

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО

Директор
института магистратуры


И.В. Ярмоленко
« 20 » 05 2021г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор института
энергетики, информационных
технологий и управляющих систем


А.В. Белоусов
« 20 » 05 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)

**Математическое и компьютерное моделирование
теплотехнологических процессов**

Направление подготовки (специальность):

13.04.01 – ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Направленность программы (профиль, специализация):

Энергетика теплотехнологии

Квалификация
магистр

Форма обучения
очная

Институт: **Энергетики, информационных технологий и управляющих систем**

Кафедра: **Энергетики теплотехнологии**

Белгород 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утв. приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 146;
- учебного плана, утвержденного Ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доц.  (В.Г. Чертов)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики теплотехнологии «22» 04 2021 г., протокол № 8.

Заведующий кафедрой
Энергетики теплотехнологии
канд. техн. наук, доцент

 (Ю.В. Васильченко)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем «20» 05 2021 г., протокол № 9.

Председатель
канд. техн. наук, доцент

 (А.Н. Семернин)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
Категория (группа) компетенций	Код компетенции	Компетенция	
Профессиональные компетенции			
Проектно-конструкторские задачи профессиональной деятельности	ПК-1	Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.	<p>ПК-1.2. Использует программное обеспечение для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.</p> <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные методы математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • разрабатывать математическую модель теплотехнологических процессов; • проводить реализацию математическую модель теплотехнологических процессов с использованием типового программного обеспечения; • анализировать полученные результаты и их адекватность. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • типовыми программными средствами для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-1. Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами, практиками:

Стадия	Наименования дисциплины
1	Тепловые расчеты теплотехнологических установок
2	Математическое и компьютерное моделирование теплотехнологических процессов
3	Оптимизация теплотехнических процессов
4	Учебная практика по получению первичных навыков работы с программным обеспечением применительно к области (сфере) профессиональной деятельности
5	Производственная проектная практика
6	Производственная преддипломная практика
7	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зач. единиц, 252 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки 7 зач. единиц.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	252	252
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	89	89
лекции	17	17
лабораторные	68	68
практические	–	–
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	4	4
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	163	163
Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	–	–
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание	–	–
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	109	109
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	К-во лекц. часов	Объем на тематический раздел, час		
			Практ. и др. зан.	Лабор. зан.	Самост. работа
1	Современные методы компьютерного моделирования горения и теплообмена Компьютерное моделирование в инженерной практике. Численные методы компьютерного моделирования. Пакеты программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов	4		12	22
2	Численные методы моделирования Гипотеза сплошной среды. Дифференциальные уравнения переноса. Способы перехода к дискретным уравнениям. Приведение производных к дискретному виду. Дискретное уравнение переноса массы. Дискретное уравнение с центральными разностями. Правила построения дискретных уравнений. Дискретное уравнение с разностями против потока. Уравнения в цилиндрических координатах. Релаксация значений сеточной функции. Линеаризация функций в дискретных уравнениях. Итерационный метод решения системы уравнений. Решение дискретных уравнений методом прогонки. Метод полинейной прогонки	6		28	44
3	Численное исследование процессов тепломассопереноса в промышленных печах в системе ANSYS Fluent Численная математическая модель теплообмена в печах и топках. Структура математической модели. Формирование факела в печах и котлах. Тепломассоперенос в печах и котлах. Диффузионный факел в печах и котлах..	7		28	43
	ИТОГО	17	–	68	109

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

Учебным планом не предусмотрены

4.3. Содержание лабораторных занятий

Курс 1 Семестр № 2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	К-во часов	Кол-во часов СРС
1	1	Изучение основ работы в пакете программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов FLUENT	6	6
2	1	Построение расчетных сеток и задание граничных и расчетных условий в пакете программ компьютерного моделирования газодинамиче-	6	6

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	К-во часов	Кол-во часов СРС
		ских и тепломассообменных процессов FLUENT		
3	2	Модель движения среды в цилиндрическом канале	6	6
4	2	Модель теплопередачи через плоскую стенку	6	6
5	2	Модель теплопередачи через цилиндрическую стенку	6	6
6	2	Модель движения среды в топке котла	10	10
7	3	Модель горения диффузионного факела	8	8
8	3	Модель горения топливно-воздушной смеси	10	10
9	3	Модель теплообмена в топке котла	10	10
		Итого	68	68

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Учебным планом не предусмотрены

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

На РГЗ выдаются индивидуальные задания (в виде перечня тем и исходных данных). Содержание РГЗ, необходимые теоретические и справочные материалы, методики и примеры расчетов, требования к оформлению расчетно-пояснительной записки имеются в изданных на кафедре учебных пособиях и методических указаниях (работа 1 списка литературы).

В процессе выполнения РГЗ осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитория и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета.

Пример задания на РГЗ

1. Исследовать скорость вылета струи на форму факела в цилиндрическом канале.
2. Исследовать направление вылета струи на форму факела в цилиндрическом канале.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1. Компетенция ПК-1. Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепло-

вых пунктов, малых теплоэлектростанций, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-1.2. Использует программное обеспечение для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.	Экзамен, защита РГЗ, защита лабораторных работ

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена (ПК-1.2.)

№ п/п	Наименования разделов	Наименование контрольных вопросов
1	Современные методы компьютерного моделирования горения и теплообмена	1. Компьютерное моделирование в инженерной практике. 2. Численные методы компьютерного моделирования. 3. Пакеты программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов.
2	Численные методы моделирования	4. Гипотеза сплошной среды. 5. Дифференциальные уравнения переноса. 6. Способы перехода к дискретным уравнениям. 7. Приведение производных к дискретному виду. 8. Дискретное уравнение переноса массы. 9. Дискретное уравнение с центральными разностями. 10. Правила построения дискретных уравнений. 11. Дискретное уравнение с разностями против потока. 12. Уравнения в цилиндрических координатах. 13. Релаксация значений сеточной функции. 14. Линеаризация функций в дискретных уравнениях. 15. Итерационный метод решения системы уравнений. 16. Решение дискретных уравнений методом прогонки. 17. Метод полинейной прогонки.
3	Численное исследование процессов тепломассопереноса в промышленных печах в системе ANSYS Fluent	18. Построение расчетных сеток и задание граничных и расчетных условий в ANSYS FLUENT. 19. Расчет радиационной теплоотдачи диффузионного факела. 20. Модель горения факела в печах и котлах. 21. Тепломассоперенос в печах и котлах. 22. Модель диффузионного факела в печах и котлах.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

5.3.1. Перечень контрольных материалов для защиты РГЗ

Индикатор (ПК-1.2.)

1. Метод построения сеток математических моделей.

2. Методы расчета движения жидкости.
3. Методы расчета движения жидкости.
4. Метод расчета теплообмена.
5. Метод расчета горения.

5.3.1. Перечень контрольных материалов для защиты лабораторных работ

Индикатор (ПК-1.2.)

1. Основы работы в пакете программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов FLUENT.
2. Построение расчетных сеток в пакете программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов FLUENT.
3. Задание граничных и расчетных условий в пакете программ компьютерного моделирования газодинамических и тепломассообменных процессов FLUENT.
4. Построение модели движения среды в цилиндрическом канале.
5. Построение модели теплопередачи через плоскую стенку.
6. Построение модели теплопередачи через цилиндрическую стенку.
7. Построение модели движения среды в топке котла.
8. Построение модели горения диффузионного факела.
9. Построение модели горения топливно-воздушной смеси.
10. Построение модели теплообмена в топке котла.

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачета при защите курсового проекта используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

5.4.1. Экзамен

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
ПК-1 Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.	ПК-1.2. Использует программное обеспечение для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.
Знание	<ul style="list-style-type: none"> • Знать основные методы математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.
Умение	<ul style="list-style-type: none"> • Уметь разрабатывать математическую модель теплотехнологических процессов. • Уметь проводить реализацию математическую модель теплотехнологических процессов с использованием типового программного обеспе-

	чения. • Уметь анализировать полученные результаты и их адекватность.
Владение	• Владеть типовыми программными средствами для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю «Знания».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знать основные методы математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.	Отсутствие пороговых знаний в объеме материала рабочей программы дисциплины.	Наличие пороговых знаний в объеме материала рабочей программы дисциплины, знание основной рекомендованной литературы	Наличие достаточных знаний в объеме материала рабочей программы дисциплины, знание основной и дополнительно рекомендованной литературы	Наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме материала рабочей программы, знание основной и дополнительно рекомендованной литературы

Оценка сформированности компетенций по показателю «Умение».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Уметь разрабатывать математическую модель теплотехнологических процессов.	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций.	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций при наличии постороннего контроля.	Умение самостоятельно решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, осуществлять базовые действия по применению полученных знаний на практике	Умение самостоятельно ставить и решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, получать результаты, готовые для использования в сфере деятельности выпускника, осуществлять правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике
Уметь проводить реализацию математическую модель тепло-	Неумение решать задачи в рамках содер-	Умение решать задачи в рамках содержания	Умение самостоятельно решать задачи в	Умение самостоятельно ставить и решать

технологических процессов с использованием типового программного обеспечения.	жания дисциплины и формируемых компетенций.	дисциплины и формируемых компетенций при наличии постороннего контроля.	рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, осуществлять базовые действия по применению полученных знаний на практике	задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, получать результаты, готовые для использования в сфере деятельности выпускника, осуществлять правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике
умение экономически обосновывать	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций.	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций при наличии постороннего контроля.	Умение самостоятельно решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, осуществлять базовые действия по применению полученных знаний на практике	Умение самостоятельно ставить и решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, получать результаты, готовые для использования в сфере деятельности выпускника, осуществлять правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике
Уметь анализировать полученные результаты и их адекватность.	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций.	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций при наличии постороннего контроля.	Умение самостоятельно решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, осуществлять базовые действия по применению полученных знаний на практике	Умение самостоятельно ставить и решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций, получать результаты, готовые для использования в сфере деятельности выпускника, осуществлять правильные

				и уверенные действия по применению полученных знаний на практике
--	--	--	--	--

Оценка сформированности компетенций по показателю «Владение».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Владеть типовыми программными средствами для математического и компьютерного моделирования теплотехнологических процессов.	Отсутствие минимума навыков, формируемых в требованиях к обучению	Владеть минимумом навыков, формируемых в требованиях к обучению	В базовой мере владеть навыками, формируемыми в требованиях к обучению	В полной мере владеть навыками, формируемыми в требованиях к обучению

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	Специализированная мебель; доска для рисования маркером; ноутбук или персональный компьютер, подключенный к ТВ-панели для демонстрации мультимедийных материалов и презентаций или к мультимедийному проектору с экраном.
2	Компьютерный зал для проведения лабораторных занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду; доска для рисования маркером; ноутбук или персональный компьютер, подключенный к ТВ-панели для демонстрации мультимедийных материалов и презентаций или к мультимедийному проектору с экраном.
3	Учебная аудитория для проведения самостоятельной работы.	Специализированная мебель; доска для рисования маркером; ноутбук или персональный компьютер, подключенный к ТВ-панели для демонстрации мультимедийных материалов и презентаций или к мультимедийному проектору с экраном.
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную ин-

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
		формационно-образовательную среду

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
4	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5	Программа тестирования «MyTestXPro»	Электронная лицензия/ключ на БГТУ им. ВА.Г. Шухова, 12 компьютеров.
6	CFD Ansys Fluent	Бесплатная лицензия ANSYS Student для студентов (с ограничениями)

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

6.3.1. Перечень основной литературы

1. Кузнецов В.А., Трубаев П.А. Математические модели тепломассопереноса в высокотемпературных установках. – Белгород : Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. 270 с.

Печатные экземпляры, всего: 8.

Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017112816464969400000655211> (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

2. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Захарова Ю.В. Моделирование гидрогазодинамических процессов в ПК ANSYS 17.0 : учебное пособие. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2016. – 169 с.

Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/68793.html> (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

6.3.2. Перечень дополнительной литературы

1. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – 2-е изд. – Саратов : Профобразование, 2019.– 640 с.

Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/87978.html> (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

2. Кузнецов В.А. Математическое моделирование горения и тепловых процессов. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2005. – 79 с.

Печатные экземпляры, всего: 40.

Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2016112111091842500000659352> (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

3. Кузнецов В.А. Основы математического моделирования теплотехнологических процессов. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2004. – 94 с.

Печатные экземпляры, всего: 40.

4. Трубаев П.А., Беседин П.В., Кузнецов В.А. Методы компьютерного моделирования горения и теплообмена во вращающихся печах: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. – 229 с.

Печатные экземпляры, всего: 8.

5. Ляшков В.И. Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики : учебное пособие. –Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012. – 139 с.

Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=277818 (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

6. Ковалевский В.И. Основы научного исследования в технике: монография. – Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 272 с.

Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=618242 (Режим доступа: для авторизир. пользователей).

7. Беседин П.В., Трубаев П.А. Исследование и оптимизация процессов в технологии цементного клинкера. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ: БИЭИ, 2004. – 420 с.

Печатные экземпляры всего: 11.

8. Трубаев П.А. Моделирование и оптимизация технологических процессов производства строительных материалов. – Белгород : БелГТАСМ, 1999. Ч. 1 : Методы математического моделирования и оптимизации. – 1999. – 178 с.

Печатные экземпляры всего: 33.

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent> – официальный сайт.

2. <https://elearning.cadfem-cis.ru/> – Он-лайн курсы и учебные материалы.
3. <http://www.cadfem-cis.ru/knowledge/video-cadfem/> – Видеоуроки по вычислительной гидродинамике в ANSYS.
4. АВОК - Некоммерческое Партнерство инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике [Электронный ресурс] / НП АВОК. – Электрон. дан. – М., [1991-201–]. – Режим доступа: <http://www.abok.ru>, свободный. (Дата обращения 25.08.2019).