

**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 заочного обучения

  
М.Н. Нестеров

« 30 » ноября 201 5 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института

  
А.В. Белоусов

« 1 » декабря 201 5 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

**ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОТЫ**

направление подготовки (специальность):

**13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Направленность программы (профиль):

**Энергетика теплотехнологий**

Квалификация

**бакалавр**

Форма обучения

**заочная**

**Институт: Энергетический**

**Кафедра: Энергетики теплотехнологии**

Белгород – 2015


Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 01 октября 2015 г., № 1081.
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент  (И.А. Щетинина)


Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры **энергетики теплотехнологии**

« 16 » ноября 201 5 г., протокол № 3

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, профессор  (В.П. Кожевников)

Рабочая программа одобрена методической комиссией энергетического института

« 19 » ноября 201 5 г., протокол № 3

Председатель: канд. техн. наук, доцент  (А.Н. Семернин)

# 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
Общепрофессиональные			
1	ОПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> основные термодинамические процессы и термодинамические циклы, применяемые в процессе трансформации теплоты, основы физического и математического моделирования трансформации теплоты в другие виды энергии</p> <p><b>Уметь:</b> проводить анализ основных термодинамических процессов и термодинамических циклов в процессе трансформации теплоты, производить расчет физических величин термодинамических процессов и термодинамических циклов, используемых в процессе трансформации теплоты</p> <p><b>Владеть:</b> навыками расчёта величин термодинамических процессов и термодинамических циклов, применяемых в процессе трансформации теплоты, определения параметров рабочего тела с помощью стандартных средств измерения</p>
Профессиональные			
1	ПК-10	Способность к участию в работах по проведению расчетов по доводке и освоению доводочных технологических процессов, проектированию технологического оборудования с использованием стандартных средств автоматизации	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> фундаментальные законы термодинамических процессов и термодинамических циклов, применяемых в процессе трансформации теплоты, стандартные средства измерения физических величин и параметров тепловой энергии с использованием средств автоматизации</p> <p><b>Уметь:</b> определять термодинамическое совершенство действующих и</p>

	проектирование в соответствии с техническим заданием	проектируемых установок трансформации теплоты <b>Владеть:</b> методами термодинамического анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнологических процессов при трансформации теплоты; методиками проведения расчетов физических величин в процессе трансформации тепловой энергии
--	--	--

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Высшая математика
2	Физика
3	Информационные и сетевые технологии
4	Техническая термодинамика
5	Тепломассообмен
6	Тепломеханическое оборудование промышленных предприятий
7	Источники энергии теплоэнергетики
8	Теплофизические основы и организация технологических процессов

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки
2	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии
3	Проектирование и эксплуатация высокотемпературных установок
4	Источники и системы энергоснабжения предприятий
5	Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4зач. единицы, 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	144
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	16	16
лекции	6	6
лабораторные	0	0
практические	10	10
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	128	128

Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	36	36
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	92	92
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	Диф. зачёт	Диф. зачёт

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1 Наименование тем, их содержание и объём

##### Курс 4 Семестр №7

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	Введение				
	Назначение трансформаторов тепла. Классификация. Области применения трансформаторов тепла. Перспективы развития установок трансформации тепла. Роль трансформаторов тепла в системах термостабилизации различных объектов. Основные требования по удельным затратам энергии, эффективности и надежности. Коэффициенты, определяющие эффективность. Целые коэффициенты и КПД.	1	2		20
2.	Эксергетический метод термодинамического анализа трансформаторов тепла.				

	Упорядоченные и неупорядоченные виды энергии. Определение эксэргии различных видов энергии. Коэффициенты работоспособности. Характерные зоны искусственного холода. Применение эксергетического метода анализа к установкам и системам. Эксергетический КПД.	1	2		20
3. Хладагенты и хладоносители.					
	Выбор хладагентов и хладоносителей для трансформаторов тепла. Основные требования к свойствам этих рабочих агентов: термодинамические, технические и экологические. Зависимость свойств фреонов от их состава. Определение озонактивных потенциалов и выбор оптимальных хладагентов.	1	2		20
4. Парокомпрессионные холодильные и теплонасосные установки					
	Реальные процессы работы парожидкостных трансформаторов тепла. Схемы и процессы в термодинамических диаграммах (T- S, e-h, h-lgp). Схемы одноступенчатых и многоступенчатых трансформаторов тепла, метод расчета. Удельные затраты энергии и эксергетический КПД термотрансформаторов и систем термостабилизации. Методы расчета многоступенчатых и каскадных трансформаторов тепла. «Тепловые насосы». Схемы и метод расчета. Определение коэффициента трансформации ( $\mu$ ) и КПД ( $\rho$ ). Схемы	1	2		20
5. Газовые компрессионные трансформаторы тепла					
	Особенности процессов газовых трансформаторов тепла необходимые для условий работы объектов термостабилизации. Преимущества и недостатки газовых установок. Основные показатели. Схемы и реальные процессы работы газовых трансформаторов тепла. Газовые трансформаторы с регенерацией. Регенераторы газовых установок. Схема включения, конструкции и системы переключения, принцип работы и основные преимущества их применения в системах хладообеспечения. Методы расчета газовых трансформаторов со стационарными процессами. Газовые трансформаторы с разомкнутыми процессами. Газовые установки с нестационарными процессами. Машина «Филипс» (цикл Стирлинга, схема, принцип работы).	2	2		12
	ВСЕГО	6	10		92

#### 4.2 Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр №5				
1		Парокомпрессионных трансформаторов тепла.	2	15
2		Газовых трансформаторов тепла с замкнутыми и разомкнутыми процессами	2	15
3		Абсорбционных холодильных установок	2	15
4		Пароожektorных холодильных установок	2	15
5		Вихревых установок	1	15
6		Полупроводниковых холодильных установок	1	17
ИТОГО:			10	92

#### 2.2. Содержание лабораторных занятий

- учебным планом не предусмотрены

### 3. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Введение в теплотехнологию промышленных производств	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение трансформатора теплоты. Назначение трансформаторов теплоты.</li> <li>2. Основные принципы классификации трансформаторов теплоты.</li> <li>3. Классификация процессов трансформации теплоты в зависимости от температурного уровня верхнего и нижнего источников.</li> <li>4. Исторические этапы и перспективы развития установок для трансформации теплоты.</li> </ol>
2	Теоретические основы теплотехники	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. С помощью тепловых TS-, iS-, и Pi - диаграмм дать общую характеристику рабочих тел трансформаторов теплоты.</li> <li>6. Что такое температура тройной точки?</li> <li>7. Как влияет взаимное расположение верхней и нижней пограничных кривых на удельную тепло- и хладопроизводительность трансформатора теплоты?</li> <li>8. Что такое температура инверсии?</li> </ol>

		<p>9. Анализ требований, предъявляемых к холодильным агентам, и сопоставление их с рабочими телами теплонасосных установок.</p> <p>10. Перечислите наиболее распространённые рабочие тела пароконденсационных трансформаторов теплоты.</p> <p>11. Какие рабочие тела применяют в газовых холодильных установках?</p> <p>12. Характеристика рабочих агентов и абсорбентов</p>
3	<p>Основные закономерности теплотехнологий</p>	<p>13. Дайте определение сорбции жидкими и твёрдыми веществами.</p> <p>14. Основные требования к хладо- и теплоносителям в установках для трансформации теплоты. Дайте определение сорбции жидкими и твёрдыми веществами.</p> <p>15. Основные требования к хладо- и теплоносителям в установках для трансформации теплоты.</p> <p>16. Принципиальная схема и процесс работы идеального пароконденсационного трансформатора теплоты.</p> <p>17. Составьте энергетический баланс идеального пароконденсационного трансформатора теплоты.</p> <p>18. Дайте определение холодильного коэффициента и диапазон его значений.</p> <p>19. Что такое коэффициент преобразования теплоты.</p> <p>20. Принципиальная схема и процесс работы реального пароконденсационного трансформатора теплоты в TS-, iS-, и Pi - диаграммах.</p> <p>21. Отличие схемы и процесса реального парового конденсационного трансформатора теплоты от идеального.</p> <p>22. Определение удельной затраты работы и КПД пароконденсационного трансформатора теплоты.</p> <p>23. Сущность методики расчёта одноступенчатой пароконденсационной холодильной установки.</p> <p>24. Влияние температуры испарения и конденсации на холодильный коэффициент и КПД одноступенчатой холодильной установки.</p> <p>25. Одноступенчатая пароконденсационная теплонасосная установка и её элементарный тепловой расчёт.</p> <p>26. Чем обусловлен переход к многоступенчатым пароконденсационным трансформаторам тепла?</p> <p>27. Принципиальная схема и изображение процесса работы многоступенчатой пароконденсационной холодильной установки в TS - диаграмме.</p> <p>28. Элементарный тепловой расчёт многоступенчатой пароконденсационной холодильной установки.</p> <p>29. Упрощённый алгоритм расчёта многоступенчатого теплового насоса.</p> <p>30. Область рационального применения двухступенчатого теплового насоса для отопительных целей.</p> <p>31. Чем обусловлен переход к каскадным рефрижераторным установкам?</p> <p>32. Область рационального применения различных типов нагнетательных машин в пароконденсационных трансформаторах теплоты.</p> <p>33. От каких факторов зависит коэффициент подачи</p>



		<p>компрессора?</p> <p>34. Сопоставьте идеальную и реальную индикаторные диаграммы компрессора.</p> <p>35. Какие конструктивные параметры компрессора влияют на его индикаторный КПД? Причина перехода к многоступенчатому сжатию.</p>
4	Промышленные реакторы	<p>36. Характеристика теплообменных аппаратов</p> <p>37. парокompрессионного трансформатора теплоты. Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы поршневого компрессора и влияние их на характеристику компрессора.</p> <p>38. Объёмные и энергетические характеристики компрессора.</p> <p>39. Определите мощность привода компрессора по его индикаторной диаграмме.</p> <p>40. Работа испарителя при изменении положения регулирующего вентиля.</p> <p>41. Расчёт переменного режима работы испарителя.</p> <p>42. Как изменяется температурный режим испарителя при перекрытии регулирующего вентиля?</p> <p>43. Работа системы хладоснабжения при работе трансформатора тепла в нерасчётных условиях.</p> <p>44. Влияние температуры окружающей среды на работу системы хладоснабжения.</p> <p>45. Нестационарный режим работы компрессора.</p> <p>46. Работа конденсатора при переменном режиме.</p> <p>47. Изменение температурного режима конденсатора при перекрытии регулирующего вентиля.</p> <p>48. Работа системы теплоснабжения при нерасчётном режиме работы трансформатора тепла.</p> <p>49. Влияние температуры наружного воздуха на работу системы теплоснабжения.</p> <p>50. Нерасчётный режим работы переохладителя конденсата.</p>

## 5.2. Перечень тем курсовых работ, их краткое содержание и объем.

Учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы

Тема курсовой работы – Принцип действия парокompрессионной холодильной установки. Расчёт основных параметров. Курсовая работа выполняется в соответствии с учебным планом специальности. Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку теоретического цикла трансформатора теплоты.

Каждый студент выполняет типовой расчет по индивидуальному заданию.

Объем работы 25-30 стр формата А4.

### 5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий.

- учебным планом не предусмотрены

### 5.4. Перечень контрольных работ.

- учебным планом не предусмотрены

## 6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 6.1. Перечень основной литературы

1. Щетинина, И. А. Основы трансформации теплоты [Электронный ресурс] : учеб, пособие для студентов специальности 140100 - Энергетика теплотехнологий / И. А. Щетинина, Т. И. Тихомирова, Н. А. Щетинин. - Электрон, текстовые дан. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2015. -  
<https://clib.bstu.ru/Reader/Book/2016031414104679900000656767>
2. Фомичев, А.В. Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. Часть 1. [Электронный ресурс] — Электрон, дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 34 с. <https://e.lanbook.com/book/52165#authors>
3. Белова О.В. Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. Часть 1. Расчеты параметров и потерь в процессах обратных циклов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Белова О.В., Чернышев А.В.— Электрон, текстовые данные.— М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010.— 36 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31361>.— ЭБС «IPRbooks»  
<http://www.iprbookshop.ru/31361.htm>
4. Якубович, А.И. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование. [Электронный ресурс] / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренко, В.Е. Тарасенко. — Электрон, дан. — Минск : Новое знание, 2013. — 473 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/37103>  
<https://e.lanbook.com/reader/book/37103/#1>

### 6.2 Перечень дополнительной литературы

Теплоэнергетические установки: Сборник нормативных документов. [Электронный ресурс] — Электрон, дан. — М.: ЭНАС, 2013. — 384 с.

<https://e.lanbook.com/reader/book/38574/#1>

1. Ивлиев, А.Д. Физика. [Электронный ресурс] — Электрон, дан. — СПб. : Лань, 2009. — 672 с.

<https://e.lanbook.com/reader/book/163/#1>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*Лекционные занятия* - аудитория, оснащенная письменными столами, стульями, классной доской (для рисования мелом или маркером).

*Практические занятия* - аудитория, оснащенная письменными столами, стульями, классной доской (для рисования мелом или маркером).



## Утверждение программы практик без изменений

Программа практики без изменений утверждена на 2016 /2017 учебный год.

Протокол № 9 заседания кафедры от «~~2~~» 05 2016 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



Кожевников В.П.

Директор института \_\_\_\_\_



Белоусов А. В.

### Утверждение программы практик без изменений

Программа практики без изменений утверждена на 2017 /2018 учебный год.

Протокол № 9 заседания кафедры от «25» 05 2017 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Кожевников В.П.

Директор института \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Белоусов А. В.

### Утверждение программы практик без изменений

Программа практики без изменений утверждена на 2018 /2019 учебный год.

Протокол № 12 заседания кафедры от «13» 05 2018 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_



Кожевников В.П.

Директор института \_\_\_\_\_



Белоусов А. В.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение №1.** Методические указания для обучающегося по освоению дисциплины **”Основы трансформации теплоты”**

Курс **”Основы трансформации теплоты”** представляет собой неотъемлемую составную часть подготовки студентов по направлению **”Теплоэнергетика и теплотехника”**.

Целью освоения дисциплины являются приобретение студентами знаний и выработка профессиональных компетенций в области современных численных методов трансформации теплоты. Занятия проводятся в виде лекций и практических занятий.

Распределение материала дисциплины по темам и требования к ее освоению содержатся в рабочей программе дисциплины, которая определяет содержание и особенности изучения курса:

«Введение» прорабатывается студентами по основному учебнику [1, с. 5 - 13] и [3, с. 4 - 5].

### Раздел I.

Изучается по основному учебнику [1, с. 9 - 11, 38 - 47] с привлечением тепловых диаграмм приложений 2, 5, 7, 9 [1]. Перед изучением материала полезно повторить раздел «Водяной пар» из курса «Техническая термодинамика», вспомнив закономерности фазового перехода веществ (кипение, конденсация) [1, с. 162 - 179]. При изучении темы следует разобраться в классификации фреонов. Свойства веществ полезно сопоставлять с тепловыми  $TS$ -,  $iS$ -, и  $Pi$  - диаграммами. К этой теме полезно вернуться после темы 2 с тем, чтобы проанализировать, как влияют взаимное расположение верхней и нижней пограничных кривых, расположение критической точки в координатах тепловых диаграмм на удельные энергетические показатели и рабочий интервал температур трансформатора.

### Раздел II.

Изучается по основному учебнику [1, с. 48 - 96]. Необходимо чётко определить различия в конструктивной схеме идеального и реального трансформатора теплоты, а также различия в процессах их работы. Анализ различий в процессах работы реального и идеального трансформаторов теплоты целесообразно проводить с помощью тепловых  $TS$ -,  $iS$ -, и  $Pi$  - диаграмм. Следует обратить внимание на особенности теплообмена в испарителе и конденсаторе, связанные с фазовым переходом рабочего тела трансформаторной установки.

Изучать материал, связанный с расчётом пароконденсационных

трансформаторов теплоты, следует одновременно с решением соответствующих задач контрольной работы.

Кроме того, следует обратить внимание на два способа определения коэффициентов подачи компрессора - оценочный (расчётный) и экспериментальный, охватывающий рабочий диапазон работы компрессора для конкретного рабочего тела.

### Раздел III.

Материал изучается по [1, с. 98 - 108]. Перед изучением темы следует уяснить причины, обуславливающие переменный режим работы трансформатора теплоты. Затем рассмотреть условия стационарного режима. После определения характеристических уравнений теплообменного оборудования и компрессора можно приступить к анализу переходных режимов.

### Раздел IV.

Материал темы изучается по учебнику [1, с. 248 - 279]. При изучении темы необходимо установить причины отличия процессов газовых трансформаторов теплоты от парокompрессионных и связанные с этим преимущества и недостатки газовых трансформаторов теплоты по сравнению с парокompрессионными. Уяснить, почему газовые трансформаторы теплоты применяются в основном в качестве холодильных машин и криогенных установок. Изучение материала темы следует сопровождать решением задачи 3 контрольной работы.

При рассмотрении схемы абсорбционной установки следует представить её в виде парокompрессионной, отдельно выделив элементы термохимического компрессора: абсорбер, генератор, теплообменники и дефлегматор. Определить общие элементы, а затем уяснить процессы в элементах термохимического компрессора. Причём сопоставить необходимо идеальную абсорбционную установку с идеальной парокompрессионной и реальную абсорбционную с реальной парокompрессионной установкой.



## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа без изменений утверждена на 2019 /20 учебный год.

Протокол № 12 заседания кафедры от «\_13\_» июня 2019 г.

Зам. заведующего кафедрой  Ю.В. Васильченко

Директор института  А.В. Белоусов