


**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)

**Оптимизация теплотехнических 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 «10» 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	
<b>Профессиональные компетенции</b>			
Проектно-конструкторские задачи профессиональной деятельности	<b>ПК-1</b>	Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.	<p><b>ПК-1.3.</b> Осуществляет постановку и решает оптимизационные задачи теплотехнических процессов.</p> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные методы оптимизации теплотехнических процессов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• формулировать цели и задачи оптимизации;</li> <li>• выбирать критерий оптимизации;</li> <li>• проводить оптимизационные расчеты;</li> <li>• анализировать полученные результаты и их адекватность.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• типовыми программными средствами для типовых и оптимизационных расчетов.</li> </ul>

## 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
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	89	89
лекции	17	17
лабораторные	68	68
практические	–	–
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	4	4
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	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	<b>Представление объекта в виде технической системы.</b> Понятие о системе и системном анализе. Классификация связей системы и параметров элементов. Процессы теплотехники и теплоэнергетики.	2		8	12
2	<b>Модели и моделирование. Математические модели.</b> Понятие о моделях и моделировании. Физическое моделирование. Математические модели. Сложность математических моделей. Классификация задач математического моделирования. Классификация математических моделей. Уравнения математического описания. Составление алгоритма и программы.	2		4	12
3	<b>Оптимизация теплоэнергетических и теплотехнических процессов.</b> Постановка задачи оптимизации. Обобщенный критерий оптимизации. Классификация методов поиска оптимума для детерминированных моделей. Численные методы оптимизации функции одной переменной. Оптимизация многомерных задач методами спуска. Оптимизация при наличии ограничений. Линейное программирование.	8		36	57
4	<b>Планирование эксперимента.</b> Элементы теории эксперимента. Планы первого порядка. Планы второго порядка. Анализ уравнений регрессии. Экспериментальный поиск оптимума.	5		20	28
–	<b>ИТОГО</b>	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	Разделение процессов в водогрейном котле на типовые процессы и классификация параметров системы.	4	4
2	1	Разделение процессов обжига клинкера во вращающихся печах на типовые процессы и классификация параметров системы.	4	4
3	2	Расчет температуры воздуха по его теплосодержанию методом последовательных приближений и методом Гаусса-Зейделя.	4	4

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	К-во часов	Кол-во часов СРС
4	3	Моделирование распределения температур в теплоизоляции тепловых сетей и поиск оптимальной толщины теплоизоляции	4	4
5	3	Поиск оптимальной толщины теплоизоляции при утеплении малоэтажного дома	6	6
6	3	Поиск оптимальной толщины теплоизоляции при утеплении малоэтажного дома	6	6
7	3	Поиск оптимальной толщины теплоизоляции при утеплении МКД	6	6
8	3	Разработка составного критерия оптимизации для водогрейного котла	6	6
9	3	Разработка составного критерия оптимизации для тепловой сети	6	6
10	4	Планирование эксперимента при теплотехнических испытания котлов	6	6
11	4	Обработка данных теплотехнических испытания котлов методами регрессионного анализа	8	8
12	4	Экспериментальный поиск оптимума на компьютерной модели теплотехнологического агрегата.	8	8
		<b>ИТОГО</b>	<b>68</b>	<b>68</b>

#### **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. Расчет оптимальной толщины теплоизоляции технологического паропровода.
2. Расчет оптимальной толщины теплоизоляции теплоэнергетического агрегата.
3. Расчет оптимальной толщины теплоизоляции производственного здания.
4. Расчет оптимальной толщины теплоизоляции общественного здания.

## 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 тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
<b>ПК-1.3.</b> Осуществляет постановку и решает оптимизационные задачи теплотехнических 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-1.3.)

№ п/п	Наименование разделов	Наименование контрольных вопросов
1	Представление объекта в виде технической системы.	1. Понятие о системе и системном анализе. 2. Классификация связей системы и параметров элементов. 3. Процессы теплотехники и теплоэнергетики.
2	Модели и моделирование. Математические модели.	4. Понятие о моделях и моделировании. Физическое моделирование. 5. Математические модели. 6. Сложность математических моделей. 7. Классификация задач математического моделирования. 8. Классификация математических моделей. 9. Уравнения математического описания. 10. Составление алгоритма и программы.
3	Оптимизация теплоэнергетических и теплотехнических процессов.	11. Постановка задачи оптимизации. 12. Обобщенный критерий оптимизации. 13. Классификация методов поиска оптимума для детерминированных моделей. 14. Численные методы оптимизации функции одной переменной. 15. Оптимизация многомерных задач методами спуска. 16. Оптимизация при наличии ограничений. 17. Линейное программирование.

№ п/п	Наименование разделов	Наименование контрольных вопросов
4	Планирование эксперимента.	18. Элементы теории эксперимента. 19. Планы первого порядка. 20. Планы второго порядка. 21. Анализ уравнений регрессии. 22. Экспериментальный поиск оптимума.

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

#### **5.3.1. Перечень контрольных материалов для защиты РГЗ**

##### Индикатор (ПК-1.3.)

1. Классификация связей системы и параметров элементов.
2. Методы деструктуризации систем.
3. Основные составляющие математических моделей.
4. Сложность математических моделей.
5. Виды уравнений математического описания.
6. Требования к алгоритму решения задачи.
7. Требования к критерию оптимизации.
8. Составляющие критерия оптимизации. Его отличия от математической модели.
9. Разработка обобщенного критерия оптимизации.
10. Методы поиска оптимума для детерминированных моделей.
11. Методы поиска оптимума для статистических моделей.
12. Численные методы оптимизации функции одной переменной.
13. Уравнения линейного программирования.
14. Построение плана эксперимента.
15. Разработка уравнений регрессии.

#### **5.3.1. Перечень контрольных материалов для защиты лабораторных работ**

##### Индикатор (ПК-1.3.)

1. Приведите математическое описание разрабатываемой модели.
2. Обоснуйте алгоритм решения.
3. Обоснуйте критерий оптимизации.
4. Выполните анализ полученных результатов.

#### **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
<b>ПК-1</b> Способен разрабатывать методики и проводить технические расчеты при проектировании тепловых сетей, котельных, центральных тепловых пунктов, малых теплоэлектроцентралей, теплоэнергетических, теплотехнических и теплотехнологических объектов.	
<b>ПК-1.3.</b> Осуществляет постановку и решает оптимизационные задачи теплотехнических процессов	
Знание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Знает основные методы оптимизации теплотехнических процессов.</li> </ul>
Умение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Умеет формулировать цели и задачи оптимизации.</li> <li>• Умеет выбирать критерий оптимизации.</li> <li>• Умеет проводить оптимизационные расчеты.</li> <li>• Умеет анализировать полученные результаты и их адекватность.</li> </ul>
Владение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Владеет типовыми программными средствами для типовых и оптимизационных расчетов.</li> </ul>

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
Знает основные методы оптимизации теплотехнических 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
Умеет формулировать цели и задачи оптимизации.	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых ком-	Умение самостоятельно решать задачи в рамках содержания дисциплины и фор-	Умение самостоятельно ставить и решать задачи в рамках содержания дисци-

	компетенций.	петенций при наличии постоянного контроля.	мируемых компетенций, осуществлять базовые действия по применению полученных знаний на практике	плины и формируемых компетенций, получать результаты, готовые для использования в сфере деятельности выпускника, осуществлять правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике
Умеет выбирать критерий оптимизации.	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций.	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций при наличии постоянного 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
Умеет проводить оптимизационные расчеты.	Неумение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций.	Умение решать задачи в рамках содержания дисциплины и формируемых компетенций при наличии постоянного 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 приме-

				нению полученных знаний на практике
Умеет 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 постоянного 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
Владеет типовыми программными средствами для типовых и оптимизационных расчетов.	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 информационно-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. В.Г. Шухова, 12 компьютеров.
6	CFD Ansys Fluent	Бесплатная лицензия ANSYS Student для студен-

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
		тов (с ограничениями)

### 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

#### 6.3.1. Перечень основной литературы

1. Брусенцев, А.Г., Осипов О.В. Методы оптимизации : учебное пособие. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2017. – 263 с.

Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/80512.html> (для авторизир. пользователей)

2. Учаев П.Н., Чевычелов С.А., Учаева С.П. Оптимизация инженерных решений в примерах и задачах: учебное пособие; ред. П. Н. Учаев. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 175 с.

Печатных экз.: 9.

2. Олексюк А.А., Плужник А.В. Оптимизация источников теплоты и систем теплоснабжения: учебное пособие. – Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020. – 83 с.

Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/99385.html> (для авторизир. пользователей).

#### 6.3.2. Перечень дополнительной литературы

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

Печатные экземпляры, всего: 40.

2. 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.

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

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

5. 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.

6. 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).