

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**С. В. Кункевич**

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический  
материал по изучению дисциплины для студентов, обучающихся  
в магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство

Калининград  
2023

Рецензенты

доктор технических наук, профессор кафедры строительства ФГБОУ ВО «КГТУ» И. С. Александров,  
старший преподаватель кафедры энергетики ФГБОУ ВО «КГТУ» Е.А. Беркова

**Кункевич, С. В.**

Теплотехническое оборудование промышленных предприятий: учеб.-методич. пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студ. магистратуры по направлению подгот. 08.04.01 Строительство / **С. В. Кункевич.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 27 с.

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал содержит методические материалы по изучению дисциплины, которые включают тематический план занятий, методические указания по выполнению студентами самостоятельной работы, вопросы для самоконтроля по темам, оценочные средства и критерии оценивания.

Табл. – 1, список лит. – 5 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 31.05.2023 г., протокол № 09

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Тематический план занятий .....	8
2. Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов .....	18
Список рекомендуемой литературы.....	20
Приложение А. Типовые контрольные вопросы для защиты курсового проекта.....	21
Приложение Б. Типовые экзаменационные вопросы .....	23
Приложение В. Образец оформления титульного листа курсового проекта.....	26

## Введение

Дисциплина «Теплотехническое оборудование промышленных предприятий» входит в состав основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 Строительство.

Целью дисциплины является формирование знаний о нормативной базе и принципах проектирования теплотехнического оборудования промышленных предприятий, приобретение навыков рационального выбора источников и систем теплоэнергоснабжения промышленных предприятий, а также выполнения инженерных расчетов промышленного теплотехнического оборудования, разработки технологических процессов с обеспечением высокого уровня энергосбережения; умения проводить исследования на теплотехническом оборудовании промышленных предприятий.

В результате освоения дисциплины студент должен:

– **знать:** конструкции и принцип действия современного теплотехнического оборудования промышленных предприятий; режимы их работы; способы регенерации теплоты в промышленных аппаратах и методы защиты окружающей среды от их выбросов; методику расчета теплотехнических показателей, пути экономии топлива и тепловой энергии.

– **уметь:** производить тепловые, аэродинамические расчеты современных промышленных теплопотребляющих установок; оценивать эффективность их работы во время эксплуатации, разбираться в тепловых схемах источников теплоснабжения промышленных предприятий; самостоятельно анализировать работу теплотехнического промышленного оборудования; диагностировать нерасчетные режимы работы.

– **владеть:** расчетами теплотехнического оборудования промышленных предприятий; основами эксплуатации аппаратов и обслуживающих их систем; представлением об основных направлениях развития современного промышленного теплотехнического оборудования в России и за рубежом.

Дисциплина опирается на компетенции, знания, умения и навыки студентов, полученные при изучении дисциплины «Теплоснабжение».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Теплотехническое оборудование промышленных предприятий» используются при изучении дисциплины «Газораспределительные системы и газопотребляющее оборудование», при выполнении выпускной квалификационной работы и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам *текущего контроля* успеваемости относятся:

- задания и вопросы для практических занятий;

– тестовые задания по дисциплине.

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Теплотехническое оборудование промышленных предприятий» предусмотрены практические работы. На выполнение некоторых практических работ необходимо затратить более одного академического часа.

Перед началом выполнения практической работы обучающиеся изучают задание и, после методических указаний преподавателя, приступают к его выполнению. Задания для практических занятий используются для комплексной оценки освоения студентами базовых тем дисциплины, а также контроля всех видов учебной деятельности, включая аудиторную и самостоятельную работу.

Защита работ с ответами на вопросы проводится либо на очередном практическом занятии, либо в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя. Обучающийся, самостоятельно выполнивший и защитивший все задания, получает оценку «зачтено» за данную практическую работу.

Тестовые задания по дисциплине используются для текущего контроля освоения дисциплины. Целью тестирования является закрепление, углубление и систематизация знаний студентов, полученных на занятиях и в процессе самостоятельной работы; проведение тестирования позволяет ускорить контроль за усвоением знаний и объективизировать процедуру оценки знаний студента.

Тестирование студентов проводится на практических занятиях. Каждый вариант теста разработан с учетом индикаторов достижения требуемой компетенции и включает в себя задания открытого и закрытого типа. В заданиях закрытого типа приведены три-четыре варианта ответа из них один или несколько правильных. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – 50-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 50 % правильных ответов.

*Промежуточная аттестация* по дисциплине «Теплотехническое оборудование промышленных предприятий» проводится в форме защиты курсового проекта и в форме экзамена.

Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта. Задание для выполнения курсового проекта обучающиеся получают в начале семестра. Курсовой проект необходим для овладения навыками инженерных расчетов, выполняемых при проектировании теплообменного оборудования промышленных предприятий. Задание на курсовой проект выдается по вариантам. Вариант задания определяется преподавателем.

Выполненный и оформленный курсовой проект сдается преподавателю на проверку до начала проведения промежуточной аттестации. В случае, если проект имеет недостатки, он отправляется на доработку; при отсутствии замечаний к выполненному курсовому проекту – допускается к защите.

Таблица – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0-49 %	50-69 %	71-85 %	86-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной системой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2 Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Промежуточная аттестация в форме защиты курсового проекта проводится по контрольным вопросам, примерный перечень которых приведен в Приложении А. Защищается курсовой проект по мере готовности в течение семестра, а также в период экзаменационной сессии. По результатам защиты курсовой

работы выставляется экспертная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»). Критерии оценивания представлены в таблице.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся экзаменационные вопросы. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса. Примерный список экзаменационных вопросов представлен в Приложении Б.

К экзамену допускаются студенты, получившие положительную оценку по результатам практических занятий и самостоятельной работы. Экзамен по дисциплине проводится при условии выполнения и успешной защиты всех практических работ, успешного прохождения тестирования, выполнения и успешной защиты курсового проекта.

Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных при ответе на экзаменационные вопросы) и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице.

Порядок и правила проведения экзамена по дисциплине преподаватель сообщает обучающимся в начале учебного семестра.

## 1. Тематический план занятий

### Тема 1. Рекуперативные теплообменные аппараты непрерывного действия

*Ключевые вопросы темы:*

1. Классификация теплообменных аппаратов. Теплоносители.
2. Конструкции аппаратов поверхностного типа.
3. Конструктивный и тепловой расчет аппаратов поверхностного типа.

*Практические занятия по теме: расчет теплообменников поверхностного типа.*

Рассматриваемые задачи направлены на углубленное изучение устройства, принципа действия и порядка расчета теплообменных аппаратов поверхностного типа непрерывного действия. Производится тепловой расчет теплообменников по уравнениям баланса и по уравнениям теплопередачи. Рассчитываются необходимые площади теплообмена, коэффициенты теплопередачи и среднелогарифмические температурные напоры.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Как классифицируются теплообменные аппараты?
2. Дайте определение рекуперативного, регенеративного, смешивающего теплообменника.
3. Может ли регенеративный теплообменник работать по принципу непрерывного действия?
4. Перечислите преимущества и недостатки водяного пара как теплоносителя.
5. Приведите достоинства и недостатки топочных газов как теплоносителей.
6. Какими свойствами должны обладать высокотемпературные теплоносители и в каких случаях рационально применять их в теплообменниках?
7. Какие вещества применяются в качестве низкотемпературных теплоносителей?
8. Для какой цели устанавливаются перегородки в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника?
9. Перечислите способы крепления труб в трубной решетке теплообменника.
10. Перечислите достоинства и недостатки пленочного конденсатора поверхностного типа и оросительных теплообменников.
11. Как работают испарители и паропреобразователи?
12. Перечислите преимущества электронагрева перед другими способами подвода тепла.

13. Перечислите основные достоинства индукционного нагрева для технологических процессов.

14. Изложите сущность и изобразите принципиальную схему индукционного нагрева.

15. Напишите основные уравнения теплового расчета при индукционном нагреве.

## **Тема 2. Теплообменные аппараты смешивающего типа**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Физические свойства влажного воздуха.
2. I-d диаграмма влажного воздуха и принцип ее построения.
3. Изображение основных процессов на I-d диаграмме.
4. Теплообменные аппараты смешивающего типа.
5. Деаэрационные установки.

*Практические занятия по теме: расчет теплообменников смешивающего типа.*

Занятия способствуют углубленному изучению устройства, принципа действия и порядка расчета теплообменных аппаратов смешивающего типа. Производится тепловой расчет теплообменников по уравнениям баланса и по уравнениям теплопередачи. Исследуется эффективность теплообмена при использовании различных рабочих тел. Исследуются различные типы насадок для увеличения площади контакта теплоносителей и, соответственно, повышения эффективности теплообмена. Рассматриваются вопросы применимости теплообменников смешивающего и поверхностного типа.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. С какой целью I-d диаграмма влажного воздуха построена в косоугольной системе координат?
2. Почему наклон изотерм на I-d диаграмме увеличивается с повышением температуры?
3. На какие две области делит I-d диаграмму линия насыщения?
4. Применимы ли зависимости, полученные для влажного воздуха, содержащего влагу в парообразном состоянии, к перенасыщенному влагой воздуху?
5. Какой линией изображается в I-d диаграмме процесс нагревания воздуха в рекуперативном теплообменнике?
6. Какой линией в I-d диаграмме изображается процесс охлаждения?
7. Как получить состояние влажного воздуха, соответствующее точке росы?

8. Какой линией на I-d диаграмме изображается процесс адиабатического охлаждения воздуха?
9. Что называется потенциалом сушки?
10. Какая температура является пределом адиабатического охлаждения воздуха?
11. На каком принципе основан психрометр?
12. Какая температура является пределом нагревания или охлаждения воды при тепло- и массообмене воздуха с водой?
13. Какие теплообменные аппараты используются для нагрева жидкости за счет теплоты воздуха, газа или пара?
14. Чем расплывается жидкость в газовую среду в полых или безнасадочных колоннах или камерах?
15. До какой температуры нагревается вода в пленочных подогревателях смешивающего типа?
16. Какому основному правилу подчиняются процессы, происходящие в аппаратах контактного типа?

### **Тема 3. Теплообменные аппараты периодического действия**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Рекуперативные аппараты периодического действия.
2. Регенеративные аппараты.
3. Аппараты с кипящим слоем.

*Практические занятия по теме: расчет теплообменников периодического действия.*

На занятиях изучаются рекуперативные аппараты (варочные котлы, водонагреватели-аккумуляторы и реакционные аппараты) – их устройство, принцип действия и основной математический аппарат для расчета теплообмена в них. Рассматривается методика определения поверхности нагрева реакционного аппарата, строятся графики расхода теплоты и пара. Производится тепловой расчет регенераторов, в результате которого определяются площадь поверхности нагрева и масса насадки.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Перечислите известные вам рекуперативные аппараты периодического действия.
2. Какой способ нагрева жидкости называют обогревом «острым» паром?
3. Какой недостаток присущ способу обогрева «острым» паром?
4. С какой целью внутри аппаратов устанавливаются мешалки?
5. Каково назначение водонагревателей-аккумуляторов?

6. Как изменяется температура греющей воды на выходе из водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом при постоянном ее расходе и начальной температуре?

7. Как изменяется температурный напор во времени для водонагревателя-аккумулятора с паровым обогревом?

8. В чем заключается отличие между реакционным аппаратом с обогревом глухим паром и водонагревателем-аккумулятором?

9. Из каких периодов складывается цикл работы реакционного аппарата?

10. Какие преимущества и недостатки имеют регенеративные аппараты по сравнению с рекуперативными?

11. Существуют ли регенеративные аппараты с подвижной насадкой?

12. Каковы достоинства металлической насадки по сравнению с кирпичной?

13. Каковы недостатки регенераторов с вращающейся поверхностью нагрева?

#### **Тема 4. Выпарные установки**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Общие понятия о процессе выпаривания водных растворов.

2. Классификация выпарных аппаратов.

3. Конструкция наиболее распространенных выпарных аппаратов.

4. Принципиальные схемы многокорпусных выпарных установок непрерывного действия.

5. Тепловой расчет выпарных установок непрерывного действия.

6. Тепловой расчет многокорпусных выпарных установок.

7. Сепарация вторичного пара в выпарных установках.

*Практические занятия по теме: расчет выпарных установок.*

Рассматриваются принципы выпаривания посредством испарения или кипения, изучаются различные способы выпаривания. Изучаются конструкции наиболее распространенных выпарных аппаратов (со свободной и естественной циркуляцией, с выносным и со сниженным кипятивником, с принудительной циркуляцией, с погружным горением). В процессе теплового расчета составляется материальный и тепловой баланс выпарного аппарата, определение поверхности теплообмена. Рассматривается методика теплового расчета многокорпусных выпарных установок и сепарация вторичного пара.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. В чем состоит сущность выпаривания?

2. Какой способ превращения в пар растворителя применяется в выпарных аппаратах?

3. Каким образом можно осуществить элементарный процесс выпаривания?
4. Что понимают под концентрацией раствора? Как меняется концентрация вещества в растворе при многоступенчатой выпарке?
5. Какая существует формула для определения удельной теплоемкости растворов?
6. Как подразделяются выпарные установки по принципу работы? По давлению рабочего пара в них?
7. Какой теплоноситель в качестве греющего получил наибольшее распространение в выпарных установках?
8. Чем определяется чистота вторичного пара выпарных аппаратов?
9. Что называется нагрузкой выпарного аппарата?
10. Что понимают под напряженностью парового объема?
11. Какие способы механического воздействия используются для осаждения влаги в сепарирующих устройствах?
12. В чем состоит принцип многократного испарения?
13. Может ли коэффициент испарения иметь значение меньше нуля?
14. Что такое эквиваленты экстрапара установки, какое они имеют практическое значение?
15. Какое значение имеет сепарация вторичного пара для нормальной работы выпарной установки?

## **Тема 5. Дистилляционные и ректификационные установки**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Основные физико-химические свойства бинарных смесей.
2. Дистилляционные установки.
3. Ректификационные установки.

*Практические занятия по теме: дистилляционные и ректификационные установки.*

Изучается классификация бинарных смесей (смеси со взаимно нерастворимыми и растворимыми компонентами, смеси частично растворимых жидкостей). С помощью слайдов и видеоматериалов изучаются устройство и принцип действия дистилляционных и ректификационных установок. Рассматриваются принципы расчета дистилляционных установок периодического действия с однократной дистилляцией, а также тепловой расчет ректификационных установок непрерывного действия с определением расхода пара в них.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. В чем заключается разница между перегонкой смеси и выпариванием раствора?

2. В каких случаях для бинарных смесей применяется закон Рауля, а в каких – закон Дальтона?
3. Что такое ректификация?
4. Изобразите на  $t$ - $x$  диаграмме процесс дистилляции в двухступенчатой дистилляционной установке с дефлегмацией и сепарацией паров во второй ступени.
5. Что такое дефлегмация?
6. Что такое азеотропное состояние смеси и можно ли перегнать азеотропную смесь?
7. Зависит ли состав паров взаимно нерастворимых бинарных смесей от процентного содержания легкокипящего компонента в жидкой фазе?
8. Чем отличается процесс дефлегмации от процесса конденсации?
9. Какие преимущества дает перегонка под вакуумом?
10. Изобразите на  $t$ - $x$  диаграмме процесс ректификации.
11. Происходит ли процесс перегонки бинарной смеси в области перегретых паров?
12. Какое принципиальное отличие имеют процессы нагрева, испарения, дефлегмации и конденсации для двухкомпонентной смеси по сравнению с однокомпонентной (для чистой воды)?
13. Каковы особенности перегонки бинарных, полностью растворимых азеотропных смесей?
14. Как изменяются число тарелок ректификационной колонны, расход пара, охлаждающей воды в дефлегматоре с увеличением флегмового числа?
15. Какие ректификационные установки более экономичны в тепловом отношении: периодического или непрерывного действия?

## **Тема 6. Гидравлический и механический расчеты теплообменных аппаратов**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов.
2. Расчет теплообменных аппаратов на прочность.

*Практические занятия по теме: гидравлический и прочностной расчет.*

Решаются задачи определения величины потери давления теплоносителей при их движении через теплообменные аппараты (потери от трения, от местных сопротивлений, потери на ускорение, гидростатического давления).

Задачи механического расчета сводятся к прочностным расчетам отдельных узлов аппарата: корпуса (обечаек), днища, трубных решеток, фланцевых соединений и т.д.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Что является задачей гидравлического расчета?
2. Из каких видов сопротивления складывается суммарное гидравлическое сопротивление теплоиспользующего устройства?
3. Чем обуславливаются гидравлические потери на трение в трубах и каналах теплообменных аппаратов? От чего зависит величина коэффициента трения?
4. Напишите формулу для определения потерь на трение.
5. Напишите формулу для определения гидравлических потерь на местные сопротивления, укажите, как определяется коэффициент местных потерь.
6. Напишите формулу для определения потерь давления, обусловленных ускорением потока.
7. Как в зависимости от температуры (при прочих равных условиях) изменяется гидравлическое сопротивление для жидкости и газа?
8. Как определяется необходимый напор (или давление) насоса для теплообменника, включенного параллельно, и как в случае последовательного включения его в систему с другими теплообменниками?
9. Напишите формулу для потери давления в насадках скруббера или ректификационной колонны.
10. Напишите формулу для определения мощности, необходимой для перемещения рабочей среды через аппарат.
11. На какой перепад давлений следует рассчитывать теплообменник, включенный в тепловую сеть?
12. Как изменится расход электроэнергии в зависимости от температуры перемещаемой через аппарат среды?
13. В чем состоит задача механического расчета на прочность теплообменных аппаратов?
14. Какие напряжения на разрыв (осевые или тангенциальные) больше в цилиндрической обечайке аппарата, находящегося под давлением?
15. При каком профиле днища (сферическом, эллиптическом или плоском) будет меньше толщина его стенки, если давление в сосудах одинаково?
16. Из каких условий определяется общая нагрузка на болты?
17. Из каких условий определяется толщина трубной решетки?

## **Тема 7. Сушильные установки**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Материальный и тепловой балансы сушильных установок.
2. Графоаналитический расчет конвективных сушильных установок непрерывного действия.
3. Основы теории сушки.

4. Кинетика процесса сушки и приближенный расчет его продолжительности.

5. Способы сушки и конструкции сушилок.

*Практические занятия по теме: сушильные установки.*

Решаются задачи тепловой сушки – термического удаления влаги из твердых материалов или растворов за счет испарения или выпаривания. С этой целью составляются материальный и тепловой балансы сушильных установок и рассчитывается количество удаляемой влаги и требуемое количество теплоносителя соответствующих параметров.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Какие виды обезвоживания материалов наиболее распространены?
2. Напишите формулы для определения количества высушенного материала и испаренной влаги при известных начальной и конечной влажности материала на общую и сухую массу и производительности сушилки по исходному материалу.
3. Может ли влажность материала на общую массу быть больше 100 %?
4. Почему в теоретической сушилке энтальпия теплоносителя остается постоянной, несмотря на уменьшение его температуры в процессе сушки?
5. Почему составление теплового баланса для периодической сушилки более сложно, чем для непрерывно действующей?
6. Какие преимущества и недостатки имеет по сравнению с теоретической сушилкой с однократным использованием теплоносителя теоретическая сушилка с рециркуляцией? Действительная сушилка с рециркуляцией?
7. Почему удельный расход тепла на 1 кг испаренной влаги при сушке топочными газами больше, чем при сушке воздухом?
8. Интенсивность каких процессов влияет на скорость сушки влажного материала?
9. Какие существуют движущие силы внутреннего переноса влаги в материале?
10. Какие периоды сушки влажного материала можно назвать? В чем их отличие?
11. Почему прямоточные распылительные сушилки более распространены, чем противоточные? Какие способы распыления растворов существуют?
12. В чем основное преимущество использования псевдоожиженного слоя для сушки дисперсных материалов? Каковы недостатки этого метода сушки?
13. Какие материалы наиболее рационально сушить в барабанных сушилках? В терморadiационных сушилках?

## **Тема 8. Использование вторичных тепловых ресурсов**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Использование отработавшего и вторичного производственного пара.
2. Использование теплоты горячей воды.
3. Энергетическая эффективность использования низкотемпературных вторичных тепловых ресурсов для теплоснабжения.

*Практические занятия по теме: использование вторичных тепловых ресурсов.*

Решаются задачи полезного использования вторичных тепловых ресурсов: горячие газы (отходящие от печей, двигателей внутреннего сгорания и др.); продукты технологического процесса (физическая теплота обрабатываемых материалов и отходов, например нагретых слитков, шлака, раскаленного кокса и т.п.); низкотемпературные вторичные энергоресурсы (горячая вода, получаемая от различных охлаждающих устройств; производственные тепловыделения и т.п.). Рассматриваются различные тепловые схемы полезного использования вторичных тепловых ресурсов и методики расчета полезного эффекта.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Что называют вторичными энергетическими ресурсами?
2. В каком направлении возможно использовать вторичные энергоресурсы?
3. Для чего применяют паровые аккумуляторы и как определяется их удельный объем?
4. Для чего и каким образом осуществляется компрессия отработавшего пара?
5. Назовите основные способы использования теплоты промышленного конденсата.
6. В чем заключается преимущество испарительного охлаждения промышленных печей по сравнению с водяным?
7. Почему получается различная экономия теплоты при использовании вторичных энергоресурсов для теплоснабжения в случае раздельной и комбинированной схемы энергоснабжения предприятия?

## **Тема 9. Трансформаторы теплоты**

1. Термодинамические основы процессов трансформации теплоты.
2. Рабочие агенты и теплоносители (хладоносители) в трансформаторах теплоты.
3. Схемы и циклы холодильных машин.
4. Теплонасосные установки.

*Практические занятия по теме: трансформаторы теплоты.*

Рассматриваются обратные термодинамические циклы для переноса теплоты с низшего температурного уровня на высший. Особое внимание уделяется свойствам рабочих веществ (агентам) и их применению в различных типах холодильных машин. Рассматриваются принципиальные схемы холодильных машин с различными агентами (холодильные машины парожетторные, аммиачные, бромистолитиевые). При изучении теплонасосных установок подробно рассматриваются термодинамические процессы, протекающие в них, и производятся тепловые расчеты.

*Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Что такое трансформаторы теплоты и по каким признакам они могут быть классифицированы?
2. Чем отличается холодильная установка от теплонасосной установки?
3. Что называется рабочими агентами в трансформаторах теплоты и какие требования предъявляют к ним?
4. Что такое холодильный коэффициент? Напишите его выражение.
5. Что такое коэффициент преобразования компрессионного теплового насоса и его связь с холодильным коэффициентом?
6. Как изображается теоретический цикл воздушной холодильной машины в T-s диаграмме?
7. Изобразите схему паровой компрессионной холодильной установки.
8. Что такое холодопроизводительность холодильной машины и как ее определить?
9. Опишите схему и принцип работы пароструйной холодильной машины.
10. Как работает абсорбционная холодильная машина?
11. В чем заключаются преимущества и недостатки бромистолитиевой холодильной машины?
12. Начертите схемы паровых компрессионных тепловых насосов, работающих по замкнутому циклу и разомкнутому процессу.
13. В чем отличие абсорбционных тепловых насосов, работающих по повысительной и расщепительной схемам?
14. Каковы преимущества и недостатки различных типов тепловых насосов?

## 2. Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов является обязательной частью образовательного процесса. Наряду с изучением лекционного материала необходимо самостоятельно более подробно рассмотреть указанные в данном пособии темы. Подготовка к практическим занятиям заключается в изучении теоретического материала с использованием учебно-методических пособий, нормативной документации в области теплотехнического оборудования промышленных предприятий. Только после этого можно приступать к выполнению заданий практических работ.

После проработки теоретического материала, выполнения практической работы нужно ответить на вопросы для самоконтроля. Ответы должны быть развернутыми, опираться на данные из нормативной документации, дополнительной литературы, материалов исследований и своего опыта.

Необходимо отметить, что при обучении на заочной форме большее количество часов отведено учебным планом на самостоятельное изучение материала.

При освоении данной дисциплины студент должен выполнить курсовой проект. Курсовой проект необходим для овладения навыками инженерных расчетов, выполняемых при проектировании теплообменного оборудования промышленных предприятий. Кроме того, студенты приобретают навыки самостоятельной работы со справочными и нормативными документами, учебной и учебно-методической литературой, ресурсами интернета, различными программными средствами.

Задание на курсовой проект включает следующее:

1. Выполнить описание и тепловой расчет проектируемого секционного кожухотрубного маслоохладителя. Определить площадь поверхности теплообмена  $F$ ,  $m^2$  и число секций  $z$ .

2. Используя результаты расчета, построить графические зависимости изменения температур холодного и горячего теплоносителей по поверхности теплообмена.

3. Выполнить сборочный чертеж секционного кожухотрубного маслоохладителя и спецификацию к нему, а также чертеж общего вида теплообменника.

Расчетная часть (пояснительная записка) оформляется как текстовый документ на листах формата А4. Графическая часть выполняется на листах формата А1 или А2.

При выполнении курсового проекта студенты должны пользоваться Международной системой единиц СИ. Пояснительная записка и чертежи выполняются с учётом требований единой системы конструкторской и технологи-

ческой документации. Образец оформления титульного листа курсового проекта приведен в Приложении В.

Курсовой проект рекомендуется начинать выполнять сразу после прослушивания необходимого теоретического материала на лекциях.

## Список рекомендуемой литературы

1. Моисеев. Б. В. Промышленная теплоэнергетика: учебник / Б. В. Моисеев. Ю. Д. Земенков. С. Ю. Торопов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 236 с.

2. Бакластов, А. М. Промышленные теплообменные процессы и установки: Учебник для вузов / А. М. Бакластов, В. А. Горбенко, О. Л. Данилов и др.; под ред. А. М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

3. Маряхина, В. С. Теплогенерирующие установки: учебное пособие / В. С. Маряхина, Р. Ш. Мансуров; Оренбургский государственный университет. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2014. - 104 с.

4. Основы современной энергетики: в 2 т.: учеб. / А. Д. Трухний. М. А. Изюмов. О. А. Поваров: ред. Е. В. Аметистов. - 4-е изд. перераб. и доп. - Москва: МЭИ. 2008. – 470 с.

5. Профессиональная справочная система Техэксперт  
<http://техэксперт.рус/>

### Типовые контрольные вопросы для защиты курсового проекта

1. Как классифицируются теплообменные аппараты?
2. Дайте определение рекуперативного, регенеративного, смешивающего теплообменника.
3. Может ли регенеративный теплообменник работать по принципу непрерывного действия?
4. Перечислите преимущества и недостатки водяного пара как теплоносителя.
5. Приведите достоинства и недостатки топочных газов как теплоносителей.
6. Какими свойствами должны обладать высокотемпературные теплоносители и в каких случаях рационально применять их в теплообменниках?
7. Какие вещества применяются в качестве низкотемпературных теплоносителей?
8. Для какой цели устанавливаются перегородки в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника?
9. Перечислите способы крепления труб в трубной решетке теплообменника.
10. Как работают испарители и паропреобразователи?
11. Перечислите основные достоинства индукционного нагрева для технологических процессов.
12. Применимы ли зависимости, полученные для влажного воздуха, содержащего влагу в парообразном состоянии, к перенасыщенному влагой воздуху?
13. Какой линией изображается в I-d диаграмме процесс нагревания воздуха в рекуперативном теплообменнике?
14. Какой линией в I-d диаграмме изображается процесс охлаждения?
15. Как получить состояние влажного воздуха, соответствующее точке росы?
16. Какой линией на I-d диаграмме изображается процесс адиабатического охлаждения воздуха?
17. Какая температура является пределом адиабатического охлаждения воздуха?
18. Какая температура является пределом нагревания или охлаждения воды при тепло- и массообмене воздуха с водой?
19. Какие теплообменные аппараты используются для нагрева жидкости за счет теплоты воздуха, газа или пара?

20. Чем распыливается жидкость в газовую среду в полых или безнасадочных колоннах или камерах?
21. До какой температуры нагревается вода в пленочных подогревателях смешивающего типа?
22. Какому основному правилу подчиняются процессы, происходящие в аппаратах контактного типа?
23. Перечислите известные вам рекуперативные аппараты периодического действия.
24. Каково назначение водонагревателей-аккумуляторов?
25. Как изменяется температура греющей воды на выходе из водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом при постоянном ее расходе и начальной температуре?
26. Как изменяется температурный напор во времени для водонагревателя-аккумулятора с паровым обогревом?
27. В чем заключается отличие между реакционным аппаратом с обогревом глухим паром и водонагревателем-аккумулятором?
28. Из каких периодов складывается цикл работы реакционного аппарата?
29. Какие преимущества и недостатки имеют регенеративные аппараты по сравнению с рекуперативными?
30. В чем состоит сущность выпаривания?
31. Какой способ превращения в пар растворителя применяется в выпарных аппаратах?
32. Каким образом можно осуществить элементарный процесс выпаривания?
33. Что понимают под концентрацией раствора? Как меняется концентрация вещества в растворе при многоступенчатой выпарке?
34. Какая существует формула для определения удельной теплоемкости растворов?
35. Как подразделяются выпарные установки по принципу работы? По давлению рабочего пара в них?
36. Какой теплоноситель в качестве греющего получил наибольшее распространение в выпарных установках?
37. Чем определяется чистота вторичного пара выпарных аппаратов?
38. Что называется нагрузкой выпарного аппарата?
39. Что понимают под напряженностью парового объема?
40. Какие способы механического воздействия используются для осаждения влаги в сепарирующих устройствах?

**Типовые экзаменационные вопросы**

1. Классификация теплообменных аппаратов. Определение рекуперативного, регенеративного, смешивающего теплообменника.
2. Преимущества и недостатки водяного пара как теплоносителя. Достоинства и недостатки топочных газов как теплоносителей.
3. Вещества, применяемые в качестве низкотемпературных теплоносителей, их свойства.
4. Устройство и принцип действия кожухотрубного теплообменника.
5. Тепловой и гидравлический расчет кожухотрубного теплообменника.
6. Достоинства и недостатки пленочного конденсатора поверхностного типа и оросительных теплообменников.
7. Устройство, принцип действия испарителей. Использование паропреобразователей.
8. Принцип индукционного нагрева. Основные достоинства индукционного нагрева для технологических процессов. Изобразить принципиальную схему индукционного нагрева.
9. Основные уравнения теплового расчета при индукционном нагреве.
10. Теплообменные аппараты для нагрева жидкости за счет теплоты воздуха, газа или пара.
11. Чем распыливается жидкость в газовую среду в полых или безнасадочных колоннах или камерах?
12. Процессы, происходящие в аппаратах контактного типа.
13. Рекуперативные аппараты периодического действия. Способ нагрева жидкости «острым» паром. Достоинства и недостатки.
14. Назначение водонагревателей-аккумуляторов. Как изменяется температура греющей воды на выходе из водонагревателя-аккумулятора с водяным обогревом при постоянном ее расходе и начальной температуре. Изменение температурного напора во времени для водонагревателя-аккумулятора с паровым обогревом.
15. Отличие между реакционным аппаратом с обогревом глухим паром и водонагревателем-аккумулятором. Из каких периодов складывается цикл работы реакционного аппарата?
16. Преимущества и недостатки регенеративных аппаратов по сравнению с рекуперативными?
17. Достоинства металлической насадки по сравнению с кирпичной. Недостатки регенераторов с вращающейся поверхностью нагрева.
18. В чем состоит сущность выпаривания. Какой способ превращения в пар растворителя применяется в выпарных аппаратах?

19. Классификация выпарных установок по принципу работы, по давлению рабочего пара в них.
20. Теплоноситель, получивший наибольшее распространение в качестве греющего в выпарных установках. Чистота вторичного пара выпарных аппаратов, от чего зависит.
21. Нагрузка выпарного аппарата. Напряженность парового объема. Способы механического воздействия для осаждения влаги в сепарирующих устройствах.
22. Принцип многократного испарения. Коэффициент испарения. Эквиваленты экстрапара установки, их практическое значение.
23. Разница между перегонкой смеси и выпариванием раствора. В каких случаях для бинарных смесей применяется закон Рауля, а в каких – закон Дальтона? Суть ректификации.
24. Суть дефлегмации. Что такое азеотропное состояние смеси и можно ли перегнать азеотропную смесь?
25. Отличие процесса дефлегмации от процесса конденсации.
26. Принципиальное отличие процессов нагрева, испарения, дефлегмации и конденсации для двухкомпонентной смеси по сравнению с однокомпонентной (для чистой воды).
27. Особенности перегонки бинарных, полностью растворимых азеотропных смесей.
28. Задача гидравлического расчета. Из каких видов сопротивления складывается суммарное гидравлическое сопротивление теплоиспользующего устройства.
29. Гидравлические потери на трение в трубах и каналах теплообменных аппаратов. Величина коэффициента трения, от чего зависит.
30. Написать формулу для определения потерь на трение. Написать формулу для определения гидравлических потерь на местные сопротивления, как определяется коэффициент местных потерь.
31. Написать формулу для определения потерь давления, обусловленных ускорением потока. Как в зависимости от температуры (при прочих равных условиях) изменяется гидравлическое сопротивление для жидкости и газа?
32. Принцип определения необходимого напора (или давления) насоса для теплообменника, включенного параллельно, и в случае последовательного включения его в систему с другими теплообменниками.
33. Формула для потери давления в насадках скруббера или ректификационной колонны. Формула для определения мощности, необходимой для перемещения рабочей среды через аппарат.
34. Принципы механического расчета на прочность теплообменных аппаратов. Какие напряжения на разрыв (осевые или тангенциальные)

- больше в цилиндрической обечайке аппарата, находящегося под давлением.
35. Формулы для определения количества высушенного материала и испаренной влаги при известных начальной и конечной влажности материала на общую и сухую массу и производительности сушилки по исходному материалу.
  36. Периоды сушки влажного материала. В чем их отличие?
  37. Способы распыления растворов. Почему прямоточные распылительные сушилки более распространены, чем противоточные?
  38. Какие материалы наиболее рационально сушить в барабанных сушилках? В терморadiaционных сушилках?
  39. Основные способы использования теплоты промышленного конденсата.
  40. Экономия теплоты при использовании вторичных энергоресурсов для теплоснабжения в случае раздельной и комбинированной схемы энергоснабжения предприятия.
  41. Трансформаторы теплоты. По каким признакам они могут быть классифицированы.
  42. Отличие холодильной установки от теплонасосной установки. Рабочие агенты в трансформаторах теплоты, требования к ним.
  43. Холодильный коэффициент. Сущность, математическая интерпретация.
  44. Коэффициент преобразования компрессионного теплового насоса и его связь с холодильным коэффициентом.
  45. Теоретический цикл воздушной холодильной машины в T-s диаграмме. Изобразить схему компрессионной холодильной установки.
  46. Холодопроизводительность холодильной машины, ее определение.
  47. Схема и принцип работы пароструйной холодильной машины.
  48. Принцип работы абсорбционной холодильной машины.
  49. Преимущества и недостатки бромистолитиевой холодильной машины.
  50. Отличие абсорбционных тепловых насосов, работающих по повысительной и расщепительной схемам?

**Образец оформления титульного листа курсового проекта**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра энергетики

Курсовой проект  
допущен к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
(подпись)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Курсовой проект  
защищен с оценкой: \_\_\_\_\_  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
(подпись)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине

«Теплотехническое оборудование промышленных предприятий»

Вариант №\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
(подпись)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград 202\_\_

Локальный электронный методический материал

Сергей Владимирович Кункевич

ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

*Редактор И. Голубева*

Уч.-изд. л. 1,9. Печ. л. 1,7.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1