

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



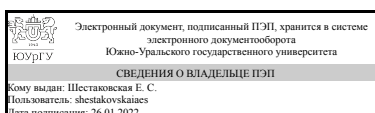
А. А. Замышляева

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.П1.13.01 Теория горения  
**для направления** 01.03.03 Механика и математическое моделирование  
**уровень** Бакалавриат  
**профиль подготовки** Механика и математическое моделирование жидкости, газа и плазмы  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Вычислительная механика

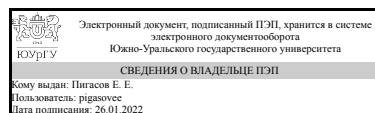
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование, утверждённым приказом Минобрнауки от 10.01.2018 № 10

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



Е. С. Шестаковская

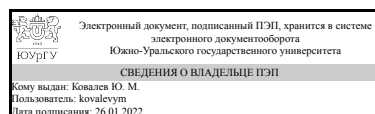
Разработчик программы,  
старший преподаватель



Е. Е. Пигасов

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной  
программы  
д.физ.-мат.н., проф.



Ю. М. Ковалев

## 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 Владение методами механического, физического и математического исследования при анализе проблем механики на основе знаний фундаментальных физико-математических дисциплин и компьютерных наук и навыками проблемно-задачной формы представления научных знаний.	Знает: основные понятия и законы теории горения Умеет: корректно ставить прикладные задачи теории горения, обоснованно выбирать методы решения и анализировать результат Имеет практический опыт: решения задач математической теории горения

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

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

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

Дисциплина	Требования
Теплообмен	Знает: основные понятия и законы теории теплообмена Умеет: применять математические методы для решения уравнения теплопроводности Имеет практический опыт: решения задач теплообмена

## 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 94,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	84	84	
Лекции (Л)	56	56	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	28	28	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	49,5	49,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к экзамену	24,5	24,5	
Подготовка к практическим занятиям	25	25	
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	2	2	0	0
2	Основы химической кинетики	20	12	8	0
3	Введение в макроскопическую кинетику	6	4	2	0
4	Введение в химическую термодинамику и термохимию	6	4	2	0
5	Теория воспламенения	20	12	8	0
6	Теория зажигания	14	10	4	0
7	Теория распространения волн горения	8	6	2	0
8	Горение конденсированных веществ	8	6	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.	2
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.	2
3	2	Константа скорости реакции, закон Аррениуса. Энергия активации. Понятие	2

		об активированном комплексе. Химическое равновесие, константа равновесия. Подвижность состояния равновесия химической реакции.	
4	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.	2
5	2	Каталитические реакции. Автокаталитические реакции. Цепные реакции. Неразветвленные цепные реакции, реакция хлорирования водорода.	2
6	2	Разветвленные цепные реакции, реакция окисления водорода. Цепное воспламенение.	2
7	2	Три предела воспламенения водорода и их механизмы. Цепные реакции с энергетическим разветвлением цепей, реакция фторирования водорода.	2
8	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.	2
9	3	Диффузионная кинетика гетерогенных реакций. Реакция первого порядка. Сложение сопротивлений. Диффузионная и кинетическая области гетерогенной реакции.	2
10-11	4	Введение в химическую термодинамику и термохимию. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса и его следствия. Методы расчета теплового эффекта.	4
12	5	Математическая постановка задач в теории воспламенения. Преобразование Франк-Каменецкого. Методы обезразмеривания уравнений теории воспламенения. Критерии подобия теории воспламенения.	2
13	5	Теория теплового самовоспламенения Н.Н. Семенова	2
14	5	Стационарная теория теплового воспламенения Д.А. Франк-Каменецкого. Аналитическое решение для плоского слоя и цилиндра. Сопоставление с результатами численного анализа.	2
15	5	Краевая задача теории теплового воспламенения. Адиабатический тепловой взрыв.	2
16	5	Нестационарная теория теплового воспламенения.	2
17	5	Численный анализ задачи о тепловом взрыве.	2
18	6	Несимметричное воспламенение в плоской щели. Задача о переходе от воспламенения к зажиганию.	2
19	6	Методы зажигания. Математическая постановка задач теории зажигания. Граничные условия и их физическая интерпретация. Обезразмеривание системы уравнений теории зажигания. Условия зажигания	2
20	6	Зажигание накаливаемой поверхностью (г. у. I рода). Стационарная теория зажигания Я.Б. Зельдовича. Нестационарная теория с точки зрения пограничного слоя.	2
21	6	Результаты численного анализа задачи о зажигании накаливаемой поверхностью в импульсной постановке. Учет выгорания реагентов. Зажигание тонкой пластины горячим телом при продолжительном действии источника тепла.	2
22	6	Физические основы адиабатического метода. Зажигание К-вещества лучистой энергией (граничные условия II рода)	2
23	7	Экспериментальные методы исследования скорости горения. Зависимость скорости горения вещества от параметров среды. Понятие о медленном горении, детонации и нормальной скорости горения.	2
24	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.	
25	7	Формула для скорости распространения пламени в газе. Метод Зельдовича - Франк-Каменецкого. Зависимость скорости горения от параметров среды. Понятие о пределах распространения пламени.	2
26-27	8	Общее понятие о скорости распространения стационарного пламени в конденсированной фазе. Экспериментальные данные по горению баллистических порохов в широком диапазоне изменения давлений.	3
27-28	8	Теория горения летучих взрывчатых веществ и порохов Беляева-Зельдовича.	3

## 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	2
2	2	Определение порядка реакции. 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. Стационарная теория теплового взрыва Д.А. Франк-Каменецкого.	2
8	5	Нестационарная теория теплового взрыва в адиабатической системе.	2
9	5	Нестационарная теория теплового взрыва в неадиабатической системе.	2
10	5	Обобщенный анализ задачи о тепловом взрыве. Теория теплового взрыва в случае автокаталитических реакций.	2
11	6	Зажигание К-вещества нагретой пластиной. Зажигание К-вещества лучистой энергией.	2
12	6	Зажигание тонкой пластины накаливаемым телом	2
13	7	Скорость распространения пламени в газе	2
14	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
Подготовка к экзамену	ПУМД: осн. 1, доп. 1; ЭУМД: осн. 1, доп. 1.	8	24,5
Подготовка к практическим занятиям	ПУМД: осн. 1, доп. 1; ЭУМД: осн. 1, доп. 1.	8	25

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

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-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	8	Текущий контроль	Практическое задание 1	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
2	8	Текущий контроль	Практическое задание 2	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
3	8	Текущий контроль	Практическое задание 3	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
4	8	Текущий контроль	Практическое задание 4	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
5	8	Текущий контроль	Практическое задание 5	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
6	8	Текущий контроль	Практическое задание 6	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
7	8	Текущий контроль	Практическое задание 7	1	2	2 балла - задание выполнено верно, представлено подробное решение задачи; 1 балл - задание выполнено верно, но имеются недочеты в решении, не влияющие на конечный результат; 0 баллов - задание не выполнено.	экзамен
8	8	Проме-жуточная	Экзамен	-	15	Студенту выдается билет, содержащий 3 теоретических вопроса. Каждый вопрос	экзамен

		аттестация			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.	
--	--	------------	--	--	--	--

## 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 и промежуточной аттестации. Прохождение всех контрольно-рейтинговых мероприятий текущего контроля обязательно.</p> <p>Контрольное мероприятие промежуточной аттестации проводится во время экзамена в виде устного опроса.</p> <p>Студенту выдается билет, содержащий 3 теоретических вопроса из разных тем курса. На подготовку дается 1 час, после чего проводится собеседование.</p>	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ПК-1	Знает: основные понятия и законы теории горения		+		+		+	+	+
ПК-1	Умеет: корректно ставить прикладные задачи теории горения, обоснованно выбирать методы решения и анализировать результат	+	+	+	+	+	+	+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: решения задач математической теории горения	+	+				+	+	+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

а) 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:

1. Зельдович, Я. Б. Математическая теория горения и взрыва. - М.: Наука, 1980. - 478 с. ил.

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="https://e.lanbook.com/book/2706">https://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	№	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника,
-------------	---	--



	ауд.	предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	707 (1)	компьютерный класс с пакетом MATLAB
Лекции	708a (1)	мультимедийное оборудование