

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Политехнический институт  
Кафедра промышленной энергетики

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИПТ  
 А. Н. Чадин  
26 08 2014 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ, АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ И СИСТЕМ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Учебный модуль по направлению подготовки  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Рабочая программа

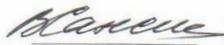
СОГЛАСОВАНО

Начальник УМУ

 Е.И.Грошев

26 08 2014 г.

Разработал  
Доцент кафедры ПРЭН

 В. Г. Сансиев

10 09 2014 г.

Принято на заседании кафедры  
Протокол № 1 от 10.09 2014 г.  
Заведующий кафедрой

 И. В. Швецов

10 09 2014 г.

## 1 Цели и задачи учебного модуля

Цели учебного модуля (УМ) "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике":

формирование у будущих бакалавров компетенций, необходимых для овладения базовыми теоретическими знаниями и практическими навыками работы в направлении успешной деятельности в области математического моделирования, алгоритмизации, оптимизации и использованию методологии системного анализа в теплоэнергетике.

Задачи УМ "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике":

изучение теоретических основ и методов моделирования, алгоритмизации и оптимизации объектов; принципов моделирования, методов оптимизации теплотехнических систем; основных принципов современных технологий управления теплотехническими объектами; приобретение умений и навыков построения математических моделей, разработке алгоритмов анализа теплотехнических свойств теплоносителей и методов оптимизации теплотехнического оборудования и режимов его работы.

## 2 Место учебного модуля в структуре ОП направления подготовки 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника"

Учебный модуль "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике" относится к модулям по выбору.

Для изучения данного УМ студент должен знать теоретические сведения в объеме курсов математики, физики, технической термодинамики, теоретической механики, гидравлики и гидрогазодинамики, теплообмена, энергосбережения в теплоэнергетике, теплотехники и теплотехнологии, котельных установок и парогенераторов, трансформации теплоты и теории горения, источников и систем теплоснабжения, теплообменного оборудования предприятий, теплогенерирующих установок и систем теплоснабжения.

В свою очередь учебный модуль "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике" является важным элементом для подготовки выпускной квалификационной работы.

Индекс модуля БЕ.ВВ3.1.

## 3 Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенции:

– ОПК-2 Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ОПК-2	Базовый уровень	- формулировки основных законов естественных наук, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика,	- применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	- типовыми методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального

		типовые методы математического анализа, физического и математического моделирования		исследования; - основными законами естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности теплоэнергетика
--	--	---	--	---

#### 4 Структура и содержание учебного модуля

##### 4.1 Трудоемкость учебного модуля

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		7	
<b>Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)</b>	6	6	
<b>Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ):</b>	216	216	
- лекции	36	36	ОПК-2
- практические занятия (семинары)	72	72	
- лабораторные работы	-	-	
- аудиторная СРС	18	18	
- внеаудиторная СРС	108	108	
<b>Аттестация:</b> - дифференцированный зачет*	-	-	

\*) зачет принимается в часы аудиторной СРС.

##### 4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

**1 Методы исследования теплотехнических систем.** Теплотехнические системы как объект математического моделирования. Сравнительная оценка основных подходов к исследованию теплотехнических систем.

**2 Математическое моделирование в теплоэнергетике.** Понятие модели. Типы моделей. Общие подходы к построению математических моделей. Классификация математических моделей в зависимости от способа их получения. Классификация и определение аналитических моделей процессов. Способы представления математических моделей.

**3 Алгоритмизация теплоэнергетических задач при расчете основного оборудования и тепловых схем энергетических установок.** Методы математического моделирования свойств теплоносителей. Расчет параметров воды и водяного пара. Математические модели стационарных процессов в регенеративных подогревателях. Моделирование тепловой схемы ТЭС.

**4 Математические модели теплоэнергетических объектов и процессов.** Математические модели теплопередающей стенки. Математические модели гидродинамики однофазного потока. Математические модели теплообменников. Математические модели парогенерирующих устройств по давлению и уровню.

**5 Оптимизационные задачи.** Понятие целевой функции. Основные принципы выбора целевой функции. Построение целевой функции. Оптимизация конфигурации тепловой сети. Применение линейного программирования в теплоэнергетических расчетах.

**6 Управление теплотехническими системами.** Основы современных подходов к

управлению теплотехническими системами. Технологические аспекты синтеза систем автоматического регулирования и автоматизированных систем управления технологическими процессами. Управление теплотехническими системами по критерию экономии топлива.

#### 4.3 Темы и содержание практических занятий

Практические занятия (семинары)	Трудоемкость, АЧ
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. Методика выбора существенных факторов и параметров при моделировании и оптимизации систем теплоснабжения. Основы моделирования процессов тепломассопереноса, теплообменных аппаратов и тепловых сетей.	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. Примеры приложения теории подобия и размерностей к решению задач. Автомодельные решения для задач теплоэнергетики. Принципы построения дифференциальных моделей теплоэнергетических процессов и объектов. Составление и исследование реологических моделей аномальных жидкостей.	20
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. Алгоритмизация расчета термодинамических параметров рабочего тела при моделировании ТЭС. Технология работы в среде Excel. Отладка и оптимизация "программы" в среде Excel.	8
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. Использование основных законов в моделях тепловых процессов. Получение моделей различной степени приближения. Модели тепловых процессов потока в трубе. Математические модели теплопередающей стенки. Гидродинамические модели однофазного потока. Математические модели и динамические характеристики теплообменников. Переходные характеристики распределенных моделей. Математические модели парогенерирующих устройств.	12
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. Задача линейного программирования. Каноническая форма задачи линейного программирования и методика ее получения. Геометрическая интерпретация задачи линейного программирования, области допустимых планов. Методика определения оптимальных планов. Симплекс-метод. Задача оптимизации системы теплоснабжения.	20
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. Математическое моделирование в задачах управления ТЭС. Последовательный многошаговый синтез оптимальных управлений. Оптимальное управление линейными объектами.	8
<b>Итого за 7 семестр:</b>	<b>72</b>

**4.4 Самостоятельная работа студентов** включает работу с интернет-источниками, предоставляющими свободный доступ к демо-версиям программных продуктов, проработку полученных на занятиях теоретических знаний с использованием дополнительной литературы и специализированных интернет-сайтов, анализ литературных и интернет-источников для выполнения контрольных работ, индивидуальных домашних заданий и докладов-презентаций.

#### 4.5 Организация изучения учебного модуля

Методические рекомендации по организации изучения УМ с учетом использования в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий даются в Приложении А.

### 5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества освоения модуля используются формы контроля: текущий – регулярно в течение всего семестра, рубежный и семестровый (дифференцированный зачет) – по окончании изучения УМ.

Рубежная аттестация на 9 неделе проводится по результатам рубежного контроля. Пороговому уровню соответствует 65 баллов, максимальное количество баллов – 130.

Рубежная аттестация предполагает использование результатов текущего контроля: выполнение индивидуального домашнего задания, контрольных работ, докладов-презентаций, текущего опроса, систематичности работы и творческого рейтинга (участие в конференции, публикации, творческие идеи).

Максимальное количество баллов по модулю – 300.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с положением "О фонде оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации студентов и итоговой аттестации выпускников".

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: контрольные работы, опрос, доклад.

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение Б).

**6 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля** представлено **Картой учебно-методического обеспечения** (Приложение Г)

### **7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля**

Для осуществления образовательного процесса по модулю используются лекционные аудитории, оборудованные мультимедийными средствами.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций ПрОП ВО по направлению подготовки 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" и профилю "Промышленная теплоэнергетика".

#### **Приложения (обязательные):**

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта

В – Паспорт компетенции ОПК-2

Г – Карта учебно-методического обеспечения УМ

Д – Перечень тем, предлагаемых для докладов-презентаций

Е – Полный перечень возможных вопросов по темам разделов УМ

## **Приложение А (обязательное)**

### **Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике"**

Учебный модуль "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике" состоит из взаимосвязанных разделов, по которым предусмотрены лекционные и практические занятия. УМ основан на изучении теоретических основ и методов моделирования, алгоритмизации и оптимизации объектов; принципов моделирования, методов оптимизации теплотехнических систем; основных принципов современных технологий управления теплотехническими объектами.

В таблице А.1 отражены разделы модуля, технологии и формы проведения занятий, задания по самостоятельной работе студента и ссылки на необходимую литературу.

#### **А.1 Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля**

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний об основах и принципах методов моделирования, алгоритмизации и оптимизации объектов; методов оптимизации теплотехнических систем; основных принципов современных технологий управления теплотехническими объектами.

Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующего раздела и указана в таблице 1 Приложения Г.

#### **А.2 Методические рекомендации по практическим занятиям**

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и выработка у студентов умения решать задачи по практическим аспектам учебного модуля.

Практические занятия строятся следующим образом:

- 50% аудиторного времени отводится на объяснение решения типовых задач у доски;
- 40% аудиторного времени – самостоятельное решение задач студентами;
- 10% аудиторного времени в конце текущего занятия – разбор типовых ошибок при решении задач.

Контрольные работы проводятся после освоения студентами теоретического материала и тренинга по решению задач по следующим разделам:

- математическое моделирование в теплоэнергетике;
- оптимизационные задачи.

На практических занятиях проходит обсуждение докладов студентов. Примерные темы докладов:

- 1 Моделирование закрученных потоков в вихревых камерах сгорания.
- 2 Моделирование теплообменного энергетического оборудования.
- 3 Моделирование аэродинамических процессов в топке котла.

Полный перечень предлагаемых тем докладов приведен в приложении Д.

#### **А.4 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов включает проработку полученных на занятиях теоретических знаний с использованием дополнительной литературы и специализированных интернет-сайтов (например, <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>, <http://www.diagram.com.ua/library/energ-alternativnaya-energiya/>, <http://www.ensor.ru/>, <http://energetiku.jimdo.com>, <http://foraenergy.ru/>,

<http://alternativenergy.ru/>), анализ литературных и интернет-источников для выполнения контрольных работ.

Примеры разноуровневых задач с решением представлены в учебных пособиях:

- Липов Ю. М. Котельные установки и парогенераторы : учеб. для вузов. - 2-е изд., испр. - М. : R&C Dinamics. ; Ижевск : РХД, 2005. - 591 с.
- Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 294.
- Ртищева А.С. Методы моделирования теплоэнергетических процессов: Методические указания к лабораторным работам. - Ульяновск: УлГТУ, 2007. - 53 с.

**Раздел 1 Методы исследования теплотехнических систем.** Темы этого раздела следующие: теплотехнические системы как объект математического моделирования; сравнительная оценка основных подходов к исследованию теплотехнических систем.

Как правило, в начале лекции проводится опрос для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Опрос по разделу 1 состоит из следующих вопросов, например:

1. Охарактеризуйте теплотехническую систему как объект математического моделирования.
2. Какие существуют подходы к моделированию теплотехнических систем.
3. Цель применения моделирования при исследовании сложных теплотехнических систем.
4. В каких случаях предпочтительнее применять физическое моделирование, а в каких абстрактное?

Перечень всех возможных вопросов по темам приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из рассмотрения общих подходов к моделированию топочных, теплообменных и гидродинамических процессов. Занятия проводятся в виде презентаций и обсуждения конкретных примеров оценки и получения количественных характеристик различных факторов, влияющих на теплоэнергетические процессы.

Для внеаудиторной СРС по разделу 1 рекомендуется следующая литература:

- Липов Ю. М. Котельные установки и парогенераторы : учеб. для вузов. - 2-е изд., испр. - М. : R&C Dinamics. ; Ижевск : РХД, 2005. - 591 с.
- Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.

**Раздел 2. Математическое моделирование в теплоэнергетике.** Темы этого раздела следующие: понятие модели; типы моделей; общие подходы к построению математических моделей; классификация математических моделей в зависимости от способа их получения; классификация и определение аналитических моделей процессов; способы представления математических моделей.

Опрос по разделу 2 состоит из следующих вопросов, например:

1. Что называют математическим моделированием?
2. Какие модели называют дифференциальными?
3. Как оценить адекватность математической модели?
4. Алгебраические модели.

Перечень всех возможных вопросов по темам приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

1. Построить дифференциальную модель истечения воды из малого отверстия в днище конической емкости и определить время полного истечения воды. Диаметр верхнего основания 3 м, нижнего 2 м. Диаметр сливного отверстия 4 см.  $H=2$  м.
2. В резервуар налито 1000 кг водного р-ра соли, содержащего 50 кг соли. После открытия вентиля в резервуар подается 5 кг/с чистой воды. Одновременно с первым вентиляем открывается второй вентиль отводящей трубы, через которую отводится 5 кг/с р-ра. Жидкость в резервуаре непрерывно перемешивается. Как меняется со временем кол-во соли в резервуаре?

3. Цилиндрический сосуд с вертикальной осью и диаметром 1 м наполнен водой до уровня 2 м. В днище сосуда отверстие диаметром 3 см. Определить время, за которое уровень жидкости снизится на 0,5 м и время полного опорожнения сосуда.

Внеаудиторная СРС заключается в решении задач по теме и подготовке к выполнению контрольной работы. Для внеаудиторной СРС по разделу 2 рекомендуется следующая литература:

1. Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.
2. Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 294.
3. Яковенко П.Г. Моделирование систем: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 106 с.

**Раздел 3. Алгоритмизация теплоэнергетических задач при расчете основного оборудования и тепловых схем энергетических установок.** Темы этого раздела следующие: методы математического моделирования свойств теплоносителей; расчет параметров воды и водяного пара; математические модели стационарных процессов в регенеративных подогревателях; моделирование тепловой схемы ТЭС.

Опрос по разделу 3 состоит из следующих вопросов, например:

1. Дайте общее понятие алгоритма
2. Какими свойствами обладает алгоритм?
3. Какие формы записи алгоритмов вам известны?
4. Чем объясняется разнообразие форм записи алгоритма?

Перечень всех возможных вопросов по теме приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

1. Составить алгоритм вычисления времени истечения жидкости из цилиндрической емкости через малое отверстие в днище.
2. Составить алгоритм расчета параметров потока идеального газа в сопле Лаваля.
3. Составить блок-схему алгоритма задачи: найти наименьшее число членов ряда натуральных чисел, сумма которых превышает число  $K$ .

Внеаудиторная СРС заключается в решении задач по теме и подготовке к выполнению контрольной работы. Для внеаудиторной СРС по разделу 3 рекомендуется следующая литература:

1. Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.
2. Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 294.
3. Яковенко П.Г. Моделирование систем: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 106 с.

**Раздел 4. Математические модели теплоэнергетических объектов и процессов.** Темы этого раздела следующие: математические модели теплопередающей стенки, математические модели гидродинамики однофазного потока, математические модели теплообменников, математические модели парогенерирующих устройств по давлению и уровню.

Опрос по разделу 4 состоит из следующих вопросов, например:

1. Уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки.
2. Что называют радиационным теплообменом?
3. Изменение температуры по толщине плоской стенки.
4. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры стенки трубы.

Практические занятия состоят из обсуждения возможностей имитационного моделирования и общих подходах к построению имитационных моделей применительно к теплоэнергетике.

Для внеаудиторной СРС по разделу 4 рекомендуется следующая литература:

– Липов Ю. М. Котельные установки и парогенераторы : учеб. для вузов. - 2-е изд., испр. - М. : R&C Dynamics. ; Ижевск : РХД, 2005. - 591с.

- Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.
- Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 294.
- Яковенко П.Г. Моделирование систем: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 106 с.

**Раздел 5. Оптимизационные задачи.** Темы этого раздела следующие: понятие целевой функции, основные принципы выбора целевой функции, построение целевой функции, оптимизация конфигурации тепловой сети, применение линейного программирования в теплоэнергетических расчетах.

Опрос по разделу 5 состоит из следующих вопросов, например:

1. Что называют целевой функцией?
2. Симплекс-метод решения задач линейного программирования.
3. Какую задачу называют задачей безусловной оптимизации?
4. Необходимое условие экстремума.
5. Метод расчета критического диаметра изоляции трубопровода.

Перечень всех возможных вопросов по теме приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из решения разноуровневых задач, например:

1. Оцените целесообразность использования асбеста для тепловой изоляции трубы с внешним диаметром 20 мм. Коэффициент теплопроводности асбеста  $\lambda=0,1$  Вт/(мК), коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду  $\alpha_2 = 5$  Вт/(м<sup>2</sup>К).
2. Вписать в круг прямоугольник наибольшей площади.
3. Предприятие производит  $n$  видов продукции, каждый из которых проходит обработку на  $m$  видах оборудования.  $a_{ij}$ ,  $m_j$ ,  $n_{ij} = 1, L, \dots, = 1, L$ , – трудоемкость изготовления одной единицы продукции  $j$ -го вида на  $i$ -м виде оборудования;  $b_i$ ,  $i = 1, L, m$  – годовой фонд времени работы оборудования  $i$ -го вида;  $c_j$ ,  $n_j$ ,  $j = 1, L$ , – прибыль с одной единицы продукции  $j$ -го вида;  $u_j$ ,  $u_j^*$ ,  $j = 1, \dots, n^* = L$  – директивные задания на год по  $j$ -му виду продукции (продукция  $j$ -го вида должна быть выпущена в количестве не менее  $u_j$  единиц и не более  $u_j^*$  единиц). Требуется составить годовой план работы предприятия, удовлетворяющий директивным заданиям по выпуску всех видов продукции, трудоемкость которого не превосходит годового фонда времени работы по каждому виду оборудования, и при этом получить максимум прибыли от реализации изготовленной продукции.

Внеаудиторная СРС заключается в решении задач по теме и подготовке к выполнению контрольной работы. Для внеаудиторной СРС по разделу 5 рекомендуется следующая литература:

1. Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.
2. Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 294.
3. Яковенко П.Г. Моделирование систем: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 106 с.
4. Ромашова О.Ю. Методы оптимизации и расчеты на ЭВМ технико-экономических задач: учебное пособие. - Томск : Изд-во ТПУ, 2009. - 210 с.

**Раздел 6. Управление теплотехническими системами.** Темы этого раздела следующие: основы современных подходов к управлению теплотехническими системами, технологические аспекты синтеза систем автоматического регулирования и автоматизированных систем управления технологическими процессами, управление теплотехническими системами по критерию экономии топлива.

Опрос по разделу 6 состоит из следующих вопросов, например:

1. Управление теплотехническими системами по критерию экономии топлива.
2. Критерии эффективности работы САР теплотехническими объектами.

3. Особенности выбора регулирующих органов в теплотехнических системах.
  4. Критерии эффективности работы САР теплотехническими объектами.
- Перечень всех возможных вопросов по теме приведен в приложении Е.

Практические занятия состоят из обсуждения перспектив и возможностей систем управления теплотехническими системами.

Для внеаудиторной СРС по разделу 6 рекомендуется следующая литература:

1. Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов: учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с.
2. Ощепков А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB :учеб. пособие /А. Ю. Ощепков. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 208 с.
3. Бржозовский Б. М. Управление системами и процессами : учебник : для вузов / Б. М. Бржозовский, В. В. Мартынов, А. Г. Схиртладзе. - Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 295 с.

**Приложение Б  
(обязательное)**

**Технологическая карта  
учебного модуля "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике":  
семестр 7, ЗЕТ 6, вид аттестации - ДЗ, академических часов - 216, баллов рейтинга 300**

№ и наименование раздела учебного модуля, КП/КР	№ неде- ли сем.	Трудоемкость, ак. час					СРС	Форма текущего контроля успев. (в соотв. с паспортом ФОС)	Максим. кол-во баллов рейтинга
		Аудиторные занятия							
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС				
1 Методы исследования теплотехнических систем.	1	2	4	-	-	6	Опрос	10	
2 Математическое моделирование в теплоэнергетике.	2-6	10	20	-	6	30	Контрольная работа 1 Контрольная работа 2 Опрос	50 50 10	
3 Алгоритмизация теплоэнергетических задач при расчете основного оборудования и тепловых схем энергетических установок.	7-8	4	8	-	3	12	Опрос	10	
Рубежный контроль	9	16	32		9	48		130	
Рубежная аттестация – не менее 65 баллов из 130									
4 Математические модели теплоэнергетических объектов и процессов	9-11	6	12	-	2	18	Опрос	10	
5 Оптимизационные задачи.	12-16	10	20		6	30	Контрольная работа 3 Опрос	50 10	
6 Управление теплотехническими системами.	17-18	4	8	-	1	12	Опрос	10	
Рубежный контроль	18	20	40		9	60	Доклад-презентация	40	
Итоговый контроль	18	36	72	-	18	108	Домашнее задание	50	
<b>Итого:</b>		<b>36</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>108</b>		<b>300</b>	

Критерии оценки качества освоения студентами дисциплины

(в соответствии с Положением "Об организации учебного процесса по образовательным программам высшего образования"):

- оценка "удовлетворительно" – от 150 до 209 баллов;
- оценка "хорошо" – от 210 до 269 баллов;
- оценка "отлично" – от 270 до 300 баллов.

**Приложение В**  
**Паспорт компетенции ОПК-2**

**ОПК-2 Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования**

Ур ов ни	Показатели	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый уровень	Знает основные законы естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Недооценивает роли законов естественнонаучных дисциплин для использования в профессиональной деятельности	Осознает важность знания основных естественнонаучных дисциплин для использования в профессиональной деятельности	Имеет общее представление об основных законах естественнонаучных дисциплин, которые могут быть использованы в профессиональной деятельности теплоэнергетика
	Умеет применять основные законы естественнонаучных дисциплин профессиональной деятельности	Недооценивает важности умения применять основные законы естественнонаучных дисциплин профессиональной деятельности	Испытывает затруднения в применении основных законов естественнонаучных дисциплин	Мотивирован на применение основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Недооценивает важности владения методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Осознает важность овладения методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Имеет общие представления о методах математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования

Базовый уровень	Знает основные законы естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Недостаточно знаком с основными методами математического анализа, физического и математического моделирования объектов и процессов	Демонстрирует способности в познании и формулировках основных законов естественных наук, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Демонстрирует способности в познании и формулировках основных законов естественных наук, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика, показывает способности владения типовыми методами математического анализа, физического и математического моделирования
	Умеет применять основные законы естественнонаучных дисциплин профессиональной деятельности	Испытывает затруднения в формулировках основных законов естественных наук	Демонстрирует способности в применении основных законов естественнонаучных дисциплин профессиональной деятельности	Умеет применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Испытывает трудности в овладении типовыми методами математического анализа, физического и математического моделирования	Показывает успехи в овладении типовыми методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Владеет типовыми методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования
Повышенный уровень	Знает основные законы естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Демонстрирует успехи в изучении основных законов естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Знает основные законы естественнонаучных дисциплин, применяемых в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Успешно использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности теплоэнергетика

	Умеет применять основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Демонстрирует успехи в применении основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности теплоэнергетика	Готов к применению основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Успешно применяет основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Показывает успехи в овладении методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Владеет методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Демонстрирует уверенное владение методами математического анализа, физического и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования и применяет их в профессиональной деятельности

**Приложение Г  
(обязательное)**

**Карта учебно-методического обеспечения  
учебного модуля "Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в  
теплоэнергетике"**

**Направление 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника"**

Формы обучения очная

Курс 4 Семестр 7

Часов: всего 216, лекций 36, практ. зан. 72, СРС и виды индивидуальной работы (курсовая работа, КП) 108

Обеспечивающая кафедра – ПРЭН

Таблица 1- Обеспечение учебного модуля учебными изданиями

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Липов Ю. М. Котельные установки и парогенераторы : учеб. для вузов. - 2-е изд., испр. - М. : R&C Dinamics. ; Ижевск : РХД, 2005. - 591с.	21	
Советов Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов. - 6-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. – 342 с.	16	
Советов Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учеб. пособие для вузов. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2009. - 294	15	
Ощепков А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB : учеб. пособие / А. Ю. Ощепков. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 208 с.	10	
Бржозовский Б. М. Управление системами и процессами : учебник : для вузов / Б. М. Бржозовский, В. В. Мартынов, А. Г. Схиртладзе. - Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 295 с.	15	
Готовский М.А. Основы научных исследований теплогидродинамических процессов[Электронный ресурс]: Учебное пособие. - СПб.: СПбГТУРП, 2007.- 92 с. Режим доступа: <a href="http://window.edu.ru/resource/138/76138">http://window.edu.ru/resource/138/76138</a>		
Ртищева А.С. Методы моделирования теплоэнергетических процессов[Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторным работам. - Ульяновск: УлГТУ, 2007. - 53 с. Режим доступа: <a href="http://window.edu.ru/library/pdf2txt/870/48870/24158">http://window.edu.ru/library/pdf2txt/870/48870/24158</a>		
Ромашова О.Ю. Методы оптимизации и расчеты на ЭВМ технико-экономических задач[Электронный ресурс]: Учебное пособие. - Томск : Изд-во ТПУ, 2009. - 210 с. Режим доступа: <a href="http://portal.tpu.ru/SHARED/r/ROMA/education/MORT/Tab/Part1.pdf">http://portal.tpu.ru/SHARED/r/ROMA/education/MORT/Tab/Part1.pdf</a>		
Яковенко П.Г. Моделирование систем[Электронный ресурс]: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 106 с. Режим доступа: <a href="http://window.edu.ru/resource/880/73880">http://window.edu.ru/resource/880/73880</a>		

Таблица 2 - Обеспечение дисциплины учебно-методическими изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Вид занятия, в котором использов.	Число часов, обеспеч. изданием	Кол. экз. на каф.	Примечание
1. Моделирование, алгоритмизация и оптимизация элементов и систем в теплоэнергетике. Рабочая программа дисциплины для направления 13.03.01- "Промышленная теплоэнергетика"/Сост. Сансиев В.Г.;НовГУ имени Ярослава Мудрого – Великий Новгород, 2014 - 20с.	Лекции, практические занятия, СРС		1	

Таблица 3 – Информационное обеспечение учебного модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание
Бесплатная техническая библиотека по энергетике	<a href="http://www.diagram.com.ua/library/energy-energetika/">http://www.diagram.com.ua/library/energy-energetika/</a>	
Сайт "В помощь энергетикю"	<a href="http://energetiku.jimdo.com">http://energetiku.jimdo.com</a>	
Сайт "Энергетика"	<a href="http://foraenergy.ru/">http://foraenergy.ru/</a>	
Сайт "Мир математических уравнений"	<a href="http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm">http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm</a>	

Действительно для учебного года \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ И. В. Швецов

\_\_\_\_\_ 2014 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ:

\_\_\_\_\_

должность

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка

**Приложение Д**  
**Перечень предлагаемых тем для докладов-презентаций**

1. Моделирование аэродинамических процессов в топке котла.
2. Моделирование газожидкостных систем.
3. Моделирование и оптимизация системы теплоснабжения.
4. Программные продукты для моделирования движения жидкостей и газов в трубопроводах.
5. Программные продукты для моделирования движения жидкостей и газов в каналах сложной формы.
6. Моделирование закрученных потоков в вихревых камерах сгорания.
7. Математическое моделирование в технологии обработки воды.
8. Моделирование теплообменного энергетического оборудования.
9. Моделирование факельных процессов горения.
10. Моделирование гидравлического удара.
11. Моделирование шумопоглотителей ТЭС.
12. Моделирование кавитационных процессов.
13. Моделирование гидродинамических процессов в турбинах и компрессорах.
14. Способы визуализации потоков при физическом моделировании движения жидкостей и газов.
15. Имитационное моделирование в теплоэнергетике.

## Приложение Е

### Перечень вопросов по темам разделов модуля

Вопросы к разделу 1:

1. Охарактеризуйте теплотехническую систему как объект математического моделирования.
2. Какие существуют подходы к моделированию теплотехнических систем.
3. Цель применения моделирования при исследовании сложных теплотехнических систем.
4. В каких случаях предпочтительнее применять физическое моделирование, а в каких абстрактное?
5. Автоматизированные системы для моделирования теплоэнергетического оборудования.
6. Цели и задачи моделирования и оптимизации теплотехнологических процессов, установок и систем.
7. Влияние теплоэнергоустановок на процессы в биосфере и окружающей среде.
8. Централизованное теплоснабжение как объект системных исследований.
9. Последовательность решения сложных задач с использованием методологии системных исследований.
10. Постановка задачи оптимизации энерготехнологической системы по энергетическому, экологическому и экономическому критериям.

Вопросы к разделу 2:

1. Что называют математическим моделированием?
2. Какие модели называют дифференциальными?
3. Как оценить адекватность математической модели?
4. Алгебраические модели.
5. Определите понятия моделирование и модель.
6. Понятия оптимального и рационального решения модели.
7. Этапы математического моделирования.
8. Классификация моделей по назначению и средствам создания.
9. Понятия: система, организационная система, системный подход к исследованию технических систем и процессов.
10. Роль разработчика в создании и исследовании математической модели.

Вопросы к разделу 3:

1. Постановка задачи оптимизации энерготехнологической системы.
2. Понятие алгоритма и его свойства.
3. Способы представления алгоритмов.
4. Примеры классических алгоритмов.
5. Организация ввода/вывода информации.
6. Отладка и тестирование программ и алгоритмов.
7. Методы проектирования эффективных программных алгоритмов на основе объектно-ориентированного подхода.
8. Высокоуровневое проектирование программы.
9. Практический подход к программированию как к инженерной деятельности.
10. Разбиение алгоритма на подзадачи.

Вопросы к разделу 4:

1. Уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки.
2. Что называют радиационным теплообменом?
3. Изменение температуры по толщине плоской стенки.
4. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры стенки трубы.
5. Вывод уравнения теплопроводности для стенки трубы.

6. Что называют тепловым потоком?
7. Декомпозиция математической модели объекта по агрегатам.
8. Особенности моделирования парогенерирующих устройств.
9. Как учитывается неоднородность среды в парогенерирующих устройствах?
10. Этапы создания математических моделей теплоэнергетических процессов.

Вопросы к разделу 5:

1. Математическая постановка задачи оптимизации.
2. Линейное и нелинейное программирование.
3. Оптимизация функции одной переменной и функции многих переменных.
4. Методы безусловной и условной оптимизации.
5. Целевая функция. Примеры целевых функций.
6. Примеры оптимизационных задач в расчетах оборудования и тепловых схем ТЭС.
7. Графическое решение задачи линейного программирования.
8. Симплексный метод.
9. Определите задачу линейного программирования.
10. Как привести задачу линейного программирования к каноническому виду?

Вопросы к разделу 6:

1. Современные подходы в теории управления.
2. Структура и состав автоматизированных систем управления технологическими процессами теплотехнических систем.
3. Задачи автоматизации промышленных объектов.
4. Основные принципы и законы регулирования, их недостатки и преимущества.
5. Классификация систем автоматизированного регулирования.
6. Основные этапы синтеза систем автоматического регулирования и автоматизированных систем управления технологическими процессами.
7. Особенности управления системами со сосредоточенными параметрами.
8. Особенности управления системами с распределенными параметрами.
9. Оптимальные, многосвязные и адаптивные системы управления.
10. Измерительные средства, применяемые в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике.

## Приложение Ж

### Индивидуальное домашнее задание

Кожухотрубный аппарат предназначен для охлаждения газа. Расход газа, поступающего в межтрубное пространство, равен  $G \text{ м}^3/\text{ч}$ . Охлаждение газа происходит от температуры  $T_{Г1}$  до  $T_{Г2}$ . Абсолютной давление газа  $p_1$ . Для охлаждения используется вода, которая поступает в трубное пространство при температуре  $T_{В1}$ .

1. Предложить и согласовать с преподавателем математическую модель кожухотрубного теплообменного аппарата и исходные данные.
2. Провести библиографический и интернет-поиск по теме домашнего задания.
2. Составить алгоритм расчета ТОА в виде блок-схемы или текстового описания
3. Выбрать типовой вариант ТОА.
4. Составить схему процесса теплопередачи.
5. Определить ориентировочную площадь поверхности теплообмена.
6. Рассчитать площадь поверхности теплообмена.
7. Проверить допустимость применения аппарата, выбранного из типовых.
8. Составить программу расчета и провести вычислительный эксперимент. Полученные зависимости оформить графически.
10. Оформить домашнее задание в соответствии со стандартом.