и громоздкости (нет кривошипно-шатунного механизма, так как двигатель роторный)

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
2	4	3	1

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Какие поршневые уплотнения используют в двигателях Стирлинга?
Ответ (решение):

В двигателях Стирлинга используются поршневые уплотнения двух типов. Достижение с помощью ромбического привода практически прямолинейного движения рабочего и вытеснительного поршней позволяет применять для вытеснительного поршня лабиринтное уплотнение с малым зазором между гильзой и поршнем. А также обычные поршневые уплотнения с упругим разрезным кольцом. В этом случае кольцевые канавки нарезаются на боковой поверхности рабочего поршня или на нижней направляющей части вытеснительного поршня. В канавки вставляются комбинированные поршневые кольца, представляющие собой обычные чугунные или стальные разрезные поршневые кольца с наклеенным или завальцованным снаружи тонким слоем фторопласта или подобного ему материала. Для уменьшения утечки через обычный косой замок кольца применяют двух- или трехзаходные замки. При длительной работе уплотнительные кольца изнашиваются, а также разбивают кольцевые канавки на поршне, что приводит к увеличению утечек рабочего тела. Кроме того, частицы, образующиеся в результате изнашивания колец и поршней, оседают в регенераторе и ухудшают его характеристики, что приводит к падению мощности и экономичности двигателя.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Что такое регенератор в двигателе Стирлинга?

Ответ (решение): Регенератор действует как тепловой аккумулятор, то принимая теплоту от рабочего тела при прямом его течении, то отдавая ее при обратном течении рабочего тела между горячим и холодным пространствами. Эффективность регенератора определяется как отношение количества передаваемой теплоты к тому количеству теплоты, которое могло бы быть передано рабочим телом к насадке регенератора в идеальном случае (бесконечно большой коэффициент теплопередачи, идеальный рабочий газ, отсутствие тепловых потерь и т.д.).

К регенераторам предъявляют 3 основных требования: обеспечение минимального «мертвого» объема; минимального гидросопротивления и максимального теплового потока на поверхность теплообмена.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Что представляет собой конструкция регенератора?

Ответ (решение): Регенератор состоит из двух концентрических втулок и насадки. Втулки изготовлены из материала с низкой теплопроводностью (нержавеющая сталь, титан, металлокерамика и д.п.). Материал насадки должен иметь высокую теплоемкость, незначительную теплопроводность, высокую термостойкость, а также быть химически нейтральным к рабочему телу. С целью уменьшения температурного напора геометрическая форма насадки должна обладать наибольшей поверхностью теплообмена, приходящейся на единицу объема. В то же время мертвые объемы регенератора и их гидравлическое сопротивление должны быть максимально возможно малыми.

В качестве насадки для регенератора двигателя Стирлинга в настоящее время наиболее часто используются "галеты", спрессованные из тонкой проволоочной путанки диаметром 20-60 мкм. Набором таких галет, толщиной 3-5 мм, заполняется рабочее пространство регенератора. Однако наиболее полно приведенным выше требованиям отвечают сетчатые насадки, представляющие собой диски, вырубленные из плетеных металлических сеток.

Возможно также применение комбинированной насадки, когда "галеты" из проволоочной путанки чередуются с дисками из металлической сетки.

Наиболее подходящим материалом для насадки регенераторов двигателя Стирлинга являются хромоникелевые (нержавеющие) стали, чистый никель, вольфрам, молибден, металлокерамика в виде пористых структур и т.п. Применение насадки из этих материалов позволяет поднять температуру в горячей полости до 1200°C и тем самым увеличить эффективность двигателя.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Что представляет собой охладитель в двигателе Стирлинга?

Ответ (решение): Охладитель представляет собой теплообменник трубчатого типа, внутри трубок которого протекает рабочее тело, а снаружи - охлаждающая жидкость. Так как в двигателе Стирлинга осуществляется замкнутый рабочий цикл, то основная часть теплоты, отдаваемая холодному источнику, отводится в охладитель, при этом в двигателе Стирлинга в охлаждающую воду отводится приблизительно в 2 раза больше теплоты, чем в дизеле. Таким образом, в двигателе Стирлинга производительность системы охлаждения также должна быть вдвое выше. Добиться этого можно только путем интенсификации процессов теплообмена в теплообменнике-охладителе.

В двигателях Стирлинга в качестве охладителя используются исключительно теплообменные аппараты типа жидкость-газ с трубчатыми теплообменными поверхностями. Обычно в охладителе двигателя Стирлинга используются трубки диаметром 1,5 – 3,0 мм. При выборе материала трубок охладителя учитывают величину механических напряжений, возникающих в стенках трубок и трубных досках, под воздействием среднего давления рабочего тела в двигателе 10 – 30 МПа. Поэтому наиболее часто в охладителях применяется нержавеющая сталь. Трубки теплообменника припаиваются к трубным доскам твердым припоем в электропечах с газовой защитной атмосферой (аргон) или в электровакуумных печах.

Обычно охладитель непосредственно стыкуется с холодной стороной регенератора и конструктивно повторяет форму последнего. Так, при концентрическом регенераторе охладитель также имеет концентрическую форму, при цилиндрическом регенераторе – цилиндрическую. Регенератор и охладитель могут располагаться как в одном общем корпусе, так и в разных, но состыкованных между собой корпусах.

Задание с развернутым ответом

Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

За счет какой силы совершается вращение вала в роторном двигателе Стирлинга?

Ответ (решение): В роторном двигателе Стирлинга из-за разницы в площадях большого ротора S_b и малого S_m и разности давлений p_p в ветвях высокого и низкого давлений, возникает результирующая сила $F = p_p \cdot (S_b - S_m)$. Эта сила вращает вал с роторами, и рабочее тело непрерывно циркулирует, последовательно проходя через всю систему.

3. КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 2

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	1234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи

3.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	43215	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	32145	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	14325	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	15234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A2B1B4Г5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2B1B5Г3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A2B4B3Г1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	В двигателях Стирлинга используются поршневые уплотнения двух типов. Достижение с помощью ромбического привода практически прямолинейного движения рабочего и вытеснительного поршней позволяет применять для вытеснительного поршня лабиринтное уплотнение с малым зазором между гильзой и поршнем. А также обычные поршневые уплотнения с упругим разрезным кольцом. В этом случае кольцевые канавки нарезаются на боковой поверхности рабочего поршня или на нижней направляющей части вытеснительного поршня. В канавки вставляются комбинированные поршневые кольца, представляющие собой обычные чугунные или стальные разрезные поршневые кольца с наклеенным или завальцованным снаружи тонким слоем фторопласта или подобного ему материала. Для уменьшения утечки через обычный косой замок кольца применяют двух- или трехзаходные замки. При длительной работе уплотнительные кольца изнашиваются, а также разбивают кольцевые канавки на поршне, что приводит к увеличению утечек рабочего тела. Кроме того, частицы, образующиеся в результате изнашивания колец и поршней, оседают в регенераторе и ухудшают его характеристики, что приводит к падению мощности и экономичности двигателя.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Регенератор действует как тепловой аккумулятор, то принимая теплоту от рабочего тела при прямом его течении, то отдавая ее при обратном течении рабочего тела между горячим и холодным пространствами. Эффективность регенератора определяется как отношение количества передаваемой теплоты к тому количеству теплоты, которое могло бы быть передано рабочим телом к насадке регенератора в идеальном случае (бесконечно большой коэффициент теплопередачи, идеальный рабочий газ, отсутствие тепловых потерь и т.д.).	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

	К регенераторам предъявляют 3 основных требования: обеспечение минимального «мертвого» объема; минимального гидросопротивления и максимального теплового потока на поверхность теплообмена.	
18.	Регенератор состоит из двух концентрических втулок и насадки. Втулки изготовлены из материала с низкой теплопроводностью (нержавеющая сталь, титан, металлокерамика и д.п.). Материал насадки должен иметь высокую теплоемкость, незначительную теплопроводность, высокую термостойкость, а также быть химически нейтральным к рабочему телу. С целью уменьшения температурного напора геометрическая форма насадки должна обладать наибольшей поверхностью теплообмена, приходящейся на единицу объема. В то же время мертвые объемы регенератора и их гидравлическое сопротивление должны быть максимально возможно малыми. В качестве насадки для регенератора двигателя Стирлинга в настоящее время наиболее часто используются "галеты", спрессованные из тонкой проволоочной путанки диаметром 20-60 мкм. Набором таких галет, толщиной 3-5 мм, заполняется рабочее пространство регенератора. Однако наиболее полно приведенным выше требованиям отвечают сетчатые насадки, представляющие собой диски, вырубленные из плетеных металлических сеток. Возможно также применение комбинированной насадки, когда "галеты" из проволоочной путанки чередуются с дисками из металлической сетки. Наиболее подходящим материалом для насадки регенераторов двигателя Стирлинга являются хромоникелевые (нержавеющие) стали, чистый никель, вольфрам, молибден, металлокерамика в виде пористых структур и т.п. Применение насадки из этих материалов позволяет поднять температуру в горячей полости до 1200оС и тем самым увеличить эффективность двигателя.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Охладитель представляет собой теплообменник трубчатого типа, внутри трубок которого протекает рабочее тело, а снаружи - охлаждающая жидкость. Так как в двигателе Стирлинга осуществляется замкнутый рабочий цикл, то основная часть теплоты, отдаваемая холодному источнику, отводится в охладитель, при этом в двигателе Стирлинга в охлаждающую воду отводится приблизительно в 2 раза больше теплоты, чем в дизеле. Таким образом, в двигателе Стирлинга производительность системы охлаждения также должна быть вдвое выше. Добиться этого можно только путем интенсификации процессов теплообмена в теплообменнике-охладителе. В двигателях Стирлинга в качестве охладителя используются исключительно теплообменные аппараты типа жидкость-газ с трубчатыми теплообменными поверхностями. Обычно в охладителе двигателя Стирлинга используются трубки диаметром 1,5 – 3,0 мм. При выборе материала трубок охладителя учитывают величину механических напряжений, возникающих в стенках трубок и трубных досках, под воздействием среднего давления рабочего тела в двигателе 10 – 30 МПа. Поэтому наиболее часто в охладителях применяется нержавеющая сталь. Трубки теплообменника припаиваются к трубным доскам твердым припоем в	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

	электропечах с газовой защитной атмосферой (аргон) или в электровакуумных печах. Обычно охладитель непосредственно стыкуется с холодной стороной регенератора и конструктивно повторяет форму последнего. Так, при концентрическом регенераторе охладитель также имеет концентрическую форму, при цилиндрическом регенераторе – цилиндрическую. Регенератор и охладитель могут располагаться как в одном общем корпусе, так и в разных, но состыкованных между собой корпусах.	
20.	В роторном двигателе Стирлинга из-за разницы в площадях большого ротора S_b и малого S_m и разности давлений P_r в ветвях высокого и низкого давлений, возникает результирующая сила $F = P_r \cdot (S_b - S_m)$. Эта сила вращает вал с роторами, и рабочее тело непрерывно циркулирует, последовательно проходя через всю систему.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

Оценочные средства по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания»

Варианты заданий практических работ (повышенный уровень):

Данные для расчета изохорного процесса

Ном. вар.	p_1 , Па	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	P_2 , Па	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	l , Дж/кг	q , Дж/кг	U , Дж/кг	s , Дж/(кг·К)
1	101320	300		200000						
2	101320	270		300000						
3	101320	400		350000						
4	101320	500		380000						
5	400000	600		400000						
6	400000	700		500000						
7	400000	900		500000						
8	500000	250		700000						
9	500000	250		750000						
10	500000	250		800000						
11	500000	250		900000						
12	500000	250		1000000						
13	500000	250		400000						
14	500000	250		300000						
15	500000	300		200000						
16	500000	320		100000						
17	500000	350		50000						
18	500000	370		1000000						
19	500000	400		1000000						
20	500000	450		1300000						

21	500000	500		1400000						
22	500000	500		1500000						
23	500000	500		1600000						
24	500000	500		1700000						

Данные для расчета изобарного процесса

Ном. вар.	p_1 , Па	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	P_2 , Па	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	l , Дж/кг	q , Дж/кг	u , Дж/кг	s , Дж/(кг·К)
1	101320	300				0,83				
2	101320	270				0,87				
3	101320	400				1,983				
4	101320	500				2,124				
5	400000	600				0,502				
6	400000	700				0,574				
7	400000	900				0,54				
8	500000	250				0,144				
9	500000	250				0,95				
10	500000	250				0,96				
11	500000	250				0,97				
12	500000	250				0,98				
13	500000	250				0,99				
14	500000	250				1				
15	500000	300				1,01				
16	500000	320				1,02				
17	500000	350				1,03				
18	500000	370				1,04				
19	500000	400				1,05				
20	500000	450				1,06				
21	500000	500				0,25				
22	500000	500				0,2				
23	500000	500				0,1				
24	500000	500				0,05				

Данные для расчета изотермического процесса

Ном. вар.	p_1 , Па	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	P_2 , Па	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	l , Дж/кг	q , Дж/кг	U , Дж/кг	s , Дж/(кг·К)
1	101320	300		156700						
2	101320	270		117424						
3	101320	400		67724						
4	101320	500		49557						
5	400000	600		1036403						
6	400000	700		500000						
7	400000	900		500000						
8	500000	250		700000						
9	500000	250		750000						
10	500000	250		800000						
11	500000	250		900000						
12	500000	250		100000						
13	500000	250		400000						
14	500000	250		300000						
15	500000	300		200000						
16	500000	320		100000						

17	500000	350		50000						
18	500000	370		1000000						
19	500000	400		1000000						
20	500000	450		1300000						
21	500000	500		1400000						
22	500000	500		1500000						
23	500000	500		1600000						
24	500000	500		101320						

Данные для расчета адиабатного процесса

Ном. вар.	p_1 , Па	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	p_2 , Па	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	l , Дж/кг	q , Дж/кг	u , Дж/кг	s , Дж/(кг·К)
1	101320	300				0,85				
2	101320	270				0,85				
3	101320	400				0,85				
4	101320	500				0,85				
5	400000	600				0,431				
6	400000	700				0,85				
7	400000	900				0,85				
8	500000	250				0,708				
9	500000	250				0,708				
10	500000	250				0,708				
11	500000	250				0,708				
12	500000	250				0,708				
13	500000	250				0,708				
14	500000	250				0,708				
15	500000	300				0,85				
16	500000	320				0,906				
17	500000	350				0,991				
18	500000	370				1,48				
19	500000	400				1,133				
20	500000	450				1,275				
21	500000	500				1,416				
22	500000	500				1,416				
23	500000	500				1,416				
24	500000	500				1,416				

Данные для расчета политропного процесса при $n=1,2$

Ном. вар.	p_1 , Па	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	p_2 , Па	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	l , Дж/кг	q , Дж/кг	u , Дж/кг	s , Дж/(кг·К)
1	101320		0,85			0,85				
2	101320		0,765			0,85				
3	101320		1,133			0,85				
4	101320		1,416			0,85				
5	400000		0,431			0,85				
6	400000		0,502			0,85				
7	400000		0,646			0,85				
8	500000		0,144			0,708				
9	500000		0,144			0,708				
10	500000		0,144			0,708				
11	500000		0,144			0,708				

12	500000		0,144			0,708					
13	500000		0,144			0,708					
14	500000		0,144			0,708					
15	500000		0,172			0,85					
16	500000		0,184			0,906					
17	500000		0,201			0,991					
18	500000		0,212			1,48					
19	500000		0,23			1,133					
20	500000		0,258			1,275					
21	500000		0,287			1,416					
22	500000		0,287			1,416					
23	500000		0,287			1,416					
24	500000		0,287			1,416					

Варианты расчета цикла Карно

Ном. вар.	P_1 , МПа	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	p_2 , МПа	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	p_3 , МПа	T_3 , К	v_3 , м ³ /кг Г	p_4 , МПа а	T_4 , К	v_4 , м ³ /кг Г	q_1 , Дж /кг	q_2 , Дж/кг Г	η , %	η_t ¹ , %
1	0,1	300					6	900								
2	0,11	300					6,5	900								
3	0,12	300					7	900								
4	0,13	300					7,5	900								
5	0,14	300					8	900								
6	0,15	300					7,5	900								
7	0,16	300					9	900								
8	0,17	300					9,5	900								
9	0,18	300					10	900								
10	0,19	300					10,5	900								
11	0,20	300					11	900								
12	0,21	300					11,5	900								
13	0,22	300					12	900								
14	0,23	300					12,5	900								
15	0,24	300					13	900								
16	0,25	300					13,5	900								
17	0,26	300					14	900								
18	0,27	300					14,5	900								
19	0,28	300					15	900								
20	0,29	300					16	900								
21	0,3	300					16,5	900								
22	0,31	300					17,5	900								
23	0,32	300					18	900								
24	0,33	300					19	900								

Вопросы при защите практических работ (базовый уровень):

1. Что такое теплоемкость вещества?
2. Что такое удельный объем?
3. Единицы измерения давления?
4. Единицы измерения температуры?
5. Что такое критическая точка?
6. Как определяется изменение внутренней энергии в изотермическом процессе?
7. Как определяется изменение энтропии в изотермическом процессе?
8. Как определяется количество теплоты в изотермическом процессе?
9. Как определяется работа расширения в изотермическом процессе?
10. Как определяется изменение внутренней энергии в изохорном процессе?

11. Как определяется изменение энтропии в изохорном процессе?
12. Как определяется количество теплоты в изохорном процессе?
13. Как определяется работа расширения в изохорном процессе?
14. Как определяется изменение внутренней энергии в изобарном процессе?
15. Как определяется изменение энтропии в изобарном процессе?
16. Как определяется количество теплоты в изобарном процессе?
17. Как определяется работа расширения в изобарном процессе?
18. Как определяется изменение внутренней энергии в политропном процессе?
19. Как определяется изменение энтропии в политропном процессе?
20. Как определяется количество теплоты в политропном процессе?
21. Как определяется работа расширения в политропном процессе?
22. Как определяется изменение внутренней энергии в адиабатном процессе?
23. Как определяется изменение энтропии в адиабатном процессе?
24. Как определяется количество теплоты в адиабатном процессе?
25. Как определяется работа расширения в адиабатном процессе?
26. Как определяется изменение внутренней энергии в цикле Карно?
27. Как определяется изменение энтропии в цикле Карно?
28. Как определяется количество теплоты в цикле Карно?
29. Как определяется работа расширения в цикле Карно?
30. Как определяется изменение внутренней энергии в цикле Стирлинга?
31. Как определяется изменение энтропии в цикле Стирлинга?
32. Как определяется количество теплоты в цикле Стирлинга?
33. Как определяется работа расширения в цикле Стирлинга?
34. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
35. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.
36. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.
37. Принцип работы двигателя Стирлинга.
38. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
39. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
40. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
41. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
42. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.
43. Системы регулирования двигателей Стирлинга.
44. Области использования двигателей Стирлинга.
45. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.
46. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
47. Системы регулирования двигателей Стирлинга.
48. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
49. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.
50. Как выбрать конструктивные параметры симметричного ромбического механизма двигателя Стирлинга?
51. Расчет индикаторной диаграммы двигателя внешнего сгорания.
52. Как определяются массовые потоки в газовых полостях двигателя внешнего сгорания?
53. Как определяются линейные скорости газовых потоков в полостях двигателя внешнего сгорания?
54. Как определяются конструктивные параметры теплообменных аппаратов двигателя внешнего сгорания?
55. Как определяется интенсивность теплообмена в газовых полостях двигателя внешнего сгорания?

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к практическим занятиям по курсу «Двигатели внешнего сгорания» (для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост.: А.А.Данилейченко, А. А. Крайнюк. - Луганск: Изд-во ВНУ им.В.Даля, 2012. - 40с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству практическая работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)

Индивидуальное задание (высокий уровень):

Тема: Расчет рабочего процесса двигателя Стирлинга мощностью N_e кВт при частоте вращения коленчатого вала n мин⁻¹.

Варианты

Вариант	Мощность N_e , кВт	Частота вращения коленчатого вала n , мин ⁻¹	Отношение температур, t_g/t_x , °C	Рабочее тело
1	2	3	4	5
1	45	3200	500/42	H ₂
2	2	2100	672/65	He
3	4	2500	672/32	He
4	95	2500	600/50	H ₂
5	0,1	1000	650/42	аргон
6	25	1500	630/57	H ₂
7	30	2500	650/52	воздух
8	45	600	672/65	воздух
9	130	2000	650/60	H ₂
10	70	1200	670/37	H ₂
11	0,06	1600	850/42	аргон
12	140	1800	700/40	H ₂
13	20	1800	760/40	He
14	0,1	500	925/60	аргон
15	0,05	600	600/30	воздух
16	145	2800	550/42	He
17	18	2400	705/47	H ₂
18	10	3600	705/67	H ₂
19	40	2500	710/22	H ₂
20	0,08	2500	910/40	аргон

1	2	3	4	5
21	275	1600	710/72	H ₂
22	350	2800	720/30	H ₂
23	15	2000	640/32	воздух
24	300	2700	750/50	H ₂
25	95	2100	760/32	H ₂
26	60	5500	700/22	He
27	6	1000	630/22	воздух
28	165	2300	770/20	H ₂
29	105	3300	600/40	He
30	110	3000	700/37	He
31	2,5	3000	800/32	аргон
32	0,6	1500	600/40	воздух
33	30	1500	630/22	He
34	90	1500	690/62	H ₂
35	50	1500	640/32	He
36	175	4000	650/52	He
37	0,1	100	650/50	воздух
38	80	3000	700/37	H ₂
39	10	3200	672/27	He
40	35	2000	690/62	He
41	0,03	600	925/60	аргон
42	8	3000	700/60	He
43	110	3000	760/32	воздух
44	20	2400	710/65	He
45	1	750	750/22	аргон
46	16	3000	720/60	He
47	0,5	1500	700/52	аргон
48	300	2700	750/50	He
49	0,05	800	900/50	аргон
50	60	1500	750/50	воздух

Выполняется по методическим указаниям к практическим занятиям (занятия 3 – 7) «Расчет процессов теплообмена во внутреннем контуре двигателя Стирлинга» по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» (для студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ Сост.: А.И. Крайнюк, А.А.Данилейченко - Луганск: Изд-во Востоchnоукр. нац. ун-та имени Владимира Даля, 2012.- 29с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству индивидуальное задание

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Задание выполнено на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)
4	Задание выполнено на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Задание выполнено на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)

2	Задание выполнено выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)
---	---

Вопросы при защите лабораторной работы (базовый уровень):

1. Преимущества двигателей Стирлинга по сравнению с поршневыми ДВС.
2. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
3. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.
4. Принцип работы двигателя Стирлинга.
5. Области использования двигателей Стирлинга.
6. Системы регулирования двигателей Стирлинга.
7. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
8. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.
9. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
10. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.
11. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
12. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
13. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.
14. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.
15. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
16. Преимущества регенеративного цикла Стирлинга по сравнению с циклом Карно.
17. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.
18. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.
19. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
20. Принцип работы двигателя Стирлинга.
21. Области использования двигателей Стирлинга.
22. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
23. Системы регулирования двигателей Стирлинга.
24. Основные условия осуществления цикла Стирлинга.
25. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
26. Из каких термодинамических процессов состоит цикл Стирлинга.
27. Основные условия осуществления цикла Стирлинга.
28. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.
29. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
30. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.
31. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
32. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.
33. Преимущества регенеративного цикла Стирлинга по сравнению с циклом Карно.
34. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.
35. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
36. Как определяется среднее давление цикла Стирлинга.
37. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
38. Какие параметры цикла влияют на термический КПД цикла Стирлинга.
39. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
40. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.
41. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
42. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.
43. Преимущества двигателей Стирлинга по сравнению с поршневыми ДВС.
44. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
45. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.
46. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.
47. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
48. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.

49. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.

50. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторным занятиям по дисциплине «Двигатели внешнего сгорания» (для студентов направления подготовки 13.03.03.«Энергетическое машиностроение» специальности «Двигатели внутреннего сгорания)/ Сост. М.А.Брянцев. - Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля, 2019. - 27с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству лабораторная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Лабораторная работа выполнена на высоком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Лабораторная работа выполнена на среднем уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Лабораторная работа выполнена на низком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Лабораторная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны менее чем на 50 %)

Тест к контрольной работе (базовый уровень):

1. Термический предел это:

- а) **максимальная температура, ограниченная конструкционными материалами двигателя,**
- б) максимальная температура, ограниченная свойствами рабочего тела участвующего в цикле,
- в) максимальная температура, позволяющая получить наибольший термический КПД цикла,
- г) правильного ответа нет.

2. В каком году изобретен регенеративный двигатель замкнутого цикла с внешним подводом теплоты?

- а) 1699,
- б) 1807,
- в) **1816,**
- г) правильного ответа нет.

3. Термический КПД это:

- а) **отношение произведенной работы к подведенной энергии,**
- б) отношение отведенной энергии к произведенной работе,
- в) отношение подведенной энергии к суммарной энергии участвующей в цикле,
- г) правильного ответа нет.

4. Площадь цикла на $P - V$ диаграмме представляет собой:

- а) **произведенную работу,**
- б) отведенную энергию,
- в) подведенную энергию,
- г) правильного ответа нет.

5. Цикл Карно состоит из следующих процессов:

- а) **изотермического сжатия, адиабатного сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;**
- б) изохорного сжатия, адиабатного сжатия, изохорного расширения, адиабатного расширения;
- в) адиабатного сжатия, изотермического сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;
- г) правильного ответа нет.

6. Цикл Карно состоит из процессов, идущих в следующем порядке:

- а) изобарного сжатия, адиабатного сжатия, изобарного расширения, адиабатного расширения;
- б) изохорного сжатия, адиабатного сжатия, изохорного расширения, адиабатного расширения;
- в) **изотермического сжатия, адиабатного сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;**
- г) правильного ответа нет.

7. Цикл Эриксона состоит из следующих процессов:

- а) изотермического сжатия, адиабатного сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;
- б) **изохорного сжатия, адиабатного сжатия, изохорного расширения, адиабатного расширения;**
- в) адиабатного сжатия, изотермического сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;
- г) правильного ответа нет.

8. Цикл Стирлинга состоит из следующих процессов:

- а) изобарного сжатия, адиабатного сжатия, изобарного расширения, адиабатного расширения;
- б) изохорного сжатия, адиабатного сжатия, изохорного расширения, адиабатного расширения;
- в) адиабатного сжатия, изотермического сжатия, изотермического расширения, адиабатного расширения;
- г) правильного ответа нет.

9. Цикл Карно состоит из:

- а) двух изохорных и двух адиабатных процессов;
- б) двух изохорных и двух изобарных процессов;
- в) двух адиабатных и двух изотермических процессов;
- г) правильного ответа нет.

10. Цикл Эриксона состоит из:

- а) двух изохорных и двух изотермических процессов;
- б) двух изохорных и двух изобарных процессов;
- в) двух изохорных и двух адиабатных процессов;
- г) правильного ответа нет.

11. Цикл Стирлинга состоит из:

- а) двух изохорных и двух изотермических процессов;
- б) двух изобарных и двух изотермических процессов;
- в) двух изобарных и двух адиабатных процессов;
- г) правильного ответа нет.

12. Принцип работы двигателя Стирлинга заключается в следующем:

- а) рабочее тело, выталкиваемое вытеснительным поршнем проходит через регенератор получая тепло, дополнительно нагревается в нагревателе и поступает в горячую полость, где совершает работу;
- б) рабочее тело, выталкиваемое вытеснительным поршнем проходит через охладитель, где охлаждается, получает тепло в регенераторе, дополнительно нагревается в нагревателе и поступает в горячую полость, где совершает работу;
- в) рабочее тело, выталкиваемое вытеснительным поршнем нагревается в нагревателе и поступает в горячую полость, где совершает работу;
- г) правильного ответа нет.

13. Какие параметры влияют на термический КПД термодинамического цикла Стирлинга:

- а) верхняя и нижняя температуры цикла, показатель адиабаты;
- б) степень сжатия, КПД регенератора;
- в) верхняя и нижняя температуры цикла, степень сжатия, показатель адиабаты, КПД регенератора;
- г) правильного ответа нет.

14. Какие параметры влияют на среднее давление термодинамического цикла Стирлинга:

- а) давление зарядки, верхняя и нижняя температуры цикла, степень сжатия;
 - б) характеристики рабочего тела, КПД регенератора;
 - в) давление зарядки, верхняя и нижняя температуры цикла, характеристики рабочего тела;
 - г) правильного ответа нет.
15. Существенного увеличения мощности двигателя Стирлинга можно достигнуть (ответ объяснить):
- а) одновременным повышением частоты вращения и минимального давления цикла;
 - б) повышением частоты вращения;
 - в) повышением давления зарядки и сменой рабочего тела;
 - г) заменой рабочего тела.
16. Относительный КПД это:
- а) отношение эффективного КПД к КПД цикла Карно;
 - б) отношение индикаторного КПД к КПД цикла Карно;
 - в) отношение КПД цикла Карно к эффективному КПД;
 - г) отношение КПД цикла Карно к индикаторному КПД.
17. Из каких процессов состоит цикл Эриксона:
- а) двух изотермических и двух адиабатных;
 - б) двух изотермических и двух изохорных;
 - в) двух изотермических и двух изобарных;
 - г) двух изотермических и двух политропных.
18. Из каких процессов состоит цикл Рейтлингера:
- а) двух изотермических и двух изобарных;
 - б) двух изотермических и двух адиабатных;
 - в) двух изотермических и двух политропных.
 - г) двух изотермических и двух изохорных;
19. Как влияет степень регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга:
- а) повышение степени регенерации приводит к увеличению термического КПД;
 - б) повышение степени регенерации приводит к уменьшению термического КПД;
 - в) не влияет.
20. Как влияет объем мертвого пространства на мощность двигателя Стирлинга (ответ обосновать):
- а) с увеличением объема мертвого пространства мощность двигателя падает;
 - б) с увеличением объема мертвого пространства мощность двигателя возрастает;
 - в) не влияет,
 - г) правильного ответа нет.
21. Как влияет объем мертвого пространства на количество рабочего тела в двигателе Стирлинга (ответ обосновать):
- а) не влияет;
 - б) с увеличением объема мертвого пространства количество рабочего тела падает;
 - в) с увеличением объема мертвого пространства количество рабочего тела возрастает;
 - г) правильного ответа нет.
22. Площадь цикла на $P - V$ диаграмме представляет собой:
- а) затраченную работу,
 - б) произведенную работу,
 - в) передаваемую теплоту,
 - г) теплоту, преобразованную в работу.
23. Площадь цикла на $T - S$ диаграмме представляет собой:
- а) теплоту, преобразованную в работу,
 - б) произведенную работу,
 - в) затраченную работу,
 - г) передаваемую теплоту.
24. Из каких процессов состоит цикл Карно:
- а) двух изотермических и двух политропных;
 - б) двух изотермических и двух изобарных;

- в) двух изотермических и двух изохорных;
г) правильного ответа нет.
25. Принцип работы двигателя Стирлинга основан на:
а) сжатии холодного рабочего тела и расширении горячего с регенерацией в открытом цикле;
б) попеременном нагреве и охлаждении заключенного в изолированном объеме рабочего тела;
в) сжатии холодного рабочего тела и расширении горячего с регенерацией в закрытом цикле;
г) правильного ответа нет.
26. Объем мертвого пространства состоит из:
а) объемов нагревателя, охладителя, регенератора и соединительных каналов;
б) объемов нагревателя, охладителя, регенератора;
в) объемов нагревателя, охладителя, регенератора и объемов горячей и холодной полостей;
г) правильного ответа нет.
27. КПД термодинамического цикла Стирлинга можно приблизить к КПД цикла Карно:
а) без регенерации, при увеличении максимально возможного перепада температур (T_g/T_x);
б) при использовании регенератора и увеличении максимально возможного перепада температур (T_g/T_x);
в) при использовании регенератора;
г) правильного ответа нет.
28. Из каких процессов состоит цикл Рейтлингера:
а) двух изотермических и двух адиабатных;
б) четырех адиабатных;
в) двух изотермических и двух политропных;
г) четырех политропных.
29. Двигатель Стирлинга может работать с максимальным КПД (ответ обосновать):
а) при использовании эффективного охладителя;
б) при использовании эффективного регенератора;
в) при использовании эффективного нагревателя;
г) правильного ответа нет.
30. Долговечность двигателя Стирлинга ограничена:
а) сроком службы регенератора;
б) сроком службы системы уплотнений;
в) сроком службы нагревателя;
г) правильного ответа нет.
31. Система охлаждения двигателя Стирлинга:
а) вдвое меньшего размера чем для обычного ДВС;
б) таких же размеров как и в обычном ДВС;
в) вдвое большего размера чем для обычного ДВС;
г) правильного ответа нет.
32. Для достижения высокой мощности двигателя Стирлинга в качестве рабочего тела необходимо использовать:
а) газ с высокой молекулярной массой при низком давлении;
б) газ с высокой молекулярной массой при высоком давлении;
в) газ с низкой молекулярной массой при низком давлении;
г) газ с низкой молекулярной массой при высоком давлении.

Задача (расчет термодинамического цикла Стирлинга)
(базовый уровень)

η_t^1 Ном. вар.	P_1 , МПа	T_1 , К	v_1 , м ³ /кг	P_2 , МПа	T_2 , К	v_2 , м ³ /кг	P_3 , МПа	T_3 , К	v_3 , м ³ /кг	P_4 , МПа	T_4 , К	v_4 , м ³ /кг	q_1 , Дж/кг	q_2 , Дж/кг	η_b , %	η_t^1 , %
1	0,1	300					6	900								
2	0,11	300					6,5	900								
3	0,12	300					7	900								
4	0,13	300					7,5	900								

5	0,14	300					8	900								
6	0,15	300					7,5	900								
7	0,16	300					9	900								
8	0,17	300					9,5	900								
9	0,18	300					10	900								
10	0,19	300					10,5	900								
11	0,20	300					11	900								
12	0,21	300					11,5	900								
13	0,22	300					12	900								
14	0,23	300					12,5	900								
15	0,24	300					13	900								
16	0,25	300					13,5	900								
17	0,26	300					14	900								
18	0,27	300					14,5	900								
19	0,28	300					15	900								
20	0,29	300					16	900								
21	0,3	300					16,5	900								
22	0,31	300					17,5	900								
23	0,32	300					18	900								
24	0,33	300					19	900								

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50 %)

Вопросы для промежуточной аттестации (зачет):

ЗАДАНИЕ N 1

1. Преимущества двигателей Стирлинга по сравнению с поршневыми ДВС.
2. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 2

1. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.
2. Принцип работы движения Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 3

1. Области использования двигателей Стирлинга.
2. Системы регулирования двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 4

1. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
2. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 5

1. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
2. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 6

1. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
2. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.

ЗАДАНИЕ N 7

1. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.

2. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 8

1. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
2. Преимущества регенеративного цикла Стирлинга по сравнению с циклом Карно.

ЗАДАНИЕ N 9

1. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.
2. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 10

1. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
2. Принцип работы двигателя Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 11

1. Области использования двигателей Стирлинга.
2. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 12

1. Системы регулирования двигателей Стирлинга.
2. Основные условия осуществления цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 13

1. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
2. Из каких термодинамических процессов состоит цикл Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 14

1. Основные условия осуществления цикла Стирлинга.
2. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 15

1. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
2. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 16

1. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
2. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 17

1. Преимущества регенеративного цикла Стирлинга по сравнению с циклом Карно.
2. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 18

1. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
2. Как определяется среднее давление цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 19

1. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
2. Какие параметры цикла влияют на термический КПД цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 20

1. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.
2. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 21

1. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
2. Условия осуществления регенеративного цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 22

1. Преимущества двигателей Стирлинга по сравнению с поршневыми ДВС.
2. Требования, предъявляемые к тепловым аккумуляторам.

ЗАДАНИЕ N 23

1. Назначение буферной полости двигателя Стирлинга.
2. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 24

1. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.
2. Какие параметры влияют на среднее давление цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 25

1. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.

2. Основные конструктивные схемы двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 26

1. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.
2. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 27

1. Влияние степени регенерации теплоты на термический КПД цикла Стирлинга.
2. Принцип работы двигателя Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 28

1. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
2. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 29

1. Источник энергии для двигателей Стирлинга.
2. Влияние физических свойств рабочего тела на показатели двигателя Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 30

1. Факторы, влияющие на термический КПД цикла Стирлинга.
2. Системы регулирования двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 31

1. Области использования двигателей Стирлинга.
2. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 32

1. Влияние объема мертвого пространства на работу цикла Стирлинга.
2. Системы регулирования двигателей Стирлинга.

ЗАДАНИЕ N 33

1. Механизмы преобразования движения поршней ДВПТ.
2. Влияние фазового сдвига поршней на работу цикла Стирлинга.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточная аттестация (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент полностью изложил рассматриваемую проблему, привел аргументы и факты; владеет профильным понятийным (категориальным) набором знаний и т.п.). (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом представил рассматриваемую проблематику, привел не все аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками; не владеет в достаточной степени профильными категориальными сведениями и т.п.) (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач).
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.) (правильные ответы даны менее чем на 50 %).

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;
- продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут;

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений с указанием страниц	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)
1.			
2.			
3.			
4.			