

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Б1.В.ДВ.01.02**  
(индекс дисциплины)

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Особенности сгорания в поршневых двигателях и установках

*(наименование дисциплины)*

по направлению подготовки (специальности)

**13.06.01 «Электро- и теплотехника»**

*(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)*

**«Тепловые двигатели»**

*(направленность (профиль)/специализация)*

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

**Распределение часов дисциплины по курсам и видам занятий (по учебному плану)**

Количество ЗЕТ	3						
Часов по РУП	108						
Виды контроля на курсах:	Экзамены	Зачеты	Курсовые проекты	Курсовые работы	Контрольные работы (для заочной формы обучения)		
		4					
	№№ курсов						
	1	2	3	4	5	6	Итого
ЗЕТ по семестрам				3			3
Лекции				4			4
Лабораторные							
Практические				4			4
Контактная работа				8			8
Сам. работа				100			100
Контроль							
Итого				108			108

Тольятти, 2020

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)

**Рецензирование рабочей программы дисциплины:**

- ☒ Отсутствует
- ☒ Учебная (рабочая) программа одобрена на заседании кафедры «Энергетические машины и системы управления» (протокол заседания № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).
- ☐ Рецензент

\_\_\_\_\_  
(должность, ученое звание, степень) (подпись) (И.О. Фамилия)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.**

**Информация об актуализации рабочей программы дисциплины:**

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**СОГЛАСОВАНО**

Заведующий кафедрой «Энергетические машины и системы управления»  
(выпускающей направление (специальность))

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. \_\_\_\_\_ Д.А. Павлов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой «Энергетические машины и системы управления»  
(разработавшей РПД)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. \_\_\_\_\_ Д.А. Павлов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**АННОТАЦИЯ**  
**дисциплины (учебного курса)**  
**Б1.В.ДВ.01.02 Особенности сгорания в поршневых двигателях и установках**

(индекс и наименование дисциплины (учебного курса))

**1. Цель и задачи изучения дисциплины (учебного курса)**

Цель – формирование и развитие у аспирантов необходимых компетенций для подготовки к научно-исследовательской и преподавательской деятельности в области поршневых тепловых двигателей и установках.

Задачи:

1. Изучение основных методов теоретических и научных исследований, применяемых в области профессиональной деятельности;
2. Изучение особенностей распространения пламени при изменении в течение нескольких миллисекунд температуры, давления, объема и турбулентности в камере сгорания поршневых тепловых двигателей и установок;
3. Освоение основных методологических подходов к исследованию характеристик распространения пламени, методов и устройств их изменения для повышения эффективности работы и снижения токсичности отработавших газов энергетических установок транспортных средств.

**2. Место дисциплины (учебного курса) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (учебный курс) относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть, дисциплины по выбору).

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина (учебный курс) – специальные дисциплины предыдущего уровня образования.

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины – научные исследования, подготовка к сдаче государственного экзамена, подготовка к сдаче кандидатских экзаменов.

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (учебному курсу), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<b>Формируемые и контролируемые компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>
- владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-	Знать: методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности при создании камер сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
1)	и низкую эмиссию вредных выделений в продуктах сгорания и их дальнейшей модернизации
	Уметь: оценивать и выбирать методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности при создании камер сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы и низкую эмиссию вредных выделений в продуктах сгорания и их дальнейшей модернизации.
	Владеть: владеть методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности при создании камер сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы и низкую эмиссию вредных выделений в продуктах сгорания и их дальнейшей модернизации.
Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2)	Знать: Современное состояние научных достижений в области теоретических и экспериментальных исследований по распространению пламени в камерах сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы и низкую эмиссию вредных выделений в продуктах сгорания, а также методов и устройств по их совершенствованию; методы поиска и оформления состояния результатов исследований в выбранном направлении с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
	Уметь: проводить работы по сбору материалов для критического анализа и оценки современных научных достижений в области теоретических и экспериментальных исследований по распространению пламени в камерах сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы и низкую эмиссию вредных выделений в продуктах сгорания, а также методов и устройств по их совершенствованию; методы поиска и оформления состояния результатов исследований в выбранном направлении с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий .
	Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий при выводах для критического анализа и оценки современных научных достижений в области теоретических и экспериментальных исследований по распространению пламени в камерах сгорания энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах и обеспечивающих высокую эффективность их работы и низкую эмиссию вредных выделений в про-

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
	дуктах сгорания, а также методами и устройствами по их совершенствованию; методами поиска и оформления состояния результатов исследований в выбранном направлении с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.
Готовностью организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4)	Знать: современные методы организации труда и этические нормы при проведении профессиональной деятельности научно-исследовательского коллектива при разработке и создании энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах.
	Уметь: следовать этическим нормам в профессиональной деятельности научно-исследовательского коллектива, выполняющего сложные теоретические и экспериментальные исследования при разработке и создании энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах.
	Владеть: навыками организации выполнения этических норм при участии в научной деятельности научно-исследовательского коллектива при разработке и создании энергетических установок транспортных средств нового поколения, работающих на традиционных и альтернативных топливах.
- способностью ориентироваться в полном спектре научных проблем профессиональной области (ПК-1)	Знать: современные методы организации труда в научно-исследовательском коллективе; достижения науки и передовые технологии в области тепловых двигателей
	Уметь: планировать работу научно-исследовательского коллектива в области профессиональной деятельности
	Владеть: навыками научной организации деятельности исследовательского коллектива

### Тематическое содержание дисциплины (учебного курса)

Раздел, модуль	Подраздел, тема
1 Введение. Основные понятия ламинарного и турбулентного горения	Общие сведения о курсе. Цели и задачи дисциплины. Характеристики распространения ламинарного пламени. Основные характеристики турбулентности. Распространение турбулентного пламени.
2 Особенности распространения пламени в поршневых энергетических установках	Экспериментальные методы исследования процессов сгорания. Двигатели и установки с искровым зажиганием; Дизельные двигатели и установки. Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик горения
3 Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива	Природный газ; пропан-бутан; водород; добавка водорода в бензовоздушную смесь и смесь природного газа с воздухом
4 Эмпирические методики определения скоростей распространения пламени и ширины зоны горения в	Определение составляющих турбулентной скорости распространения пламени и ширины зоны горения вблизи свечи зажигания и в наиболее удалённой от неё зоне камеры сгорания.

различных зонах камеры сгорания	
---------------------------------	--

**Общая трудоемкость дисциплины (учебного курса) – 3 ЗЕТ.**

#### 4. Структура и содержание дисциплины Особенности сгорания в поршневых двигателях и установках

##### Курс изучения 4

Раздел, модуль	Подраздел, тема	Виды учебной работы							Необходимые материально-технические ресурсы	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)	Рекомендуемая литература (№)	
		Контактная работа (в часах)					Самостоятельная работа					
		всего			в т.ч. в интерактивной форме	(+, -) Формы проведения лекций, лабораторных, практических занятий, методы обучения, реализующие применяемую образовательную технологию	в часах	формы организации самостоятельной работы				
		лекций	лабораторных	практических								
Раздел 1 1 Введение. Основные понятия ламинарного и турбулентного горения	Общие сведения о курсе. Цели и задачи дисциплины. Характеристики распространения ламинарного пламени. Основные характеристики турбулентности. Распространение турбулентного пламени.	1						25	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к написанию реферата.	Ноутбук, видеопроектор	Защита реферата (темы рефератов)	3-7, 10
Раздел 2 Особенности распространения пламени в поршневых энергетических установках	Экспериментальные методы исследования процессов сгорания. Двигатели и установки с искровым зажиганием; Дизельные двигатели и установки. Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик горения.	1		2				25	Самостоятельное изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям с подготовкой к написанию реферата.	Ноутбук, видеопроектор	Защита реферата (темы рефератов), отчёт по практическому занятию №1	2-10

<b>Раздел 3</b> Особенности процесса сгора- ния при исполь- зовании альтер- нативных видов топлива	Природный газ; про- пан-бутан; водород; добавка водорода в бензовоздушную смесь и смесь при- родного газа с возду- хом	1					25	Самостоятель- ное изучение теоретического материала по учебникам и учебным посо- биям с подго- товкой к напи- санию реферата.	Ноутбук, видеопро- ектор	Защита реферата (темы рефератов)	1-3, 5, 8- 10
<b>Раздел 4</b> Эмпирические методики опреде- ления скоростей распространения пламени и шири- ны зоны горения в различных зо- нах камеры сго- рания	Определение состав- ляющих турбулент- ной скорости распро- странения пламени и ширины зоны горения вблизи свечи зажига- ния и в наиболее уда- лённой от неё зоне камеры сгорания.	1		2			25	Самостоятель- ное изучение теоретического материала по учебникам и учебным посо- биям с подго- товкой к напи- санию реферата.	Ноутбук, видеопро- ектор	Защита реферата (темы рефератов), отчёт по практиче- скому за- нятию №2	1- 3, 5- 10
<b>Подготовка к экзамену</b>		4		4			100				
							<b>100</b>				
<b>Итого за семестр:</b>		<b>108</b>									



## 5. Критерии и нормы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Выполнение практических работ № 1-2	Наличие отчета по практической работе	<p><b>«зачтено»</b> – программа практических работ выполнена в полном объеме, изложение теоретического материала ясное, четкое, последовательное, используемая терминология корректна, ошибки не влияют на общее понимание темы практической работы;</p> <p><b>«не зачтено»</b> – программа практических работ не выполнена или выполнена не в полном объеме, при изложении теоретического материала допущены принципиальные ошибки, используемая терминология некорректна.</p>

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет, устно	Для допуска к зачету необходимо защитить реферат и отчёты по практическим занятиям	«зачтено»	Оценки "зачтено" заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.
		«не зачтено»	Оценка "не зачтено" выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка "не зачтено" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## 6. Критерии и нормы оценки курсовых работ (проектов)

Данный раздел не предусмотрен учебным планом.

## 7. Примерная тематика письменных работ (курсовых, рефератов, контрольных, расчетно-графических и др.)

№ п/п	Темы рефератов
1	Экспериментальные методы исследования горения в поршневых двигателях и установках
2	Горение в ламинарном потоке
3	Характеристики турбулентного потока и его параметры
4	Горение в турбулентном потоке
5	Хемионизация и термоионизация в углеводородовоздушном пламени
6	Особенности протекания процесса сгорания в поршневом двигателе с искровым зажиганием.
7	Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик сгорания
8	Особенности протекания процесса сгорания в дизельном двигателе
9	Влияние добавки водорода в бензовоздушную смесь на характеристики распространения пламени
10	Влияние добавки водорода в смесь природного газа на характеристики распространения пламени
11	Взаимосвязь характеристик распространения пламени с ионным током хемионизации при сгорании бензовоздушной и метановоздушной смеси
12	Взаимосвязь характеристик распространения пламени с ионным током хемионизации при сгорании бензовоздушной и метановоздушной смеси при добавке водорода в ТВС
13	Характеристики распространения пламени вблизи свечи зажигания и в зоне, наиболее удалённой от свечи зажигания
14	Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива

## 8. Вопросы к зачёту

№ п/п	Вопросы
1	Цепные реакции горения водорода в воздухе
2	Тепловое воспламенение: условие теплового воспламенения
3	Время задержки самовоспламенения (воспламенения)
4	Экспериментальные методы исследования воспламенения
5	Распространение ламинарного пламени. Определения
6	Горение в ламинарном потоке
7	Теория нормальной скорости распространения пламени

8	Ширина (толщина) зоны горения в ламинарном потоке
9	Влияние начальной температуры смеси на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
10	Влияние давления смеси на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
11	Влияние состава смеси на нормальную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
12	Влияние начальной температуры смеси на турбулентную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
13	Влияние давления смеси на турбулентную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
14	Влияние состава смеси на турбулентную скорость распространения пламени и ширину зоны горения
15	Хемионизация в углеводородовоздушном пламени
16	Равновесная ионизация пламени
17	Термоэмиссионный механизм образования свободных электронов в пламени
18	Горение в турбулентном потоке
19	Характеристики турбулентного потока и его параметры
20	Особенности турбулентного горения по сравнению с ламинарным
21	Зависимость изменения турбулентных пульсаций от конструкции камер сгорания
22	Зависимость изменения турбулентных пульсаций от скоростного режима работы двигателя
23	Особенности протекания сгорания ТВС в двигателях с расслоением ТВС
24	Мелкомасштабное и крупномасштабное воздействие турбулентности на горение
25	Распространение пламени при сильной турбулентности
26	Ход выгорания смеси в турбулентном пламени
27	Протяженность зоны горения в потоке, ограниченном стенками
28	Величины и зависимости скорости распространения пламени и времени горения в турбулентном потоке однородной смеси от параметров потока и состава смеси,
29	Взаимосвязь ширины зоны турбулентного горения с характеристиками турбулентности
30	Особенности протекания процесса сгорания в поршневом двигателе с искровым зажиганием.
31	Три фазы распространения пламени в поршневом двигателе с внешним смесеобразованием
32	Особенности протекания процесса сгорания в дизельном двигателе
33	Влияние конструкции камеры сгорания на изменение характеристик сгорания
34	Взаимосвязь характеристик сгорания с ионным током в пламени

35	Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива
36	Влияние добавки водорода в бензовоздушную смесь на характеристики распространения пламени
37	Влияние добавки водорода в смесь природного газа на характеристики распространения пламени
38	Характеристики распространения пламени в зоне вблизи свечи зажигания
39	Характеристики распространения пламени в зоне наиболее удалённой от свечи зажигания
40	Методы аналитического расчёта характеристик распространения пламени в поршневых двигателях

## **9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Особенности сгорания в поршневых двигателях и установках»**

### **9.1. Паспорт фонда оценочных средств по учебному курсу**

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или ее части)</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
1	Введение. Основные понятия ламинарного и турбулентного горения	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4	Темы рефератов
2	Особенности распространения пламени в поршневых энергетических установках	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ПК-1	Темы рефератов, отчёт по практическому занятию №1
3	Особенности процесса сгорания при использовании альтернативных видов топлива	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ПК-1	Темы рефератов
4	Эмпирические методики определения скоростей распространения пламени и ширины зоны горения в различных зонах камеры сгорания	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ПК-1	Темы рефератов, отчёт по практическому занятию №2

### **9.2 Практические занятия**

**Экспериментальное оборудование, использовавшееся для исследования взаимосвязи токсичности отработавших газов (ОГ) с характеристиками процесса сгорания в энергетической установке с искровым зажиганием, на результатах которых составлены задания по выполнению практических работ**

Исследование характеристик распространения пламени и взаимосвязи их с концентрацией СН и NO в ОГ, проводилось на экспериментальном стенде, основу которого составляла установка для определения октановых чисел УИТ-85, оборудованный системой подачи бензина или природного газа (с содержанием метана более 95%) и водорода. Для определения концентрации СН в ОГ использовался микропроцессорный газоанализатор «АВТОТЕСТ-02 CO-CO<sub>2</sub>-CH-O<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>-α-T» фирмы «МЕТА».

Для изучения процесса горения в камеру сгорания УИТ-85 были установлены ионизационные датчики (ИД). Схема установки ИД в КС показана на рисунке 1.

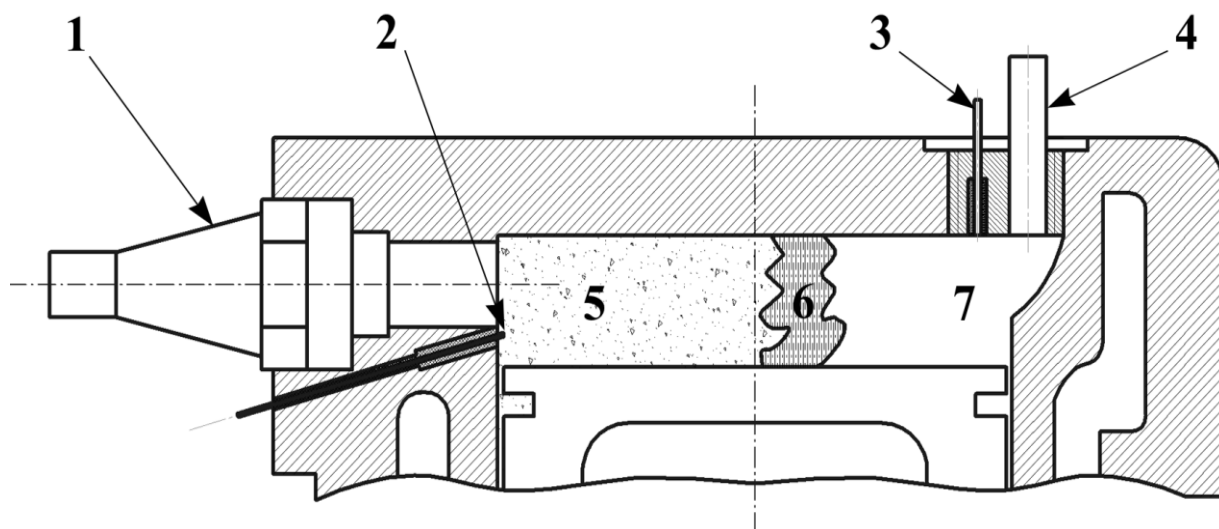


Рисунок 1 – Схема камеры сгорания с датчиками ионизации:

1 – свеча зажигания; 2 – ИД №1; 3 – ИД №2; 4 – датчик давления ДМВГ-50;

5 – продукты сгорания; 6 – фронт пламени; 7 – несгоревшая ТВС

ИД установлены в двух зонах КС: около свечи зажигания (ИД №1) и в максимально удаленной от свечи зажигания зоне (ИД №2). Первый ИД был установлен на расстоянии 7 мм от свечи зажигания, второй ИД был установлен рядом с датчиком давления в диаметрально противоположной от свечи зажигания зоне на расстоянии 80 мм от свечи зажигания. Таким образом, в данном эксперименте с помощью регистрации ионного тока оценивалась локальная (около свечи зажигания) и средняя (за время от искрового разряда до появления сигнала на удаленном зонде) скорости распространения пламени.

В результате испытаний получены серии осциллограмм на каждом режиме испытаний. Осреднённый сигнал оценивался по следующим параметрам: 1) промежутку времени от начала зажигания до возникновения импульса ионного тока на ИД, расположенном у свечи зажигания ( $t_1$ ) и на ИД удаленном от неё ( $t_2$ ); 2) амплитуде сигнала ионного тока на ИД, расположенном у свечи зажига-

ния ( $I_1$ ) и на ИД удаленном от неё ( $I_2$ ); 3) длительности сигналов импульса ионного тока на ИД, расположенном у свечи зажигания ( $t_{c1}$ ) и на ИД, расположенном в самой удаленной от свечи зажигания зоне КС ( $t_{c2}$ ); 4) времени возникновения в цилиндре ДВС максимума давления ( $t_{pmax}$ ); 5) величине максимального давления в цилиндре ДВС ( $P_z$ ).

Варьируемыми факторами являлись состав ТВС (от 0,7 до 1,6) и доля добавляемого водорода в топливо, составляющая 29, 47 и 58% (по объему). Работа установки УИТ-85 осуществлялась со степенью сжатия 7, угле опережения зажигания (УОЗ) равном  $13^0$  и на скоростных режимах 600 и 900 об/мин. При изменении одного из варьируемых факторов, менялся и вид осредненного импульса. Пример «осредненной» осциллограммы показан на рисунке 3.2. Анализ осциллограммы показывает, что данные полученные с ИД, расположенного у свечи зажигания, соответствовали первой фазе сгорания, а информация о процессах во второй фазе сгорания была получена ИД, удаленным от свечи зажигания. Поскольку известно, что первая фаза соответствует времени от момента возникновения искры до точки отделения линии сгорания от линии сжатия, а вторая фаза – это время от окончания 1-ой фазы до пика давления на индикаторной диаграмме.

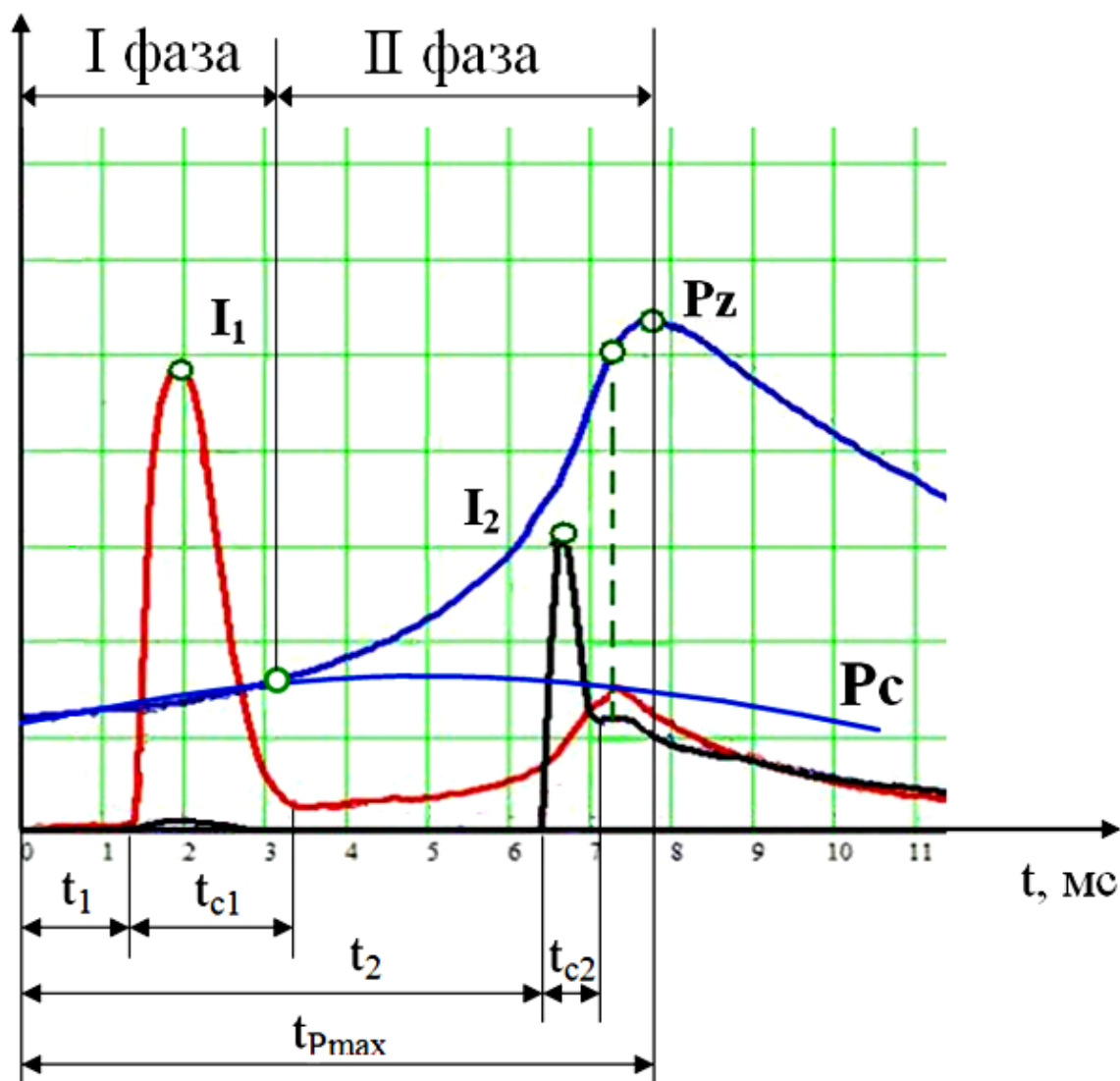


Рисунок 2 – Осредненная осциллограмма импульсов ионного тока и давления:  $t_1$ ,  $t_2$  – промежутки времени от начала зажигания до появления ионного тока на ИД, расположенного у свечи зажигания и до появления ионного тока на ИД, расположенного в самой удаленной от свечи зажигания зоне КС, соответственно;  $I_1$ ,  $I_2$  – исходный сигнал с ИД, расположенного у свечи зажигания и с ИД, расположенного в самой удаленной от свечи зажигания зоне КС, соответственно;  $t_{c1}$ ,  $t_{c2}$  – длительность сигналов импульса ионного тока на ИД, расположенного у свечи зажигания и на ИД, расположенного в самой удаленной от свечи зажигания зоне КС, соответственно;  $t_{Pmax}$  – время возникновения в цилиндре ДВС максимума давления;  $P_z$  – пик давления в цилиндре ДВС;  $P_c$  – линия сжатия



При проведении лабораторных работ по определению характеристик распространения пламени вблизи стенки камеры сгорания вместо ионизационного датчика с датчиком давления монтируется 3-х электродный датчик, см. рисунок 3.

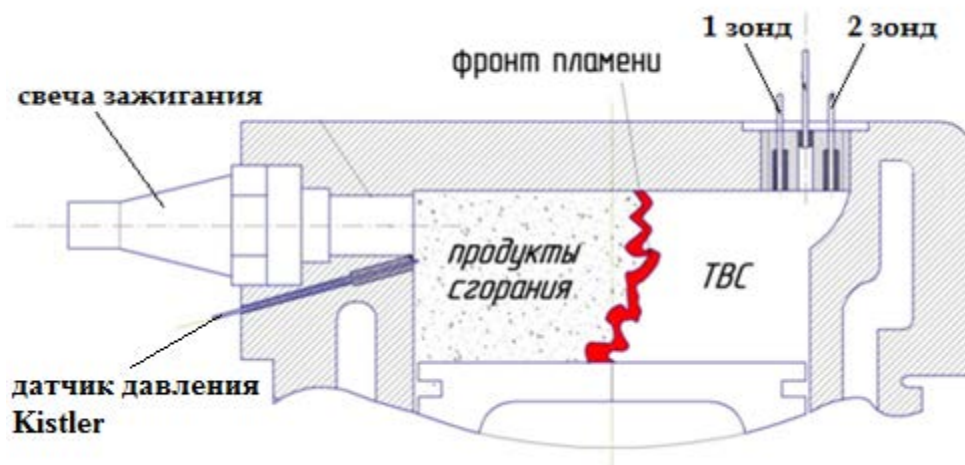


Рисунок 3 – Схема камеры сгорания с датчиками ионизации  
(со свечей зажигания совмещен датчик давления Kistler)

В этой конструкции датчика один из электродов устанавливался в колодце, чтобы исключить влияние турбулентности на распространение пламени.

При обработке испытаний параметры по времени и ионного тока обозначались  $t_1$  и  $I_1$  для первого зонда,  $t_2$  и  $I_2$  для зонда в колодце и  $t_3$  и  $I_3$  для третьего зонда (на рис.2 обозначен как 2-ой зонд)

### Практическое занятие № 1

Определение нормальной скорости распространения пламени вблизи свечи зажигания при использовании бензовоздушной смеси.

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	$\alpha$	U ближ, м/сек	U удал, м/сек	Pб лиж, МПа	Pу дал, МПа	Vбл иж, см <sup>3</sup>	Vуда л, 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  $P_{\text{ближ}}$ , МПа, и объеме  $V_{\text{ближ}}$ , 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,  $V_{\text{кс}}$ , по заданной степени сжатия 7 при диаметре цилиндра 85 мм, длине шатуна 115 мм, 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

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

Полный объем двигателя определим как

$$V_a = V_{\text{кс}} + V_h.$$

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

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

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

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.

## Практическое занятие № 2

Определение ширины зоны турбулентного горения в основной фазе сгорания при использовании бензоводородовоздушной смеси.

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.

Таблица 1 результаты предварительной обработки, $n = 900 \text{ об/мин}$ ; бензин									
a	H	t1	t2	t3	Int1	Int2	Int3	tPz	Pz
1,389	0,058	6,19E-03	7,87E-03	7,10E-03	3,33E-04	7,58E-05	4,89E-05	8,26E-03	5,38E+00
1,561	0,059	6,82E-03	9,08E-03	7,91E-03	2,14E-04	2,26E-05	1,81E-05	9,56E-03	4,67E+00
0,985	0,035	3,73E-03	4,22E-03	4,27E-03	1,61E-03	3,27E-04	4,17E-04	5,15E-03	5,79E+00
1,063	0,033	3,83E-03	4,51E-03	4,40E-03	1,26E-03	2,73E-04	3,03E-04	5,30E-03	5,64E+00
1,164	0,033	4,08E-03	5,03E-03	4,68E-03	9,26E-04	2,03E-04	2,21E-04	5,64E-03	5,36E+00
1,257	0,032	4,34E-03	4,84E-03	4,98E-03	6,38E-04	1,39E-04	1,57E-04	6,17E-03	4,94E+00
1,323	0,03	4,41E-03	5,14E-03	5,07E-03	5,71E-04	1,19E-04	1,41E-04	6,39E-03	4,77E+00
1,449	0,031	4,95E-03	6,76E-03	5,75E-03	3,39E-04	4,67E-05	5,50E-05	7,31E-03	4,01E+00
1,217	0,052	4,05E-03	4,29E-03	4,64E-03	7,56E-04	1,58E-04	1,83E-04	5,59E-03	5,25E+00
1,342	0,053	4,37E-03	5,14E-03	5,01E-03	4,73E-04	9,64E-05	1,15E-04	6,29E-03	4,71E+00
1,067	0,055	3,66E-03	4,20E-03	4,21E-03	1,50E-03	2,81E-04	3,60E-04	5,01E-03	5,74E+00

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 = 0,76мм

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.

### **10. Образовательные технологии и методические указания по освоению дисциплины (учебного курса)**

Для оценки знаний, умения и уровня профессиональных компетенций, приобретаемых аспирантом в процессе изучения дисциплины «Особенности сгорания в поршневых двигателях и установках», используются технологии традиционного обучения:

- лекции;
- индивидуальные и групповые консультации по теоретическим и практически вопросам курса;
- проведение различных форм самостоятельной работы, которая включает подготовку к лекционным занятиям, оформление реферата и подготовка его презентации к защите.

## 11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (учебного курса)

### 11.1. Обязательная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум и др.)	Количество в библиотеке
1	Бортников Л.Н. Альтернативные топлива. Современные вопросы применения водорода в поршневых ДВС: учебное пособие / Бортников Л.Н., Павлов Д.А., Шайкин А.П., Дерячев А.Д.; Самарский научный центр РАН, Самара. 2016. 159 с.: ил. ISBN 978-5-93424-772-1	Учебное пособие	15
2	Шайкин А.П. Расчет концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах ДВС (учебное пособие) / Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р.; Самарский научный центр РАН, Самара. 2014. 60 с.: ил. ISBN 978-5-93424-720-2	Учебное пособие	14
3	Кавтарадзе Р. З. Теория поршневых двигателей: спец. Гл. : учеб. Для студ. Вузов, обучающихся по спец. «Двигатели внутреннего сгорания» / Р. З. Кавтарадзе. – Гриф УМО. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 719 с.: ил. – Библиогр.: с. 679-700. – Предм. Указ.: с. 701-705. – Имен. Указ.: с. 706-713.	Учебник	25
4	Смоленский В.В. Конструкция и эксплуатационные свойства автомобильных ДВС: учебное пособие / Смоленский В.В. Дзюбан А.М., Смоленская Н.М.; Самарский научный центр РАН, Самара. 2017. 155 с.: ил. ISBN 978-5-93424-790-5	Учебное пособие	20
5	Шайкин А.П. Характеристики распространения пламени и их влияние на образование несгоревших углеводородов и оксида азота в отработавших газах при добавке водорода в топливно-воздушную смесь энергетических установок с искровым зажиганием: (научная монография) / Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р., Дерячев А.Д. Самарский научный центр РАН, Самара. 2016. 259 с.: ил. ISBN 978-5-93424-771-4	Монография	2

## 11.2. Дополнительная литература и учебные материалы (аудио-, видеопособия и др.)

- фонд научной библиотеки ТГУ:

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум и др.)	Количество в библиотеке
5	Шайкин А.П. Характеристики распространения пламени и их влияние на образование несгоревших углеводородов и оксида азота в отработавших газах при добавке водорода в топливно-воздушную смесь энергетических установок с искровым зажиганием: (научная монография) /Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р., Дерячев А.Д. Самарский научный центр РАН, Самара. 2016. 259 с.: ил. ISSN 978-5-93424-771-4	Монография	2
6	Шарогразов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория и рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Под ред. Засл. Деят. Науки Б.А. Шароглазова. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2006. – 382 с.	Учебник	25
7	<b>Двигатели внутреннего сгорания:</b> учеб. для вузов. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина [и др.]. – Изд. 3-е, перераб. И испр. – Москва : Высш. Шк., 2007. – 479 с. : ил. – Библиогр.: с. 476.	Учебник	49

- другие фонды:

№ п/п	Библиографическое описание	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, аудио-, видеопособия и др.)	Место хранения (методический кабинет кафедры, городские библиотеки и др.)
8	Автомобильная промышленность	Периодический журнал	Сайт: mash-in.ru
9	Двигателестроение	Периодический журнал	Сайт: rdiesel.ru
10	Журнал автомобильных инженеров	Периодический журнал	сайт журнала: sae-press.ru

СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки \_\_\_\_\_ А.М. Асаева  
(подпись) (И.О. Фамилия)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

МП

### 11.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

- Научная электронная библиотека: <https://elibrary.ru/>
- Электронная библиотека: <http://www.bibliotekar.ru/ekonomika.htm>
- Официальный сайт Российской государственной библиотеки: <https://www.rsl.ru/>
- Официальный сайт компании Консультант-плюс: <http://www.consultant.ru/>

### 11.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Количество лицензий	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows	1398	№619935341, 2013 г. бессрочный
2	Office Standart	1398	№61935138 от 28.05.2012 бессрочный

### 11.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
1	Лаборатория "Анализа ГСМ (УИТ-85)"	Столы ученические, стол преподавательский, стулья, шкаф вытяжной для хранения лаб. посуды и ГСМ, шкаф вытяжной с подводом и сливом воды, лабораторная установка УИТ-85, верстак железный, шкаф для лаб. посуды, стелаж металлический.	445020 Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14г, корпус Б, позиция по ТП № 14,15, 1 этаж, (Б-102)	38,8	5
2	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная ауди-	Столы 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,	445020 Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14г, корпус Б, позиция по ТП № 10, 2 этаж, (Б-208)	95,9	40



№ п/п	Наименование оборудо- ванных учебных кабине- тов, лабораторий, ма- стерских и др. объектов для проведения практи- ческих и лабораторных занятий	Перечень основного обо- рудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, ма- стерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	тория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	наглядное пособие "Шатуны", газотурбинный двигатель., редуктор ГТД, электрический стенд "Система охлаждения"., электрический стенд "Система смазки", РПД, ДВС ВАЗ 2108, наглядное пособие "Коленчатые валы", наглядное пособие "Поршни" стеллажи с узлами и агрегатами ДВС			
3	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 (моно-блоки), стол преподавательский, стул преподавательский, кафедра, доска аудиторная (меловая)	445020 Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14г, корпус Б, позиция по ТП № 24, 2 этаж, (Б-211)	66,6	48
4	Компьютерный класс. Помещение для самостоятельной работы. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения	Столы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет	445020 Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, позиция по ТП № 48, 4 этаж, (Г-401)	84,8	16

№ п/п	Наименование оборудо- ванных учебных кабине- тов, лабораторий, ма- стерских и др. объектов для проведения практи- ческих и лабораторных занятий	Перечень основного обо- рудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, ма- стерских и др.	Площадь, м <sup>2</sup>	Количество посадочных мест
	групповых и индиви- дуальных консульта- ций. Учебная аудито- рия для проведения занятий текущего контроля и промежу- точной аттестации.				