

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Шестаковская Е. С.	
Пользователь: shestakovskaaes	
Дата подписания: 28.04.2022	

Е. С. Шестаковская

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.М3.03 Теория горения  
для направления 03.04.01 Прикладные математика и физика  
уровень Магистратура  
магистерская программа Физическая и химическая механика сплошных сред  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Вычислительная механика**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению  
подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика, утверждённым приказом  
Минобрнауки от 07.08.2020 № 898

Зав.кафедрой разработчика,  
к.физ.-мат.н., доц.

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Шестаковская Е. С.	
Пользователь: shestakovskaaes	
Дата подписания: 28.04.2022	

Е. С. Шестаковская

Разработчик программы,  
старший преподаватель

ЮУрГУ	Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП	
Кому выдан: Пигасов Е. Е.	
Пользователь: pigasovesh	
Дата подписания: 28.04.2022	

Е. Е. Пигасов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель курса «Теория горения» - подготовка научных работников, для которых овладение методами теоретических расчетов в области физики и химии горения является необходимым элементом профессиональной подготовки. Конкретные задачи курса сводятся к следующему: 1. Овладение основными теоретическими представлениями и методами теории воспламенения, зажигания и распространения волн горения в газообразных и конденсированных реагирующих средах, гомогенного и гетерогенного горения. 2. В процессе изучения данного курса студент должен усвоить основные теоретические и методические принципы современной теории горения и научиться применять их на практике для выполнения практических расчетов процессов горения.

## Краткое содержание дисциплины

Введение в физику горения. Основы химической кинетики. Введение в макроскопическую кинетику. Введение в химическую термодинамику и термохимию. Теория воспламенения. Теория зажигания. Теория распространения волн горения. Горение конденсированных веществ.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов механики сплошных сред	Знает: подходы и методы теории горения Имеет практический опыт: применения современных программных средств и методов математического моделирования при решении задач теории горения

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Тепломассообмен	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Тепломассообмен	Знает: основные понятия и законы процессов тепломассообмена Умеет: Имеет практический опыт: решения задач тепломассообмена

## 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 64,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	69,5	69,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Выполнение домашних заданий	49,5	49,5	
Подготовка к экзамену	10	10	
Подготовка к устным опросам	10	10	
Консультации и промежуточная аттестация	10,5	10,5	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в физику горения	1	1	0	0
2	Основы химической кинетики	16	8	8	0
3	Введение в макроскопическую кинетику	4	2	2	0
4	Введение в химическую термодинамику и термохимию	3	1	2	0
5	Теория воспламенения	18	8	10	0
6	Теория зажигания	12	6	6	0
7	Теория распространения волн горения	6	4	2	0
8	Горение конденсированных веществ	4	2	2	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Краткая история науки о горении. Основные представления теории горения: понятие горения, критические явления, критические условия, явления самораспространения пламени. Основные процессы горения: гомогенное, гетерогенное горение и их разновидности.	1
1-2	2	Основные представления химической кинетики: открытые и замкнутые системы, гомогенные и гетерогенные реакции, простые и сложные реакции, стехиометрическое уравнение реакции, скорость химической реакции, закон действующих масс. Молекулярность элементарной реакции. Константа скорости реакции, закон Аррениуса. Энергия активации. Понятие об	2

		активированном комплексе. Химическое равновесие, константа равновесия. Подвижность состояния равновесия химической реакции.	
2-3	2	Формальная кинетика простых и сложных реакций. Реакции первого, второго и третьего порядка и их кинетические закономерности. Общие методы определения порядка реакции. Кинетика поверхностных реакций. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующая стадия сложной реакции.	2
3-4	2	Катализитические реакции. Автокатализитические реакции. Цепные реакции. Зарождение, разветвление, продолжение и обрыв цепей. Неразветвленные цепные реакции, реакция хлорирования водорода.	2
4-5	2	Разветвленные цепные реакции, реакция окисления водорода. Цепное воспламенение. Три предела воспламенения водорода и их механизмы. Цепные реакции с энергетическим разветвлением цепей, реакция фторирования водорода.	2
5-6	3	Основные понятия макрокинетики. Подобие процессов диффузии и теплопередачи. Законы Фурье и Фика. Тепло- и массообмен в условиях свободной и вынужденной конвекции. Коэффициенты переноса. Критерии подобия теории тепломассообмена. Уравнения связи между критериями. Реакция первого порядка. Сложение сопротивлений. Диффузионная и кинетическая области гетерогенной реакции.	2
6	4	Введение в химическую термодинамику и термохимию. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия. Методы расчета теплового эффекта.	1
7	5	Математическая постановка задач в теории воспламенения. Преобразование Франк-Каменецкого. Методы обезразмеривания уравнений теории воспламенения. Критерии подобия теории воспламенения.	2
8	5	Теория теплового самовоспламенения Н.Н. Семенова. Стационарная теория теплового воспламенения Д.А. Франк-Каменецкого. Аналитическое решение для плоского слоя и цилиндра. Сопоставление с результатами численного анализа.	2
9	5	Краевая задача теории теплового воспламенения. Адиабатический тепловой взрыв.	2
10	5	Нестационарная теория теплового воспламенения. Численный анализ задачи о тепловом взрыве.	2
11	6	Несимметричное воспламенение в плоской щели. Задача о переходе от воспламенения к зажиганию. Методы зажигания. Математическая постановка задач теории зажигания. Границные условия и их физическая интерпретация.	2
12	6	Обезразмеривание системы уравнений теории зажигания. Условия зажигания. Зажигание накаленной поверхностью (г. у. I рода). Стационарная теория зажигания Я.Б. Зельдовича. Нестационарная теория с точки зрения пограничного слоя.	2
13	6	Результаты численного анализа задачи о зажигании накаленной поверхностью в импульсной постановке. Учет выгорания реагентов. Зажигание тонкой пластины горячим телом при продолжительном действии источника тепла. Физические основы адиабатического метода. Зажигание К-вещества лучистой энергией (граничные условия II рода).	2
14	7	Экспериментальные методы исследования скорости горения. Зависимость скорости горения вещества от параметров среды. Понятие о медленном горении, детонации и нормальной скорости горения. Постановка задач в теории теплодиффузионного распространения пламени. Стационарные режимы распространения пламени. Подобие температур и концентраций в пламени. Введение безразмерных переменных.	2
15	7	Постановка задач в теории теплодиффузионного распространения пламени. Стационарные режимы распространения пламени. Подобие температур и концентраций в пламени. Введение безразмерных переменных. Формулировка задачи о распространении пламени как задачи о собственном	2

		значении. Формула для скорости распространения пламени в газе. Метод Зельдовича - Франк-Каменецкого. Зависимость скорости горения от параметров среды. Понятие о пределах распространения пламени.	
16	8	Общее понятие о скорости распространения стационарного пламени в конденсированной фазе. Экспериментальные данные по горению баллиститных порохов в широком диапазоне изменения давлений. Теория горения летучих взрывчатых веществ и порохов Беляева-Зельдовича.	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Прямая и обратная задачи химической кинетики простых реакций. Определение порядка реакции.	2
2	2	Метод квазистационарных концентраций.	2
3	2	Исследование кинетики автокаталитических реакций.	2
4	2	Три предела воспламенения водорода.	2
5	3	Диффузионная и кинетическая области гетерогенной реакции.	2
6	4	Методы расчета теплового эффекта химической реакции.	2
7	5	Стационарная теория теплового взрыва Н.Н. Семенова.	2
8	5	Стационарная теория теплового взрыва Д.А.Франк-Каменецкого.	2
9	5	Нестационарная теория теплового взрыва в адиабатической системе и неадиабатической системе.	2
10	5	Обобщенный анализ задачи о тепловом взрыве.	2
11	5	Теория теплового взрыва в случае автокаталитических реакций.	2
12	6	Зажигание К-вещества нагретой пластиной.	2
13	6	Зажигание тонкой пластины накаленным телом.	2
14	6	Зажигание К-вещества лучистой энергией.	2
15	7	Скорость распространения пламени в газе.	2
16	8	Скорость распространения пламени в К-веществе.	2

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Выполнение домашних заданий	ПУМД: осн. 1; ЭУМД: осн. 1, доп. 1.	3	49,5
Подготовка к экзамену	ПУМД: осн. 1; ЭУМД: осн. 1, доп. 1.	3	10
Подготовка к устным опросам	ПУМД: осн. 1; ЭУМД: осн. 1, доп. 1.	3	10

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

## 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 1	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
2	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 2	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
3	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 3	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
4	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 4	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
5	3	Текущий контроль	Устный опрос № 1	1	15	Устный опрос содержит три теоретических вопроса. Каждый вопрос оценивается по пятибалльной шкале: дан полный ответ на вопрос - 5 баллов; дан полный ответ на вопрос, но имеются неточности в ответе - 4 балла; дан неполный ответ на вопрос, выделены основные положения - 3 балла; дан неполный ответ на вопрос, допущены 1-2 негрубые ошибки - 2 балла; дан неполный ответ на вопрос, допущены грубые ошибки - 1 балл; ответ отсутствует - 0 баллов.	экзамен
6	3	Текущий	Домашнее	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4	экзамен

		контроль	задание № 5			балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	
7	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 6	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
8	3	Текущий контроль	Домашнее задание № 7	1	5	5 баллов - задание выполнено верно; 4 балла - задание выполнено верно, но имеются недочеты не влияющие на конечный результат; 3 балла - в задании допущены 1-2 ошибки; 2 балла - в работе допущены 3 ошибки; 1 балл - в задании допущено более трёх ошибок; 0 баллов - работа не представлена.	экзамен
9	3	Текущий контроль	Устный опрос № 2	1	15	Устный опрос содержит три теоретических вопроса. Каждый вопрос оценивается по пятибалльной шкале: дан полный ответ на вопрос - 5 баллов; дан полный ответ на вопрос, но имеются неточности в ответе - 4 балла; дан неполный ответ на вопрос, выделены основные положения - 3 балла; дан неполный ответ на вопрос, допущены 1-2 негрубые ошибки - 2 балла; дан неполный ответ на вопрос, допущены грубые ошибки - 1 балл; ответ отсутствует - 0 баллов.	экзамен
10	3	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	15	Студенту выдается билет, содержащий 3 теоретических вопроса. Каждый вопрос оценивается по пятибалльной шкале: 5 баллов - студент безошибочно ответил на вопрос, демонстрирует системные и достаточно глубокие знания, владеет необходимой терминологией; 4 балла - студент в полном объеме ответил на вопрос, допущены незначительные неточности; 3 балла - студент дал неполный ответ на вопрос, но в ходе собеседования ответил на дополнительные вопросы по билету; 2 балла - студент дал неполный ответ на вопрос, в ходе собеседования не ответил на дополнительные вопросы по билету; 1 балл - в ответах студент допустил ошибки и не смог их исправить в ходе собеседования; 0 баллов - ответ отсутствует.	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	<p>Оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине проводится на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля. Прохождение всех контрольно-рейтинговых мероприятий текущего контроля обязательно. Если студент желает повысить свой рейтинг, то он проходит мероприятие промежуточной аттестации. Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится во время экзамена в виде устного опроса. Студенту выдается билет, содержащий 3 теоретических вопроса из разных тем курса. На подготовкудается 1 час, после чего проводится собеседование.</p>	<p>В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения</p>

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПК-1	Знает: подходы и методы теории горения					+					++
ПК-1	Имеет практический опыт: применения современных программных средств и методов математического моделирования при решении задач теории горения	++++				+++					+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### a) основная литература:

1. Рябинин, В. К. Математическая теория горения Текст курс лекций В. К. Рябинин ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Вычисл. механика сплошных сред ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2014. - 440 с. ил., фот.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Физика Горения и Взрыва
2. Доклады Российской Академии Наук
3. Combustion and Flame

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Организация и методическое сопровождение самостоятельной работы студентов: методические указания.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Организация и методическое сопровождение самостоятельной работы студентов: методические указания.

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Гельфанд, Б. Е. Водород: параметры горения и взрыва / Б. Е. Гельфанд, О. Е. Попов, Б. Б. Чайванов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 288 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/2680">http://e.lanbook.com/book/2680</a>
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Штейнберг, А. С. Быстрые реакции в энергоемких системах: высокотемпературное разложение ракетных топлив и взрывчатых веществ : монография / А. С. Штейнберг. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 208 с. <a href="http://e.lanbook.com/book/2706">http://e.lanbook.com/book/2706</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)
3. Math Works-MATLAB (Simulink R2008a, SYMBOLIC MATH)(бессрочно)
4. -Maple 13(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	707 (1)	компьютерный класс с пакетом MATLAB
Лекции	708а (1)	мультимедийное оборудование