

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Б1.В.03**  
(индекс дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физика горения в энергетическом машиностроении**

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки

**13.04.03 Энергетическое машиностроение**

направленность (профиль)

**Энергетические комплексы и системы управления**

Форма обучения: очная

Год набора: 2022

Общая трудоемкость: 4 ЗЕ

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр	1	Итого
Форма контроля	зачёт	
Вид занятий		
Лекции	16	16
Лабораторные	0	0
Практические	16	16
Руководство: курсовые работы (проекты)	0	0
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Контактная работа	32,35	32,35
Самостоятельная работа	76	76
Контроль	35,65	35,65
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>144</b>

Рабочую программу составил(и):

доцент, доцент, к.т.н., Смоленский В.В.

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рецензирование рабочей программы дисциплины:



Отсутствует



Рецензент

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана  
направления подготовки

13.04.03 Энергетическое машиностроение

---

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «31» августа 2024 г.**

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры

«Энергетические машины и системы управления»

---

(протокол заседания № 11 от «01» июля 2022 г.).

## 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – формирование углубленного комплекса знаний, умений и навыков у магистрантов в области подготовки и обоснования проектно-технических решений по современным энергетическим технологиям, применяемым в автотранспортных средствах.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: Основа научных исследований; Проектирование объектов энергетического машиностроения; Производственная практика (проектная практика).

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Создание и постановка на производство объектов энергетического машиностроения; Производственная практика (научно-исследовательская работа) 4; Производственная практика (преддипломная практика).

## 3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем	ПК-1.1 Проведение патентных исследований и определение характеристик продукции (услуг)	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Научно-техническая документация в соответствующей области знаний</li><li>– Охранные документы: патенты, выложенные и акцептованные заявки</li><li>– Сопоставительный анализ объекта техники с охраняемыми объектами промышленной собственности</li><li>– Методы определения патентной чистоты объекта техники</li><li>– Правовые основы охраны объектов исследования с экономической оценкой использования объектов промышленной собственности</li></ul>
		<b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– Обосновывать меры по обеспечению патентной чистоты объекта техники</li><li>– Обосновывать меры по беспрепятственному производству и реализации объектов техники в стране и за рубежом</li><li>– Оценивать патентоспособность</li></ul>

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		<p>вновь созданных технических и художественно-конструкторских решений</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Использовать методы анализа применимости в объекте исследований известных объектов промышленной (интеллектуальной) собственности</li> <li>– Определять показатели технического уровня объекта техники</li> </ul>
		<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Определение задач патентных исследований, видов исследований и методов их проведения и разработка задания на проведение патентных исследований</li> <li>– Осуществление поиска и отбора патентной и другой документации в соответствии с утвержденным регламентом и оформление отчета о поиске</li> <li>– Систематизация и анализ отобранной документации</li> <li>– Обоснование решений задач патентными исследованиями; обоснование предложений по дальнейшей деятельности хозяйствующего субъекта, осуществление подготовки выводов и рекомендаций</li> <li>– Оформление результатов исследований в виде отчета о патентных исследованиях</li> </ul>
	ПК-1.2 Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Актуальная нормативная документация в соответствующей области знаний</li> <li>– Методы анализа научных данных</li> <li>– Методы и средства планирования и организации исследований и разработок</li> </ul>
		<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Применять актуальную</li> </ul>

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		<p>нормативную документацию в соответствующей области знаний</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</li> </ul>
		<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Осуществление разработки планов и методических программ проведения исследований и разработок</li> <li>– Организация сбора и изучения научно-технической информации по теме исследований и разработок</li> <li>– Проведение анализа научных данных, результатов экспериментов и наблюдений</li> <li>– Осуществление теоретического обобщения научных данных, результатов экспериментов и наблюдений</li> </ul>

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1 «Теория горения и особенности сгорания в поршневых двигателях внутреннего сгорания»	Лек	Введение. Основные понятия ламинарного и турбулентного горения	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение нормальной скорости распространения пламени вблизи свечи зажигания	1	2	–	–	Практическая работа №1
	Лек	Особенности распространения пламени в поршневых энергетических установках	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение турбулентной скорости распространения пламени вблизи свечи зажигания и в удалённой от неё зоне камеры сгорания	1	2	–	–	Практическая работа №2
	Лек	Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение ширины зоны турбулентного горения вблизи свечи зажигания и в основной фазе сгорания	1	2	–	–	Практическая работа №3
	Лек	Эмпирические методики определения скоростей распространения пламени и ширины зоны горения в различных зонах камеры сгорания	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение характеристик сгорания при работе на альтернативных видах топлива	1	2	–	–	Практическая работа №4
	СР	Подготовка практических работ Самостоятельное изучение материала	1	30	–	–	Вопросы к экзамену
Модуль 2 «Методы	Лек	Токсичные выделения в продуктах сгорания, их состав. Нормируемые токсичные	1	2	–	–	Вопросы к экзамену

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
снижения вредных выбросов в продуктах сгорания»		выделения в области поршневых двигателей					
	Пр	Снижение концентрации несгоревших углеводородов за счёт изменения ширины зоны турбулентного горения	1	2	–	–	Практическая работа №5
	Лек	Методы снижения вредных выбросов в продуктах сгорания. Воздействие на рабочий процесс.	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение концентрации оксида азота при сгорании в двигателе с искровым зажиганием	1	2	–	–	Практическая работа №6
	Лек	Применение альтернативных топлив для снижения токсичности отработавших газов	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение концентрации несгоревших углеводородов с учётом термохимических свойств топлива и характеристик распространения пламени	1	2	–	–	Практическая работа №7
	Лек	Каталитические нейтрализаторы и дымовые фильтры для снижения концентрации токсичных выделений	1	2	–	–	Вопросы к экзамену
	Пр	Определение полноты сгорания топлива по концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах	1	2	–	–	Практическая работа №8
	СР	Подготовка практических работ Самостоятельное изучение материала	1	46	–	–	Вопросы к экзамену
	ПА	Промежуточная аттестация	1	0,35	–	–	Вопросы к экзамену Экзамен
	Контроль	Контроль	1	35,65	–	–	Экзамен
<b>Итого:</b>				<b>144</b>			

## **5. Образовательные технологии**

При изучении дисциплины «Физика горения в энергетическом машиностроении» используются следующие образовательные технологии:

- технологии традиционного обучения в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студентов;
- технология обучения в сотрудничестве: данная технология основана на принципах сотрудничества во временных командах или малых группах с целью получения качественного образовательного результата. Метод обучения – работа в паре при выполнении практической работы.
- элементы проблемного обучения в виде наличия вопросов проблемного характера в практических работах и требований анализа полученных результатов с последующим выводом.

## **6. Методические указания по освоению дисциплины**

Занятия по дисциплине «Физика горения в энергетическом машиностроении» для студентов вузов проводятся в соответствии с учебным планом. Аудиторная работа студентов под руководством преподавателей осуществляется в соответствии с расписанием в рамках лекций и практических занятий. В самостоятельную работу студентов входит более глубокое изучение теоретического материала и выполнение практических заданий в соответствии с направлением диссертационного исследования.

Методические рекомендации преподавателям:

1. При проведении лекций рекомендуется четко сформулировать цели изучаемого раздела, пункта и данного занятия.
2. Целесообразно рассматриваемый материал пояснять на элементарных примерах, в том числе из изучавшихся ранее курсов.
3. Полезно в процессе лекционного занятия по рассматриваемой теме довести до студентов её практическое значение для современного состояния в области профессиональной деятельности.
4. Проведение лабораторных и практических занятий организовывать по принципу группового изучения и выполнения при консультации преподавателя в случае затруднения студентов при обсуждении в группе.

Методические указания студентам.

1. Самостоятельную работу следует выполнять непосредственно после заслушивания материала во время лекционных занятий.
2. Во время проведения лабораторных и практических занятий необходимо уяснить вопросы на самостоятельную проработку материала.
3. Подготовку к итоговой аттестации (зачету) необходимо проводить путем прочтения изучаемого раздела и затем письменного его изложения (по памяти) до достижения полного понимания и отображения в виде ответа на изучаемый вопрос.
4. Посещать лекционные занятия и аккуратно вести конспекты.



## 7. Оценочные средства

### 7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	ПК-1.1	Вопросы к зачету №1-60 Практические работы №1-4
1	ПК-1.2	Вопросы к экзамену №61-120 Практические работы №5-8

### 7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

**7.2.1. Практическая работа №1 «Определение нормальной скорости распространения пламени вблизи свечи зажигания»**

1 Цель работы. Овладеть практическими навыками определения нормальной скорости распространения пламени при отклонении начальных параметров топливно-воздушной смеси от стандартных условий.

2. Краткие сведения по работе.

2.1 При выполнении практической работы используются данные экспериментов, представленных в таблице 1.

2.2 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха и значения добавки водорода.

2.3 Исходные данные:

1. Стандартные условия: давление и температура, соответственно:  $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $T_0 = 27^\circ\text{C}$ .

2. Коэффициенты избытка воздуха,  $\alpha$ , приведены в таблице 1.

3. Степень сжатия,  $\epsilon$ , 7.

Таблица 1

Дополнительные параметры для определения скорости распространения пламени по зонам камеры сгорания

№п/п	$\alpha$	Ублиз, м/сек	Уудал, м/сек	Рблиз, МПа	Рудал, МПа	Vблиз, см <sup>3</sup>	Vудал, см <sup>3</sup>
1	1,37	2,31	8,01	1,54	2,12	135,2	171,6
2	1,31	2,78	8,91	1,55	2,44	135	160
3	1,24	3,41	9,83	1,54	2,77	136,3	152,7
4	1,185	3,77	10,61	1,53	3,25	136,7	147,6
5	1,13	4,05	11,49	1,53	3,72	137	144
6	1,055	4,31	12,65	1,54	3,8	137,5	139,9
7	1,0	4,5	13,14	1,53	3,66	137,9	139
8	0,94	4,58	13,68	1,52	3,46	138	137,8
9	0,9	4,62	13,9	1,51	3,43	138	137,3
10	1,035	4,46	12,86	1,53	3,7	138	139
11	1,085	4,32	12,29	1,53	3,76	137,3	140,4
12	1,33	2,7	8,55	1,54	2,31	135,4	164,6

Выполнение работы

3 Распространение пламени у свечи зажигания.

Воспламенение и сгорание в объеме на расстоянии 7 мм от свечи зажигания происходит в конце процесса сжатия при давлении  $P_{ближ}$ , МПа, и объеме  $V_{ближ}$ , см<sup>3</sup>. Распространение пламени происходит с нормальной скоростью,  $u_n$ .

3.1 Рассчитываем рабочий объем,  $V_h$ , полный объем двигателя,  $V_a$ , и, объем камеры сгорания,  $V_{кс}$ , по заданной степени сжатия 7 при диаметре цилиндра 85 мм, длине шатуна 115мм, радиусе кривошипа 57,5 мм.

$$V_h = h \cdot (\pi D^2 / 4), \text{ см}^3,$$

Где  $h$  – ход поршня, см;  $D$  – диаметр цилиндра, см.

Объем камеры сгорания при положении поршня в верхней мертвой точки

$$V_{кс} = V_h / (\varepsilon - 1), \text{ см}^3,$$

Полный объем двигателя определим как

$$V_a = V_{кс} + V_h.$$

3.2 Определяем начальные для процесса сгорания давление и температуру из условия, что сжатие происходит по политропному процессу  $P \cdot V^n = \text{const}$ .

Следовательно,  $T_{ближ} = T_0 \cdot (V_0 / V_{ближ})^{n-1}$ ;  $P_{ближ} = P_0 \cdot (V_0 / V_{ближ})^n$ .

Коэффициент политропы,  $n$ , для метановоздушной смеси примем равным 1,37.

3.3. По экспериментальным данным, рис.1, определяем значение нормальной скорости распространения пламени,  $U_0$ , соответствующее заданному коэффициенту избытка воздуха.

3.4. Определяем значение нормальной скорости распространения пламени для заданной степени сжатия по формуле

$$U_n = U_0 \cdot (T_{ближ} / T_0)^\delta \cdot (P_{ближ} / P_0)^\gamma,$$

где  $\delta = 1,8$ ,  $\gamma = -0,2$ .

3.5 Оформляется отчёт по результатам выполненной работы.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.2.** Практическая работа №2 «Определение турбулентной скорости распространения пламени вблизи свечи зажигания и в удалённой от неё зоне камеры сгорания»

#### **Краткое описание и регламент выполнения**

1 Цель работы. Овладеть практическими навыками определения турбулентной скорости распространения пламени по зонам камеры сгорания.

2. Краткие сведения по работе.

2.1 При выполнении практической работы используются данные экспериментов, представленных в таблице 1.

2.2 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха и значения добавки водорода.

2.3 Исходные данные:

1. Стандартные условия: давление и температура, соответственно:  $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ ,  $T_0 = 27^\circ \text{C}$ .

2. Коэффициенты избытка воздуха,  $\alpha$ , приведены в таблице 1.

3. Степень сжатия,  $\varepsilon$ , 7.

a	H	t1	t2	t3	Int1	Int2	Int3	tPz	Pz
1,387	0	7,97E-03	1,18E-02	9,46E-03	1,17E-03	8,69E-05	3,83E-05	1,17E-02	4,11E+00
1,263	0	7,02E-03	8,95E-03	7,94E-03	5,52E-04	1,49E-04	8,89E-05	8,77E-03	5,59E+00
1,136	0	6,26E-03	6,96E-03	6,96E-03	9,39E-04	2,49E-04	1,52E-04	7,34E-03	6,40E+00

1,015	0	5,56E-03	6,25E-03	6,05E-03	1,90E-03	3,75E-04	2,71E-04	6,30E-03	7,04E+00
0,945	0	5,35E-03	5,99E-03	5,94E-03	2,61E-03	4,48E-04	4,28E-04	6,24E-03	7,19E+00
1,568	0	1,00E-02	2,00E-02	2,00E-02	6,15E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,22E-02	2,57E+00
1,524	0	9,53E-03	2,00E-02	2,00E-02	8,77E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,28E-02	2,52E+00
1,089	0	4,51E-03	5,75E-03	5,16E-03	1,02E-03	2,21E-04	2,30E-04	6,24E-03	5,25E+00
1,166	0	4,81E-03	6,52E-03	5,56E-03	7,52E-04	1,57E-04	1,56E-04	6,94E-03	4,72E+00
1,009	0	4,14E-03	4,96E-03	4,73E-03	1,61E-03	3,16E-04	3,72E-04	5,72E-03	5,69E+00
1,253	0	5,23E-03	7,35E-03	6,08E-03	5,93E-04	9,37E-05	9,12E-05	7,69E-03	4,11E+00
1,353	0	5,59E-03	8,31E-03	6,67E-03	4,11E-04	4,10E-05	3,38E-05	8,46E-03	3,52E+00
0,969	0	4,00E-03	4,65E-03	4,57E-03	1,93E-03	3,68E-04	4,85E-04	5,60E-03	5,80E+00
1,455	0	6,59E-03	2,00E-02	2,00E-02	3,46E-04	0,00E+00	0,00E+00	9,08E-03	2,35E+00
1,562	0	7,17E-03	2,00E-02	2,00E-02	2,88E-04	0,00E+00	0,00E+00	8,04E-03	2,01E+00

2.4. Определяется скорость распространения пламени от свечи зажигания до электродов ионизационных датчиков (ИД) без добавки водорода и с заданными добавками водорода по формуле:

$$U_1 = L_1/t_1,$$

где  $U_1$  – средняя скорость турбулентного распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного на 7мм, м/с.

$$L_1 = 0,007\text{м},$$

2.5 Аналогично определяется скорость распространения до удалённого ИД.  $L_{\text{удал}} = 0,083\text{м},$

2.6 Полученные результаты окончательной обработки свести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты окончательной обработки,  $n = 600\text{об/мин}$

alfa	H	n, мин <sup>-1</sup>	I1, мка	I2, мка	U1, м/с	U2, м/с	Pz	tPz	tmx2

2.7 После обработки студентами 75% результатов построить графические зависимости:

$$I1 = f(\alpha, H), I2 = f(\alpha, H), U1 = f(\alpha, H), U2 = f(\alpha, H)$$

2.8 Провести сравнительный анализ полученных результатов обработки характеристик распространения пламени и сформулировать заключение.

2.9 Оформляется отчёт по результатам выполненной работы.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.3.** Практическая работа №3 «Определение ширины зоны турбулентного горения вблизи свечи зажигания и в основной фазе сгорания»

#### Краткое описание и регламент выполнения

1 Цель работы. Овладеть практическими навыками определения ширины зоны турбулентного горения скорости в начальной фазе распространения пламени.

2. Краткие сведения по работе.

2.1 При выполнении практической работы используются данные экспериментов, представленных в таблице 1.

2.2 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха и значения добавки водорода.

2.3 Исходные данные:

1. Стандартные условия: давление и температура, соответственно:  $P_0 = 0,1 \text{ Мпа}$ ,  $T_0 = 27^\circ \text{C}$ .
2. Коэффициенты избытка воздуха,  $\alpha$ , приведены в таблице 1.
3. Степень сжатия,  $\varepsilon$ , 7.

alfa	n, мин <sup>-1</sup>	УОЗ	I1	I2	tbeg1	tbeg2	tend1	tend2	Pz	tPz	tmx2
0,8593	605	14,6	120,5	78,46	0,0013	0,0068	0,003	0,008	1,05	0,009	0,0074
0,9978	593	14,5	99,83	65,3	0,0014	0,0068	0,003	0,008	1,05	0,009	0,0071
0,9459	575	13,5	137,8	92,65	0,0012	0,0065	0,003	0,007	1,08	0,009	0,0068
0,7811	605	14,2	133,7	90,09	0,0013	0,0071	0,003	0,008	0,969	0,01	0,0075
0,6952	604	14,4	48,64	38,63	0,0018	0,0088	0,005	0,01	0,687	0,013	0,0096
1,2328	605	14	79,83	52,65	0,0013	0,0066	0,003	0,008	1,02	0,009	0,007
1,191	605	14,1	106,3	70,26	0,0012	0,0065	0,003	0,007	1,08	0,009	0,0068
1,1759	605	14	115,8	75,9	0,0012	0,0065	0,003	0,007	1,08	0,009	0,0068
1,1866	604	13,9	118,5	76,75	0,0012	0,0065	0,003	0,007	1,08	0,009	0,0072
1,1884	605	13,9	124,7	80,17	0,0011	0,0065	0,003	0,007	1,09	0,009	0,0068

2.4. Определяется ширина зоны турбулентного горения вблизи свечи зажигания

$$L_{\text{зтг}} = U_1 \cdot (t_{\text{end1}} - t_{\text{beg1}}) - 0,76$$

где  $U_1 = L_1 / t_{\text{beg1}}$  – средняя скорость турбулентного распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного на 7мм, м/с,

$t_{\text{end}}$  и  $t_{\text{beg}}$  – промежутки времени, миллисекунды

$L_1 = 0,007 \text{ м}$ ; 0,76 – диаметр электрода датчика = 0,76мм

2.5 И в наиболее удалённой от неё зоны камеры сгорания по формуле:

$$L_{\text{зтг}} = U_2 \cdot (t_{\text{end2}} - t_{\text{beg2}}) - 0,76$$

2.6 Полученные результаты окончательной обработки свести в таблицу 2.

Таблица 2

alfa	n, мин <sup>-1</sup>	$L_{\text{зтг1}}$ , мм	$L_{\text{зтг2}}$ , мм	$U_1$ , м/с	$U_2$ , м/с

2.7 После обработки студентами 75% результатов построить графические зависимости:

$$L_{\text{зтг}} = f(\alpha)$$

2.8 Провести сравнительный анализ полученных результатов обработки и сформулировать заключение.

2.9 Оформляется отчёт по результатам выполненной работы.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.4. Практическая работа №4 «Определение характеристик сгорания при работе на альтернативных видах топлива»**

#### Краткое описание и регламент выполнения

1 Цель работы. Овладеть практическими навыками определения ширины зоны турбулентного горения скорости в начальной фазе распространения пламени при использовании химического активатора горения.

## 2. Краткие сведения по работе.

2.1 При выполнении практической работы используются данные экспериментов, представленных в таблице 1.

2.2 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха и значения добавки водорода.

### 2.3 Исходные данные:

1. Стандартные условия: давление и температура, соответственно:  $P_0 = 0,1 \text{ Мпа}$ ,  $T_0 = 27^\circ\text{C}$ .

2. Коэффициенты избытка воздуха,  $\alpha$ , приведены в таблице 1.

3. Степень сжатия,  $\varepsilon$ , 7.

2.4. Определяется ширина зоны турбулентного горения в наиболее удалённой от свечи зоны камеры сгорания по формуле:

$$L_{\text{зтг}} = U_2 \cdot \text{Int1} - 0,76$$

где  $U_2 = 12,76 / (t_3 - t_1)$  – скорость турбулентного распространения пламени между 1-ым и 3-им электродами датчика;

12,76 мм – расстояние между этими электродами;

$t_1$  и  $t_3$  – промежутки времени прохождения передней границей ЗТГ 1-го и 3-го электродов, миллисекунды

Int1 - промежуток времени прохождения зоной турбулентного горения 1-го электрода;

0,76 – диаметр электрода датчика = 0,76 мм

2.5 Провести сравнительный анализ полученных результатов обработки характеристик распространения пламени и сформулировать заключение.

2.6 Оформляется отчёт по результатам выполненной работы.

### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.5. Практическая работа №5 «Снижение концентрации несгоревших углеводородов за счёт изменения ширины зоны турбулентного горения»**

### Краткое описание и регламент выполнения

Целью практической работы является определение величины значения коэффициента избытка воздуха относительно заданного, при котором концентрация оксида азота уменьшится на 25%.

Задание выполняется с учетом изменения скорости распространения пламени, изменения конструкции камеры сгорания и объема завершения сгорания в промежуток времени до появления ионного тока в цепи датчика, установленного в наиболее удаленной от свечи зажигания зоне камеры сгорания для степени сжатия 7 и коэффициенте избытка воздуха, значения которого представлены в табл. 1.

Работа выполняется при отсутствии добавки водорода. Номер варианта соответствует номеру студента в журнале преподавателя.

## 2. Краткие сведения по работе.

2.1 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха.

2.2 Определение объема завершения сгорания в промежуток времени до появления ионного тока в цепи датчика, установленного в наиболее удаленной от свечи зажигания зоне камеры сгорания, производится следующим образом:

2.2.1 Определяется промежуток времени распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного ионизационного датчика (ИД) по формуле

$$\tau = 83 \cdot 10^{-3} / U_{\text{осн}}, \text{ с}$$

где  $U_{\text{осн}}$  – средняя скорость турбулентного распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного ИД, м/с.

Скорость распространения пламени,  $U_{\text{осн}}$ , представлена на рис. 1 и 2.

2.2.2 Определяется угол поворота коленчатого вала от верхней мертвой точки (ВМТ) за промежуток времени распространения пламени от свечи зажигания до электрода ИД

$$\Phi_{\text{ПКВ}} = \tau \cdot (6\pi),$$

Где  $\Phi_{\text{ПКВ}}$ , градус;  $\tau$ , секунда;  $(6\pi)$ , град/сек.

2.2.3 Рассчитывается объем сгорания,  $V_{\text{зс}}$ , относительно ВМТ по расчетному углу поворота коленчатого вала с учетом того, что минимальный объем двигателя,  $V_{\text{кс}}$ , (объем камеры сгорания) зависит от степени сжатия при постоянном объеме цилиндра,  $V_{\text{h}}$ , равного 0,652 л, длина шатуна составляет 115мм, радиус кривошипа,  $R$ , 57,5 мм.

$$V_{\text{зс}} = V_{\text{кс}} + \Delta V(\Phi_{\text{ПКВ}}),$$

где  $V_{\text{кс}} = V_{\text{h}}/(\varepsilon - 1)$ ,

$$\Delta V(\Phi_{\text{ПКВ}}) = \Pi(D^2/4) \cdot R(1 - \cos \Phi_{\text{ПКВ}})$$

Полный объем двигателя определим как

$$V_{\text{а}} = V_{\text{кс}} + V_{\text{h}}.$$

2.2.4 При обобщении результатов экспериментального исследования при сжигании метановоздушной смеси в условиях поршневого двигателя, рассмотрев параметры, определяющие температуру, количество свободного кислорода, располагаемое время процесса сгорания и расширения, изменения объемов работы двигателя, получена эмпирическая зависимость для расчета безразмерного параметра  $Sch$ , при определении концентрации NO в отработавших газах

$$Sch = \frac{U_{\text{осн}} \cdot \left( \frac{L_M}{D} \right)}{\alpha \sqrt{\alpha} \cdot W_{\text{п}}^{\text{cp}}} \cdot \frac{180 + \theta_3}{180} \cdot \frac{V_{\text{а}} - V_{\text{зс}}}{V_{\text{h}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{осн}}$  – средняя скорость распространения пламени в «основной» фазе сгорания,  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха,  $L_M$  – максимальное расстояние от свечи зажигания до самой удаленного участка КС по нормали к фронту пламени, 83мм,  $D$  – диаметр цилиндра, 85мм,  $W_{\text{п}}^{\text{cp}}$  – средняя скорость поршня,  $\theta_3$  – угол опережения зажигания,  $V_{\text{а}}$ ,  $V_{\text{зс}}$ ,  $V_{\text{h}}$  – полный объем, объем при котором сгорание завершается и рабочий объем цилиндра соответственно.

2.2.5 С учетом безразмерного параметра  $Sch$  получена следующая эмпирическая зависимость для определения концентрации NO в отработавших газах

$$C_{\text{NO}} = 5530 \ln(Sch) - 4400, \text{ ppm} \quad (2)$$

2.2.6 По данной формуле определяется концентрация оксида азота в ОГ для заданных и определенных выше параметров сгорания ТВС. Полученные данные сравнивают с представленной на рисунке 3 диаграммой.

2.2.7 По уменьшенному на 25% полученному расчётом значению концентрации оксида азота по формуле (2) определяем величину безразмерного критерия  $Sch$ .

2.2.8 Используя формулу (1) определяем искомое значение коэффициента избытка воздуха.

Таблица 1

№вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha$	0,9	1.0	1,05	1,10	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	0,95	1,17	1,22	1,27	1,32

Примечания: 1. Сохранение индикаторного КПД, в первом приближении можно оценивать по сохранению средней скорости распространения пламени.

2. Угол опережения зажигания можно изменять.

3. скорость распространения пламени можно изменять за счет увеличения пульсационной скорости или добавки водорода.

2.7 Выполнить сравнение полученного значения с экспериментальными данными.

2.8 После обработки результатов работы 75% студентов группы строится графическая зависимость  $C_{NO} = f(\alpha)$ .

2.9 Оформляется отчет о лабораторной работе.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.6. Практическая работа №6 «Определение концентрации оксида азота при сгорании в двигателе с искровым зажиганием»**

#### **Краткое описание и регламент выполнения**

1. Целью работы является определение концентрации оксида азота в отработавших газах по составу смеси

Задание выполняется с учетом изменения скорости распространения пламени, изменения конструкции камеры сгорания и объема завершения сгорания в промежуток времени до появления ионного тока в цепи датчика, установленного в наиболее удаленной от свечи зажигания зоне камеры сгорания для степени сжатия 7 и коэффициенте избытка воздуха, значения которого представлены в табл. 1.

Работа выполняется при отсутствии добавки водорода. Номер варианта соответствует номеру студента в журнале преподавателя.

2. Краткие сведения по работе.

2.1 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха.

2.2 Определение объема завершения сгорания в промежуток времени до появления ионного тока в цепи датчика, установленного в наиболее удаленной от свечи зажигания зоне камеры сгорания производится следующим образом:

2.2.1 Определяется промежуток времени распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного ионизационного датчика (ИД) по формуле

$$\tau = 83 \cdot 10^{-3} / U_{\text{осн}},$$

где  $U_{\text{осн}}$  – средняя скорость турбулентного распространения пламени от свечи зажигания до электрода удаленного ИД, м/с.

Скорость распространения пламени,  $U_{\text{осн}}$ , представлена на рис. 1 и 2.

2.2.2 Определяется угол поворота коленчатого вала от верхней мертвой точки (ВМТ) за промежуток времени распространения пламени от свечи зажигания до электрода ИД

$$\Phi_{\text{пкв}} = \tau \cdot (6n),$$

Где  $\Phi_{\text{пкв}}$ , градус;  $\tau$ , секунда;  $(6n)$ , град/сек.

2.2.3 Рассчитывается объем сгорания,  $V_{\text{зс}}$ , относительно ВМТ по расчетному углу поворота коленчатого вала с учетом того, что минимальный объем двигателя,  $V_{\text{кв}}$ , (объем камеры сгорания) зависит от степени сжатия при постоянном объеме цилиндра,  $V_h$ , равного 0,652 л, длина шатуна составляет 115мм, радиус кривошипа,  $R$ , 57,5 мм.

$$V_{\text{зс}} = V_{\text{кв}} + \Delta V(\Phi_{\text{пкв}}),$$

где  $V_{\text{кв}} = V_h / (\epsilon - 1)$ ,

$$\Delta V(\Phi_{\text{пкв}}) = \Pi(D^2/4) \cdot R(1 - \cos \Phi_{\text{пкв}})$$

Полный объем двигателя определим как

$$V_a = V_{\text{кв}} + V_h.$$

2.2.4 При обобщении результатов экспериментального исследования при сжигании метановоздушной смеси в условиях поршневого двигателя, рассмотрев параметры, определяющие температуру, количество свободного кислорода, располагаемое время процесса сгорания и расширения, изменения объемов работы двигателя, получена эмпирическая зависимость для расчета безразмерного параметра Sch, при определении концентрации NO в отработавших газах

$$Sch = \frac{U_{осн} \cdot \left( \frac{L_M}{D} \right)}{\alpha \sqrt{\alpha} \cdot W_{II}^{cp}} \cdot \frac{180 + \Theta_z}{180} \cdot \frac{V_a - V_{zc}}{V_h}, \quad (1)$$

где  $U_{осн}$  - средняя скорость распространения пламени в «основной» фазе сгорания,  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха,  $L_M$  – максимальное расстояние от свечи зажигания до самой удаленного участка КС по нормали к фронту пламени, 83мм,  $D$  – диаметр цилиндра, 85мм,  $W_{II}^{cp}$  – средняя скорость поршня,  $\Theta_z$  – угол опережения зажигания,  $V_a$ ,  $V_{zc}$ ,  $V_h$  – полный объем, объем при котором сгорание завершается и рабочий объем цилиндра соответственно.

2.2.5 С учетом безразмерного параметра Sch получена следующая эмпирическая зависимость для определения концентрации NO в отработавших газах

$$C_{NO} = 5530 \ln(Sch) - 4400, \text{ ppm} \quad (2)$$

2.2.6 По данной формуле определяется концентрация оксида азота в ОГ для заданных и определенных выше параметров сгорания ТВС. Полученные данные сравнивают с представленной на рисунке 3 диаграммой.

2.2.7 По уменьшенному на 25% полученному расчётом значению концентрации оксида азота по формуле (2) определяем величину безразмерного критерия Sch.

2.2.8 Используя формулу (1) определяем искомое значение коэффициента избытка воздуха.

Таблица 1

№вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\alpha$	0,9	1.0	1,05	1,10	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	0,95	1,17	1,22	1,27	1,32

Примечания: 1. Сохранение индикаторного КПД, в первом приближении можно оценивать по сохранению средней скорости распространения пламени.

2. Угол опережения зажигания можно изменять.

3. скорость распространения пламени можно изменять за счет увеличения пульсационной скорости или добавки водорода.

2.7 Выполнить сравнение полученного значения с экспериментальными данными.

2.8 После обработки результатов работы 75% студентов группы строится графическая зависимость  $C_{NO} = f(\alpha)$ .

2.9 Оформляется отчёт по практической работе.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.7.** Практическая работа №7 «Определение концентрации несгоревших углеводородов с учётом термохимических свойств топлива и характеристик распространения пламени»

#### Краткое описание и регламент выполнения



1. Цель работы - Определение концентрации несгоревших углеводородов с учётом термохимических свойств топлива и характеристик распространения пламени

2. Краткие сведения по работе.

2.1 Перед выполнением работы студенту необходимо освоить знания механизма образования несгоревших углеводородов при сгорании топливно-воздушной смеси в условиях поршневых энергетических установках.

2.2 Каждый студент получает для дальнейшей обработки значение коэффициента избытка воздуха.

2.3 В соответствии с материалами учебного пособия ( Шайкин А.П., Ивагин П.В., Галиев И.Р. Расчёт концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах ДВС. Самара 2014. 60 с.) определить концентрацию несгоревших углеводородов для заданного коэффициента избытка воздуха.

2.4 Выполнить сравнение полученного значения с экспериментальными данными.

2.5 После обработки результатов работы 75% студентов группы строится графическая зависимость  $C_{cha} = f(\alpha)$ .

2.6 Оформляется отчёт по практической работе.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

**7.2.8. Практическая работа №8 «Определение полноты сгорания топлива по концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах»**

#### **Краткое описание и регламент выполнения**

1 Целью практической работы является определение взаимосвязи концентрации несгоревших углеводородов и полноты сгорания ТВС

2. Краткие сведения по работе.

2.1 Рассматривается пример определения взаимосвязи концентрации несгоревших углеводородов и полноты сгорания при стехиометрическом составе ТВС

Пример Определить полноту сгорания бензовоздушной смеси при измеренной концентрации несгоревших СН в 400ppm на выходе из выпускной системы для работы двигателя на стехиометрической смеси.

1). Полнота сгорания оценивается в конце рабочего такта для определения количества топлива, используемого в индикаторной работе.

2). Полнота сгорания оценивается в конце такта выпуска для определения количества топлива, поступившего в выпускную систему.

Для выполнения расчета используются результаты исследования (См. лекции, красная книга) по распределению концентрации несгоревших углеводородов при сжигании топлива в ДВС и дожигании их в выпускном тракте и знаний основ технической термодинамики.

При работе на стехиометрической смеси изменение концентрации несгоревших СН в ДВС и выпускной системе оценивается следующим образом:

- масса СН, реагирующая в цилиндре в такте выпуска 38%,

- масса СН, реагирующая в выпускной системе, 10%.

Тогда концентрация СН, поступающая в выпускную систему, составит

$400\text{ppm} \cdot 1.1 = 440\text{ppm}$ ,

А в конце такта расширения

$440\text{ppm} \cdot 1,38 = 607,2\text{ppm}$ .

Концентрация несгоревших СН представлена в объемных долях от бензовоздушной смеси.

Следовательно, необходимо определить объемную долю бензина в ТВС данного состава.

При  $\alpha = 1$  1-му кг бензина соответствует 14,96 кг воздуха, а масса ТВС составит 15,96 кг. В объемных долях эти количества составляющих ТВС составят следующие величины, учитывая, что условная молекулярная масса бензина равна 115кг/Кмоль, воздуха 28,96кг/Кмоль.

Тогда  $V_{\text{ТВС}} = V_{\text{б}} + V_{\text{в}} = 1/115 + 14,96/28,96 = 0,0087 + 0,5156 = 0,5253$  Кмоль

Объемная доля бензина в этой смеси составит  $(1/115)/0,5253 = 0,0166$ ,

воздуха –  $(14,96/28,96)/0,5253 = 0,9834$

Определим долю несгоревших СН, поступающую в выпускную систему, от доли бензина в ТВС

440ppm соответствует 1 ТВС

Хppm соответствует 0,0166 бензина.

Отсюда доля несгоревших СН, поступающая в выпускную систему, от доли бензина в ТВС

$X = (440 \cdot 1)/0,0166 = 26506$ ppm или, так как ppm миллионная доля,

$X = 2,65\%$ .

Таким образом полнота сгорания, достигаемая к такту выпуска составляет,  $\eta_{\text{сгв}} \equiv 97,35\%$

Аналогичным образом определяется полнота сгорания в конце рабочего такта.

2.2 Самостоятельно определить полноту сгорания в конце такта расширения и такта выпуска по № варианта из таблицы 1, соответствующего номеру в журнале преподавателя. Оформить работу аналогично представленному примеру.

Таблица 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\alpha$	1,05	1,1	1,16	1,2	1,24	1,12	1,22	1,08	1,26	1,23	1,28	1,14
$C_{\text{СН}}$ , ppm	430	425	435	445	455	430	450	420	460	470	465	432

Построить в координатах  $\eta_{\text{г}} = f(\alpha)$  зависимость полноты сгорания в конце такта расширения и выпуска для расчетных точек.

Для определения процентного распределения концентрации несгоревших углеводородов в такте расширения и выпуска построить кривую по 3-м точкам из таблицы 2.

Таблица 2

$\alpha$	Концентрация СН в ОГ, ppm	Масса СН, реагирующая в цилиндре при выпуске, %	Масса СН, реагирующая в выхлопных газах, %
0,84	680	12	3
1,05	425	38	10
1,3	470	38	26

2.3 Оформить отчет о выполненной практической работе.

#### Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если практическая работа выполнена грамотно или имеет несущественные замечания, выполнен отчет по работе.

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если практическая работа не выполнена, имеет грубые ошибки, не подготовлен отчет.

### 7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

#### 7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_

№ п/п	Вопросы к экзамену (устно)
1.	Методы аналитического расчёта характеристик распространения пламени в поршневых двигателях
2.	Скорость химических реакций горения
3.	Цепные реакции горения водорода в воздухе
4.	Тепловое воспламенение: условие теплового воспламенения
5.	Время задержки самовоспламенения (воспламенения)
6.	Экспериментальные методы исследования воспламенения
7.	Распространение ламинарного пламени. Определения
8.	Горение в ламинарном потоке
9.	Теория нормальной скорости распространения пламени
10.	Ширина (толщина) зоны горения в ламинарном потоке
11.	Влияние начальной температуры на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
12.	Влияние начального давления на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
13.	Влияние состава смеси на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
14.	Влияние размеров щелей и зазоров в камерах сгорания для распространения ламинарного пламени
15.	Влияние скорости распространения ламинарного пламени на образование объёмных несгоревших углеводородов
16.	Влияние скорости распространения ламинарного пламени на образование пристеночных несгоревших углеводородов
17.	Ламинарная скорость горения как составляющая турбулентной скорости распространения пламени
18.	Хемионизация в углеводородовоздушном пламени
19.	Равновесная ионизация пламени
20.	Термоэмиссионный механизм образования свободных электронов в пламени
21.	Горение в турбулентном потоке
22.	Характеристики турбулентного потока и его параметры
23.	Критерии подобия, определяющие характер сгорания топливно-воздушной смеси
24.	Особенности турбулентного горения по сравнению с ламинарным
25.	Три вида ширины зоны турбулентного горения
26.	Мелкомасштабное и крупномасштабное воздействие турбулентности на горение
27.	Распространение пламени при сильной турбулентности
28.	Ход выгорания смеси в турбулентном пламени
29.	Протяженность зоны горения в потоке, ограниченном стенками
30.	Влияние начальной температуры на турбулентную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
31.	Влияние начального давления на турбулентную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
32.	Влияние состава смеси на турбулентную скорость распространения пламени и ширину

№ п/п	Вопросы к экзамену (устно)
	зоны горения
33.	Взаимосвязь скорости распространения пламени с ионным током при сгорании ТВС вблизи свечи зажигания
34.	Взаимосвязь скорости распространения пламени с ионным током при сгорании ТВС в зоне, удалённой от свечи зажигания
35.	Взаимосвязь ионного тока в зоне у свечи зажигания и в наиболее удалённой от неё зоне камеры сгорания
36.	Взаимосвязь скоростей распространения пламени в зоне у свечи зажигания и в наиболее удалённой от неё зоне камеры сгорания
37.	Особенности протекания процесса сгорания ТВС в двигателях с расслоением ТВС
38.	Изменение скорости распространения пламени по углу поворота коленчатого вала в двигателях с расслоением ТВС
39.	Взаимосвязь скорости распространения пламени с образованием несгоревших углеводородов в двигателях с расслоением ТВС
40.	Взаимосвязь скорости распространения пламени с образованием оксидов азота в двигателях с расслоением ТВС
41.	Влияние скорости распространения пламени на величину максимального давления сгорания
42.	Взаимосвязь величины ионного тока с максимальным давлением сгорания в зоне, наиболее удалённой от свечи зажигания
43.	Влияние размеров камеры сгорания на величину скорости распространения пламени и ширину зоны турбулентного горения
44.	Величины и зависимости скорости распространения пламени и времени горения в турбулентном потоке однородной смеси от параметров потока и состава смеси,
45.	Взаимосвязь ширины зоны турбулентного горения с характеристиками ионного тока в зоне горения
46.	Взаимосвязь ширины зоны турбулентного горения с характеристиками турбулентности
47.	Особенности протекания процесса сгорания в поршневом двигателе с искровым зажиганием.
48.	Особенности изменения турбулентности и скорости перемещения смеси по углу поворота коленчатого вала
49.	Три фазы распространения пламени в поршневом двигателе с внешним смесеобразованием
50.	Особенности протекания процесса сгорания в дизельном двигателе
51.	Фазы распространения пламени в дизельном двигателе
52.	Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик сгорания в двигателе с искровым зажиганием
53.	Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик сгорания в дизельном двигателе
54.	Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива
55.	Влияние добавки водорода в бензовоздушную смесь на скорость распространения пламени
56.	Влияние добавки водорода в бензовоздушную смесь на ширину зоны турбулентного горения
57.	Влияние добавки водорода в смесь природного газа на скорость распространения пламени
58.	Влияние добавки водорода в смесь природного газа на ширину зоны турбулентного горения

№ п/п	Вопросы к экзамену (устно)
59.	Характеристики распространения пламени в зоне вблизи свечи зажигания
60.	Характеристики распространения пламени в зоне наиболее удалённой от свечи зажигания
61.	Токсичные составляющие продуктов сгорания.
62.	Нормируемые токсичные выделения. Изменение норм токсичности во времени.
63.	Образование токсичных выделений при сжигании топлива в энергетических установках.
64.	Сравнение уровней токсичности вредных выбросов
65.	Образование оксида углерода и несгоревших углеводородов
66.	Образование термических оксидов азота
67.	Образование быстрых и топливных оксидов азота
68.	Образование твёрдых частиц
69.	Особенности образования оксида азота в двигателях и установках с искровым зажиганием
70.	Особенности образования твёрдых частиц в двигателях и установках с искровым зажиганием
71.	Особенности образования оксида углерода в двигателях и установках с искровым зажиганием
72.	Особенности образования несгоревших углеводородов в двигателях и установках с искровым зажиганием
73.	Особенности образования оксида азота в дизельных двигателях и установках
74.	Особенности образования оксида углерода в дизельных двигателях и установках
75.	Особенности образования несгоревших углеводородов в дизельных двигателях и установках
76.	Особенности образования твёрдых частиц в дизельных двигателях и установках
77.	Влияние конструктивных и режимных параметров поршневых двигателей и установок на образование твёрдых частиц в ОГ
78.	Влияние конструктивных и режимных параметров поршневых двигателей и установок на образование несгоревших углеводородов
79.	Влияние конструктивных и режимных параметров поршневых двигателей и установок на образование оксида азота в ОГ
80.	Влияние конструктивных и режимных параметров поршневых двигателей и установок на образование оксида углерода в ОГ
81.	Изменение конструкции камеры сгорания как метод снижения выделений несгоревших углеводородов в двигателях и установках с искровым зажиганием
82.	Изменение конструкции камеры сгорания как метод снижения выделений оксидов азота в двигателях и установках с искровым зажиганием
83.	Изменение конструкции камеры сгорания как метод снижения выделений оксидов азота в дизельных двигателях и установках
84.	Изменение конструкции камеры сгорания как метод снижения выделений несгоревших углеводородов в дизельных двигателях и установках
85.	Изменение конструкции камеры сгорания как метод снижения выделений оксида углерода в дизельных двигателях и установках
86.	Обеднение топливной смеси как направление снижения вредных выбросов в двигателях и установках с искровым зажиганием
87.	Снижение вредных выбросов за счёт газодинамических характеристик транспортного средства и снижения механических потерь в энергетической установке
88.	Метод рециркуляции отработавших газов, его преимущества и недостатки
89.	Способы совершенствования метода рециркуляции

<b>№ п/п</b>	<b>Вопросы к экзамену (устно)</b>
90.	Способы расслоения топливно-воздушной смеси в двигателях с искровым зажиганием
91.	Снижение выбросов несгоревших углеводородов при расслоении топливно-воздушной смеси
92.	Снижение выбросов оксидов азота при расслоении топливно-воздушной смеси
93.	Особенности сгорания альтернативных топлив: природный газ; пропан-бутан; водород
94.	Особенности распространения пламени при добавке водорода в топливно-воздушную смесь
95.	Принцип работы окислительного нейтрализатора
96.	Принцип работы восстановительного нейтрализатора
97.	Особенности работы 3-х компонентного нейтрализатора
98.	Нейтрализаторы для двигателей и энергетических установок с искровым зажиганием
99.	Нейтрализаторы для дизельных двигателей и энергетических установок
100.	Нейтрализаторы для двигателей и установок, работающих на бедных топливно-воздушных смесях
101.	Преимущества и недостатки применения нейтрализаторов
102.	Перспективные методы и способы улучшения токсических показателей поршневых двигателей и установок.
103.	Снижение концентрации вредных выбросов при использовании альтернативных видов топлива
104.	Снижение концентрации вредных выбросов при добавке водорода в бензовоздушную смесь
105.	Снижение концентрации вредных выбросов при добавке водорода в метановоздушную смесь
106.	Снижение концентрации выбросов несгоревших углеводородов при воздействии на рабочий процесс
107.	Снижение концентрации выбросов оксида углерода при воздействии на рабочий процесс
108.	Снижение концентрации выбросов оксидов азота при воздействии на рабочий процесс
109.	Изменение характеристик распространения пламени для снижения выбросов несгоревших углеводородов
110.	Изменение характеристик распространения пламени для снижения выбросов оксидов азота
111.	Изменение характеристик распространения пламени для снижения выбросов оксида углерода
112.	Изменение характеристик распространения пламени для снижения выбросов твёрдых частиц
113.	Способы снижения выбросов «объёмных» несгоревших углеводородов
114.	Снижение выбросов оксидов азота изменением угла опережения зажигания
115.	Снижение выбросов несгоревших углеводородов изменением угла опережения зажигания
116.	Расчётный метод определения направлений снижения выбросов несгоревших углеводородов с учётом термохимических свойств топлива и характеристик распространения пламени в двигателях с искровым зажиганием
117.	Расчётный метод определения направлений снижения выбросов несгоревших углеводородов с учётом изменения ширины зоны турбулентного горения в двигателях с искровым зажиганием
118.	Расчётный метод определения направлений снижения выбросов оксидов азота с учётом характеристик распространения пламени в двигателях с искровым зажиганием
119.	Методы снижения выбросов двуокиси углерода в поршневых двигателях и

№ п/п	Вопросы к экзамену (устно)
	энергетических установках
120.	Влияние методов снижения вредных выбросов на экономичность работы поршневых двигателей и энергетических установок

### 7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
1	Экзамен	«отлично»	заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой. Как правило, оценка "отлично" выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала
		«хорошо»	заслуживает студент обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания. Как правило, оценка "хорошо" выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебы и профессиональной деятельности
		«удовлетворительно»	заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой. Как правило, оценка "удовлетворительно" выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя
		«неудовлетворительно»	выставляется студенту, имеющему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Н. Д. Чайнов, Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков ; под ред. Н. Д. Чайнова	Конструирование двигателей внутреннего сгорания	Учебник	2023	ЭБС «Лань»
2	Петров, А. И.	Техническая термодинамика и теплопередача	Учебник	2023	ЭБС «Лань»
3	Суркин, В. И.	Основы теории и расчёта автотракторных двигателей	Учебное пособие	2022	ЭБС "Лань"
4	Крюков К. С.	Теория и конструкция силовых установок	Учебное пособие	2021	ЭБС "ZNANIUM.COM"
5	В. С. Курасов, В. В. Драгуленко	Теория двигателей внутреннего сгорания	Учебное пособие	2021	ЭБС "ZNANIUM.COM"
6	В. В. Вербицкий, В. С. Курасов, А. Б. Шепелев	Эксплуатационные материалы	Учебное пособие	2022	ЭБС «Лань»
7	Прокопенко, Н. И.	Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания	Учебное пособие	2021	ЭБС «Лань»
8	О. С. Логунова [и др.].	Обработка экспериментальных данных на ЭВМ	Учебник	2020	ЭБС "ZNANIUM.COM"
9	Логуновой О. С.	Представление и визуализация результатов научных исследований	Учебник	2020	ЭБС "ZNANIUM.COM"



<b>№ п/п</b>	<b>Авторы, составители</b>	<b>Заглавие (заголовок)</b>	<b>Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)</b>	<b>Год издания</b>	<b>Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС</b>
10	Алексеев Г. В., Леу А. Г.	Основы защиты интеллектуальной собственности	Учебное пособие	2020	ЭБС "Лань"

## 8.2. Дополнительная литература

<b>№ п/п</b>	<b>Авторы, составители</b>	<b>Заглавие (заголовок)</b>	<b>Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)</b>	<b>Год издания</b>	<b>Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС</b>
1	Суркин В. И.	Основы теории и расчета автотракторных двигателей	учебное пособие	2020	5
2	Наумов С. А.	Методика выполнения теплового и динамического расчетов двигателей	учебное пособие	2015	ЭБС "IPRbooks"
3	Косова Е. Н. [и др.]	Компьютерные технологии в научных исследованиях	учебное пособие	2015	ЭБС "IPRbooks"
4	Баландина Н. В.	Основы экспериментальных исследований	учебное пособие	2015	ЭБС "IPRbooks"
5	Федоров Ю. Н.	Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка	Учебно-практическое пособие	2018	2

### 8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- WebofScience [Электронный ресурс]: мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: ClarivateAnalytics, 2016–. – Режим доступа: apps.webofknowledge.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Scopus [Электронный ресурс]: реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004–. – Режим доступа: scopus.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Elibrary [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Москва: НЭБ, 2000–. – Режим доступа: elibrary.ru. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- SpringerLink [Электронный ресурс]: [база данных]. – Switzerland: SpringerNature, 1842–. – Режим доступа: link.springer.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- ScienceDirect [Электронный ресурс]: коллекция электронных книг издательства Elsevier. – Netherlands: Elsevier, 2018–. – Режим доступа: sciencedirect.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

### 8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows: WinPro 10 RUS Upgrd OLP NL Acdmc	договор № 757 от 04.07.2018, срок действия – бессрочно; контракт № 1653 от 14.12.2018, срок действия – бессрочно
2	Office Standard: Office Stdandard 2013 Russian OLP NL AcademicEdition	договор № 690 от 19.05.2015, срок действия – бессрочно
3	Антиплагиат	985/2016 от 06.10.2016
4	Mirapolis Human Capital Management	лицензионный договор № 234/10/21-К от 19.10.2021, срок действия – до 01.03.2022

### 8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Б-208. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	Стол�ы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, доска аудиторная (меловая), стул, ДВС Д-30-37, настенные плакаты, ДВС В-2, ДВС ЗиЛ 130, ДВС АЗЛК412, ДВС ВА31111, блок картер в сборе РПД, наглядное пособие "Шатуны", газотурбинный двигатель, редуктор ГТД, электрический стенд "Система охлаждения", электрический стенд "Система смазки", РПД, ДВС ВА3 2108,

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
		наглядное пособие "Коленчатые валы", наглядное пособие "Поршни" стеллажи с узлами и агрегатами ДВС
2	Б-209. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	Столы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский, кафедра, доска аудиторная (меловая), экран.
3	Б-212. Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	столы ученические, доска аудиторная, стол преподавательский, стулья ученические, сканер, шкаф книжный, ПК, доска аудиторная (меловая)
4	Б-214. Лаборатория "Газовая динамика"	стеллаж с наглядными пособиями, стеллаж с лабораторными пособиями, вакуумный привод, столы ученические двухместные (моноблоки), доска аудиторная, турбокомпрессор, вакуумная заслонка, вакуумметр, наглядные пособия, стол преподавательский, стул преподавательский.
5	Б-104. Учебно-моторный бокс	Столы ученические, стулья ученические, частотметр электроносчетный ЧЗ-34А, вольтметр универсальный В7-21, электронный тахометр ТЦ-3, топливный расходомер, весы, двигатель бензиновый ВА3-2114, тормозная установка MEZ Vsetin, ресивер, лавка мягкая, шкаф металлический, двигатель дизельный Д-37Б, индикатор МАИ-2А., манометровый стенд, манометр

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
		жидкостный, узел пожаротушения ОУ-3-ВСУ
6	Помещение для самостоятельной работы студентов (Г-401)	Столы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет