

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**СОГЛАСОВАНО**

Декан ФЭАТ

А.С. Баранов

## **Рабочая программа дисциплины**

Код и наименование дисциплины: **Б1.В.7 «Моделирование физических процессов и горения в энергоустановках»**

Код и наименование направления подготовки (специальности): **13.04.03  
Энергетическое машиностроение**

Направленность (профиль, специализация): **Котельные установки и тепловые двигатели**

Статус дисциплины: **часть, формируемая участниками образовательных отношений**

Форма обучения: **очная**

<b>Статус</b>	<b>Должность</b>	<b>И.О. Фамилия</b>
Разработал	профессор	П.К. Сеначин
Согласовал	Зав. кафедрой «ДВС»	А.Е. Свистула
	руководитель направленности (профиля) программы	Е.Б. Жуков

г. Барнаул

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор	Содержание индикатора
ПК-2	Способен проводить анализ объектов профессиональной деятельности	ПК-2.1	Выполняет технико-экономический анализ эффективности проектируемых изделий и конструкций объектов энергетического машиностроения
		ПК-2.2	Анализирует существующие решения при создании продукции энергомашиностроения с учетом требований к уровню качества и безопасности
		ПК-2.3	Способен обосновывать принятые проектные и технические решения для объектов энергетического машиностроения
ПК-3	Способен использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах	ПК-3.1	Анализирует и обрабатывает научно-техническую информацию по тематике исследования из отечественных и зарубежных источников
		ПК-3.2	Проводит эксперимент по заданной методике
		ПК-3.3	Способен обрабатывать и анализировать результаты исследований объектов энергетического машиностроения
		ПК-3.4	Составляет отчет и представляет результаты выполненной научно-исследовательской работы

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплины (практики), предшествующие изучению дисциплины, результаты освоения которых необходимы для освоения данной дисциплины.	Компьютерные технологии в науке и энергомашиностроении, Современные системы двигателей, Теория тепловых двигателей (семинар)
Дисциплины (практики), для которых результаты освоения данной дисциплины будут необходимы, как входные знания, умения и владения для их изучения.	Выпускная квалификационная работа, Преддипломная практика, Теплотехнические измерения

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Общий объем дисциплины в з.е. /час: 8 / 288

Форма обучения	Виды занятий, их трудоемкость (час.)				Объем контактной работы обучающегося с
	Лекции	Лабораторные	Практические	Самостоятельная	

		работы	занятия	работа	преподавателем (час)
очная	32	60	28	168	140

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**Форма обучения: очная**

**Семестр: 2**

Объем дисциплины в семестре з.е. /час: 4 / 144

Форма промежуточной аттестации: Зачет

Виды занятий, их трудоемкость (час.)				Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (час)
Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа	
32	32	0	80	76

**Лекционные занятия (32ч.)**

**1. Основные понятия о моделях горения {лекция с разбором конкретных ситуаций} (2ч.)**[5,6,9,10,11,12] Выполнение технико-экономического анализа эффективности проектируемых изделий и конструкций объектов энергетического машиностроения с применением численного моделирования. Понятие об обыкновенных дифференциальных уравнениях и методах их интегрирования. Одношаговые методы решения задачи Коши. Уравнения в частных производных.

**2. Обработка экспериментальных данных {лекция с разбором конкретных ситуаций} (4ч.)**[1,5,6,10,11,12] Обработка и анализ результатов исследований объектов энергетического машиностроения с применением метода наименьших квадратов. Ортогональное уравнение парной регрессии для аппроксимации экспериментальных данных. Составление отчетов и представление результатов выполненной научно-исследовательской работы

**3. Элементы газодинамики. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса {лекция с разбором конкретных ситуаций} (6ч.)**[1,4,5,6,10,11,12] Анализ существующих решений при создании продукции энергомашиностроения с учётом уравнений сохранения массы, энергии и количества движения. Уравнение движения вязкой жидкости. Баротропное равновесие газа. Уравнение Бернулли. Уравнения состояния компонентов смеси.

**4. Химическая кинетика и термодинамика {лекция с разбором конкретных ситуаций} (4ч.)**[1,2,5,6,7,10,11,12] Проведение численного эксперимента по исследованию образования вредных выбросов в энергоустановках. Скорость и порядок гомогенной реакции. Химическое равновесие и химическая термодинамика. Определение адиабатической температуры пламени. Расчет равновесного состава. Уравнение концентрации компоненты газовой смеси. Скорость гетерогенной реакции

**5. Теория подобия и моделирования {лекция с разбором конкретных ситуаций} (6ч.)[1,2,8,10,11,12]** Обоснование принятых проектных и технических решений с физическими законами, инвариантами подобия и правилами моделирования. Анализ размерностей и теоремы подобия. Критерии подобия и методы их получения. Тепловое подобие. Заключительные положения теории подобия.

**6. Применение теории подобия в науке и технике {лекция с разбором конкретных ситуаций} (2ч.)[1,2,7,8,10,11,12]** Анализ и обработка научно-технической информации по тематике исследования из отечественных и зарубежных источников. Диффузионная теория свободных турбулентных струй. Некоторые частные случаи физического моделирования. Метод нулевых размерностей

**7. Кинетика воспламенения углеводородов {лекция с разбором конкретных ситуаций} (4ч.)[1,2,3,4,5,6,7,8]** Проведение численного эксперимента по исследованию самовоспламенению топлива в цилиндрах двигателей. Общие черты зажигания. Цепные реакции. Высокотемпературное зажигание, ударные трубы, детонация и пульсирующие устройства сжигания. Зажигание промежуточными температурами, в машинах быстрого сжатия, стук в двигателях., зажигание в дизелях и воспламенение гомогенного заряда при сжатии (НССИ)

**8. Классификация задач теории горения {лекция с разбором конкретных ситуаций} (4ч.)[1,2,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по исследованию динамических процессов. Проблема самовоспламенения от сжатия. Классификация динамических задач теории горения. Характерные времена динамических процессов. Критерии подобия динамических процессов

#### **Лабораторные работы (32ч.)**

**1. Обработка экспериментальных данных {работа в малых группах} (8ч.)[1,10,11,12]** Обработка, анализ результатов исследований объектов энергетического машиностроения методом наименьших квадратов и методом ортогональной парной регрессии, и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов.

**2. Моделирование обтекания конечных тел вязкой жидкостью {работа в малых группах} (12ч.)[2,4,10,11,12]** Проведение эксперимента по численному моделированию течения вязкой жидкости за круговым цилиндром при различных числах Рейнольдса и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов

**3. Решение систем однородных дифференциальных уравнений {работа в малых группах} (12ч.)[2,6,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по решению задачи Коши методом Эйлера. Метод Рунге-Кутты второго порядка с коррекцией по средней производной. Метод Рунге-Кутты второго порядка с коррекцией в средней точке. Метод Рунге-Кутты четвертого порядка

### Самостоятельная работа (80ч.)

1. СРС {использование общественных ресурсов} (44ч.)[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12] Подготовка к контрольным опросам и защите лабораторных работ
2. СРС(36ч.)[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12] Подготовка к зачёту.

### Семестр: 3

Объем дисциплины в семестре з.е. /час: 4 / 144

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Виды занятий, их трудоемкость (час.)				Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (час)
Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа	
0	28	28	88	64

### Практические занятия (28ч.)

1. Численное моделирование динамики распыленной топливной струи в дизеле {мини-лекция} (4ч.)[1,2,3,10,11,12] Проведение численного эксперимента по моделированию динамики распространения изотермической топливной струи и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов. Динамика двухфазного впрыска топлива в дизеле.

Математическая модель рабочего процесса дизеля при двухфазном впрыске топлива.

2. Процессы горения в ограниченном объеме и двигателях внутреннего сгорания {мини-лекция} (4ч.)[1,2,3,10,11,12] Проведение численного эксперимента по математическому моделированию процесса горения с эмпирическим законом тепловыделения И.И. Вибе и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов. Массовая доля продуктов горения и взрыва. Скорость выгорания газа

3. Термодинамика процессов горения в двигателях с искровым зажиганием {мини-лекция} (2ч.)[1,2,3,10,11,12] Проведение численного эксперимента по математическому моделированию конвективного теплообмена в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов. Термодинамические и кинематические уравнения в двухзонной модели двигателя. Горение заряда во фронте турбулентного пламени. Ламинарная модель турбулентного горения в двигателе. Модель переноса и горения вихрей в двигателе. Дифференциальные уравнения термодинамики для двигателя. Газовый двигатель со смещенной точкой зажигания

4. Модели образования токсичных веществ в двигателях с искровым зажиганием {мини-лекция} (2ч.)[2,3,5,6,7,8,10,11,12] Проведение численного эксперимента по математическому моделированию образования токсичных

веществ в двигателе с искровым зажиганием. Самовоспламенение смеси перед фронтом пламени в поршневых двигателях с искровым зажиганием. Моделирование самовоспламенения перед фронтом пламени в двигателе с искровым зажиганием на основе детальной химической кинетики

**5. Моделирование процессов горения и газификации углей в плотном слое {мини-лекция} (2ч.)[1,2,3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по математическому моделированию физико-химических процессов газификации углей и углеродсодержащих топлив в плотном слое.

Разработка конструкции и моделирование трехзонного газогенератора плотного слоя обращенного процесса

**6. Моделирование процессов горения в химических реакторах {мини-лекция} (2ч.)[1,2,3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по математическому моделированию нейтрализатора отработавших газов двигателя как химического реактора проточного типа

**7. Горение капель и частиц {мини-лекция} (2ч.)[1,2,3,10,11,12]** Диффузионная теория горения капель жидкого топлива.

О нагреве частиц угля в вертикальном газовом потоке во взвешенном состоянии.

Горение угольной частицы как основа горения пылеугольного факела.

Теория приведенной пленки. Обработка, анализ и представление результатов исследований численного моделирования

**8. Моделирование горения пылеугольного факела {мини-лекция} (4ч.)[1,2,3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по математическому моделированию теплообмена излучением и устойчивости горения прозрачного пылеугольного факела. Введение в теорию горения пылеугольного факела. Моделирование воспламенения крупной частицы угля в топочной камере.

Моделирование топок, сжигающих пылеугольное топливо

**9. Численное моделирование задержки воспламенения топлива в двигателях с воспламенением от сжатия {мини-лекция} (2ч.)[2,3,7,8,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по математическому моделированию задержки воспламенения топлива в дизеле как периода индукции динамического теплового взрыва.

Моделирование задержки топлива в дизеле с различными системами топливоподачи.

Моделирование нестационарных газодинамических течений в рабочем цикле НСЦИ двигателя

**10. Сжигание твердого топлива в кипящем слое {мини-лекция} (2ч.)[1,2,3,5,10,11,12]** Обоснование принимаемых проектных и технических решений при применении котельных агрегатов с кипящим слоем. Теория кипящего слоя

**11. Горение водоугольного топлива {мини-лекция} (2ч.)[2,3,5,6,7,10,11,12]** Анализ существующих решений при создании технологии сжигания ВУТ. Стадия прогрева частицы ВУТ.

Стадия испарения частицы ВУТ.

Стадия воспламенения частицы ВУТ

### **Лабораторные работы (28ч.)**

- 1. Численное моделирование динамики распространения изотермической топливной струи {работа в малых группах} (8ч.)[3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по моделированию динамики распространения изотермической топливной струи и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов
- 2. Конвективный теплообмен в цилиндре ДВС(12ч.)[2,3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по определению конвективного теплообмена в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов
- 3. Численное моделирование процесса горения с эмпирическим законом горения топлива И.И. Вибе(8ч.)[2,3,10,11,12]** Проведение численного эксперимента по моделированию процесса горения с эмпирическим законом горения топлива И.И. Вибе и обоснование, анализ технико-экономической эффективности принятых решений с точки зрения полученных результатов

### **Самостоятельная работа (88ч.)**

- 1. СРС(52ч.)[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]** Подготовка к практическим и лабораторным работам
- 2. СРС(36ч.)[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12]** Подготовка к экзамену

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Для каждого обучающегося обеспечен индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечным системам: Лань, Университетская библиотека он-лайн, электронной библиотеке АлтГТУ и к электронной информационно-образовательной среде:

1. Сеначин, П. К. Моделирование физико-химических процессов и горения в энергоустановках. Книга I. Теория : учебное пособие / П. К. Сеначин, А. П. Сеначин / Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова; Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН. – Изд. второе перераб. и допол. - Барнаул : Алт. гос. техн. ун-т, 2018. – 116 с. – Текст: электронный // АлтГТУ : электронная библиотечная система. – URL: [http://elib.altstu.ru/eum/download/dvs/Senachin\\_ModelFHPiGor\\_up.pdf](http://elib.altstu.ru/eum/download/dvs/Senachin_ModelFHPiGor_up.pdf) (дата обращения: 02.12.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Сеначин, П. К. Моделирование физико-химических процессов и горения в энергоустановках. Книга II. Модели процессов горения в поршневых двигателях : учебное пособие / П. К. Сеначин, А.А. Брютов, А. П. Сеначин / Алтайский

государственный технический университет имени И. И. Ползунова; Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН. – Изд. второе перераб. и допол. - Барнаул : Алт. гос. техн. ун-т, 2019. – 184 с. – Текст: электронный // АлтГТУ : электронная библиотечная система. – URL: [http://elib.altstu.ru/eum/download/dvs/Senachin\\_MFHPiGvE\\_K2\\_up.pdf](http://elib.altstu.ru/eum/download/dvs/Senachin_MFHPiGvE_K2_up.pdf) (дата обращения: 02.12.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Архипов, В. Физико-химические основы процессов тепломассообмена : учебное пособие / В. Архипов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 199 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442086> (дата обращения: 02.12.2020). – Библиогр. в кн. – Текст : электронный.

## 6. Перечень учебной литературы

### 6.1. Основная литература

4. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – Москва ; Ленинград : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – 678 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256639> (дата обращения: 02.12.2020). – ISBN 978-5-4475-1896-7. – Текст : электронный.

5. Зельдович, Я.Б. Элементы прикладной математики / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Наука, 1972. – 592 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459823> (дата обращения: 02.12.2020). – Текст : электронный.

6. Хемминг, Р.В. Численные методы: для научных работников и инженеров / Р.В. Хемминг ; ред. Р.С. Гутер ; пер. с англ. В.Л. Арлазарова, Г.С. Разиной, А.В. Ускова. – Изд. 2-е, испр. – Москва : Наука, 1972. – 399 с. : ил. – (Физико-математическая библиотека инженера). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456956> (дата обращения: 02.12.2020). – Текст : электронный.

### 6.2. Дополнительная литература

7. Основы химической термодинамики: к курсу физической химии / Г.В. Булидорова, Ю.Г. Галяметдинов, Х.М. Ярошевская, В.П. Барабанов ; Федеральное агентство по образованию, Казанский государственный технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2011. – 218 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258361> (дата обращения: 04.12.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7882-1151-0. – Текст : электронный.

8. Дресвянников, А.Ф. Физические основы измерений : учебное пособие / А.Ф. Дресвянников, Е.А. Ермолаева, Е.В. Петрова ; Федеральное агентство по образованию, Казанский государственный технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет

(КНИТУ), 2008. – 305 с. : ил.,табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258871> (дата обращения: 04.12.2020). – ISBN 978-5-7882-0562-5. – Текст : электронный.

9. Комлев, Н.Ю. Самоучитель игры на Паскале. ABC и немного Турбо : практическое пособие / Н.Ю. Комлев. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. – 256 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=227109> (дата обращения: 02.12.2020). – ISBN 978-5-91359-112-8. – Текст : электронный.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

10. Электронно-библиотечная система ЛАНЬ // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 02.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Электронная библиотечная система АлтГТУ // АлтГТУ : электронная библиотечная система. — URL: <http://elib.altstu.ru/> (дата обращения: 02.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. Единое окно доступа к образовательным ресурсам // ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика". — URL: <http://window.edu.ru/> (дата обращения: 02.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **8. Фонд оценочных материалов для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Содержание промежуточной аттестации раскрывается в комплекте контролирующих материалов, предназначенных для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, которые хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном виде и в ЭИОС.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) по дисциплине представлен в приложении А.

## **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Для успешного освоения дисциплины используются ресурсы электронной информационно-образовательной среды ИЛИАС, образовательные интернет-порталы, глобальная компьютерная сеть Интернет. В процессе изучения дисциплины происходит интерактивное взаимодействие обучающегося с преподавателем через личный кабинет студента. Для изучения данной дисциплины профессиональные базы данных и информационно-справочные системы не требуются.

<b>№пп</b>	<b>Используемое программное обеспечение</b>
1	Acrobat Reader

<b>№пп</b>	<b>Используемое программное обеспечение</b>
2	Code-Aster
3	Elmer
4	Free Pascal
5	Lazarus
6	LibreOffice
7	Linux
8	Mozilla Firefox
9	PascalABC.NET
10	SALOME
11	Windows
12	Антивирус Kaspersky

<b>№пп</b>	<b>Используемые профессиональные базы данных и информационные справочные системы</b>
1	Бесплатная электронная библиотека онлайн "Единое окно к образовательным ресурсам" для студентов и преподавателей; каталог ссылок на образовательные интернет-ресурсы ( <a href="http://Window.edu.ru">http://Window.edu.ru</a> )

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

<b>Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>
помещения для самостоятельной работы
учебные аудитории для проведения учебных занятий

Материально-техническое обеспечение и организация образовательного процесса по дисциплине для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с «Положением об обучении инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья».