

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

**И. С. Александров**

**ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ СИСТЕМ  
ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»)

Калининград  
2023

УДК 697.343

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры строительства ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный технический университет»

А.А. Герасимов

**Александров, И. С.**

Теплообменные аппараты систем теплогасоснабжения и вентиляции: учеб.-методич. пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студ. магистратуры по направ. подгот. 08.04.01 Строительство (профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция») / **И. С. Александров.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 18 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, рис. – 3, список лит. – 6 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 28.06.2023 г., протокол № 10

УДК 697.24

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Александров И.С., 2023 г.

## Содержание

Введение .....	4
1. Тематический план занятий .....	9
2. Методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов.....	14
Список рекомендуемой литературы.....	15
Приложение А. Экзаменационные вопросы.....	16

## Введение

Дисциплина *Теплообменные аппараты систем теплогазоснабжения и вентиляции* входит в состав основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 08.04.01 Строительство.

Целью дисциплины является формирование у студентов знаний в области расчета и проектирования теплообменных аппаратов, применяемых в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: физическую сущность гидравлических процессов, происходящих в системах ТГВ и принципы действия современного оборудования. Особенности конструкций аппаратов систем ТГВ для осуществления тепломассопереноса, специфику их эксплуатации. Современные способы оформления научно-технической информации в области задач тепломассопереноса в виде аналитических зависимостей, текстов, графиков, диаграмм, схем, чертежей.

Уметь: подготовить исходные данные, провести технико-экономический анализ, обосновать и выбрать технико-экономические характеристики теплообменного оборудования систем ТГВ. Определять характеристики теплообменного оборудования для систем ТГВ и подбирать наиболее целесообразное исходя из требований энергосбережения; применять полученные знания при выполнении проектов и выпускных квалификационных работ, а также в ходе научных исследований.

Владеть: методикой оценки технического состояния теплообменного оборудования для обеспечения оптимального режима его работы; навыками наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию систем ТГВ. Методами и программными средствами расчета современного теплообменного оборудования, обеспечения проектной и рабочей документации, оформления законченных проектных работ.

Дисциплина опирается на компетенции, знания, умения и навыки студентов, полученные при изучении дисциплин *Теплогенерирующие установки* и *Техническая термодинамика и тепломассобмен*.

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;
- задания для курсового проекта;
- тестовые задания по дисциплине.

В соответствии с учебным планом по дисциплине *Теплообменные аппараты систем теплогаснабжения и вентиляции* предусмотрены практические работы. На выполнение некоторых практических работ необходимо затратить более двух академических часов.

Перед началом выполнения практической работы обучающиеся изучают задание, и после методических указаний преподавателя приступают к его выполнению. Защита работы проводится либо на очередном практическом занятии, либо в часы индивидуальных или групповых консультаций преподавателя. Обучающийся, защитивший работу с ответами на вопросы, получает оценку «зачтено» за данную практическую работу.

*Задание для выполнения курсового проекта* обучающиеся получают в начале семестра. Целью выполнения курсового проекта является формирование компетенций, связанных с профессиональной деятельностью, систематизация знаний, умений, навыков, полученных при изучении теоретического курса. При этом обучающемуся дается возможность самостоятельного решения отдельных вопросов в области профессиональных задач в области проектирования и расчета теплообменного оборудования систем ТГВ.

Основная часть пояснительной записки курсового проекта состоит из трех разделов. В течение семестра преподаватель осуществляет текущий контроль выполнения разделов курсового проекта на практических занятиях. Более подробно содержание проекта и методика его выполнения изложены в специальных методических указаниях.

*Тестовые задания по дисциплине* используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов проводится на практических занятиях. Каждый вариант теста включает в себя 15 вопросов, на каждый из которых приведены три-четыре варианта ответа, в том числе один правильный. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – 50-100 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 50 % правильных ответов.

Промежуточная аттестация по дисциплине *Теплообменные аппараты систем теплогазоснабжения и вентиляции* проводится в форме экзамена и защиты курсового проекта.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся экзаменационные вопросы. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса. Список экзаменационных вопросов представлен в приложении А. Критерии выставления оценки представлены в таблице 1.

Выполненный курсовой проект представляется для проверки на кафедру строительства не позднее, чем за неделю до даты проведения экзамена по дисциплине. После проверки курсовой проект допускается к защите или отправляется на доработку. Если курсовой проект отправляется на доработку, следует устранить все замечания, указанные преподавателем, и повторно сдать её на проверку.

Если курсовой проект допускается к защите, студент должен быть готовым дать все необходимые пояснения по расчетам, чертежам и содержанию работы. По результатам защиты выставляется оценка, при этом учитываются правильность выполнения заданий, оформление работы, а также качество защиты.

Условия допуска к экзамену для студентов:

1. Выполненные и защищенные в полном объеме практические работы, предусмотренные программой.

2

3. Выполненный на оценку «зачтено» тест.

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

Таблица 1 – Система и критерии оценивания

Система оценок Критерий	«не зачтено»		«зачтено»	
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может 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 полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
Работа с информацией	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
Осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	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

## Тематический план занятий

### **Тема 1. Общие сведения о теплообменном оборудовании систем ТГВ, видах и методах его расчета**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Классификация аппаратов по принципу действия, по виду взаимного движения, по назначению.
2. Теплоносители, их свойства и характеристики, ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи, рабочие температуры и давления.
3. Рекомендуемые скорости движения основных теплоносителей в теплообменных аппаратах.
4. Виды расчета теплообменников: тепловой конструктивный, поверочный, гидравлический, прочностной, технико-экономический. Классификация методов расчета теплообменных аппаратов.
5. Основные расчетные соотношения для расчета процессов теплообмена и гидродинамики в теплообменных аппаратах.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (практические) типов.

*Тема практической работы 1.* Расчет влияния различных технологических параметров на значение эффективности теплообменника.

Цель работы: Получения навыков в анализе влияния различных технологических параметров на эффективность работы теплообменных аппаратов.

#### *Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Уравнения теплового баланса и теплопередачи.
2. От чего зависит выбор материала для изготовления теплообменных аппаратов?
3. Коэффициентом аккумуляции называют ...
4. Что является целью теплового расчёта аппарата?
5. Факторы, влияющие на интенсивность теплообмена в аппарате.

6. Цель конструктивного расчета теплообменного аппарата.

## **Тема 2. Рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты.**

### **Смесительные теплообменники.**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Рекуперативные теплообменные аппараты, их классификация, назначение и области применения.
2. Основные конструкции. Схемы относительного движения теплоносителей
3. Распределение температур в трубах и каналах теплообменников. Эффективность теплообменников.
4. Последовательность теплового поверочного и конструктивного расчета теплообменника.
5. Регенеративные теплообменные аппараты, область их применения, конструкции и принцип действия.
6. Теплообменники с неподвижной и подвижной насадками. Виды применяемых насадок.
7. Особенности теплового и гидравлического расчета регенеративных теплообменников.
8. Смесительные теплообменные аппараты. Принцип действия, области применения и конструкции смесительных теплообменников.
9. Аппараты для очистки газов. Скрубберы Вентури.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (практические) типов.

*Тема практической работы 2.* Поверочные расчеты типовых рекуперативных теплообменных аппаратов: пластинчатых, кожухотрубных, «труба в трубе».

Цель работы: Получения навыков в проведении поверочных расчетов теплообменных аппаратов различной конструкции.

#### *Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Определение регенеративных теплообменных аппаратов.

2. Как называют теплообменные аппараты с трубчатой поверхностью?
3. Для каких процессов применяют кожухотрубные теплообменные аппараты?
4. Для чего служат патрубки, коллекторы и поворотные камеры в рекуперативных теплообменниках?
5. С какой целью устанавливают перегородки в межтрубном пространстве рекуперативных теплообменников?
6. Какие теплообменные аппараты называются смесительными?

### **Тема 3. Сушильные установки. Выпарные установки.**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Сушильные установки. Основные понятия и параметры процесса.
2. Сушильные установки, их конструкции и принцип действия. Сушильные агенты.
3. Формы связи влаги с материалом. Классификация влажных материалов и принципиальные схемы установок для их сушки. Основы кинетики и динамики сушки. Изотерма адсорбции.
4. Равновесное и критическое влагосодержание. Методы расчета времени сушки.
5. Выпарные установки. Особенности конструкции и теплового расчета.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (практические) типов.

*Тема практической работы 3.* Построение процесса сушки в  $h-d$  диаграмме влажного воздуха.

Цель работы: Получения навыков в построении процессов на  $h-d$  диаграмме влажного воздуха и определении параметров процессов.

#### *Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Современные конструкции выпарных аппаратов. Применение в промышленности.
2. Типы сушильных установок.

3. Современные тенденции совершенствования конструкции и методов расчета теплообменников.
4. Понятие критического влагосодержания применительно к процессу сушки.
5. Порядок расчета выпарной установки.

#### **Тема 4. Тепловые трубы. Сорбционные процессы и установки.**

##### *Ключевые вопросы темы*

1. Тепловые трубы. Принцип работы. Области применения.
2. Рабочие вещества, применяемые в установках с тепловыми трубками, и требования к ним.
3. Эффективность работы тепловой трубки.
4. Сорбционные процессы и установки.
5. Расчет тепло- и массопереноса в сорбционных установках.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (практические) типов.

*Тема практической работы 4. Аппроксимации изотерм сорбции и их использование.*

Цель работы: Получения навыков в численном описании изотерм сорбции и изучении методов их математического выражения.

##### *Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Холодильные агенты, применяемые в аппаратах с тепловыми трубками.
2. Зависимость эффективности работы от угла наклона трубки в потоке теплоносителя.
3. Математическая модель процесса тепло- и массопереноса в сорбционных установках.
4. Физический смысл изотермы адсорбции.
5. Принцип работы теплообменных аппаратов на тепловых трубках.

## **Тема 5. Оптимизация расчета и выбора теплообменного оборудования**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Методы расчета и принципы проектирования теплообменных аппаратов.
2. Автоматизированный расчёт теплообменного аппарата.
3. Расчёт теплообменных аппаратов с изменением агрегатного состояния одного из теплоносителей.
4. Расчёт теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей.
5. Постановка задач оптимизации теплообменных аппаратов.

Предусмотрены занятия лекционного (лекции) и семинарского (практические) типов.

*Тема практической работы 5.* Разработка алгоритма расчета на ЭВМ теплообменного аппарата без изменения агрегатного состояния теплоносителей.

Цель работы: Получения навыков в разработке и реализации на ЭВМ алгоритмов автоматизированного расчета теплообменных аппаратов.

### *Вопросы для самоконтроля по теме:*

1. Расчет теплообменника в случае постоянных значений кинетических и теплофизических коэффициентов?
2. Случай переменных теплоемкостей и коэффициентов теплоотдачи при расчете теплообменного оборудования.
3. Критерий оптимальности (целевая функция) при постановке задачи оптимизации теплообменных аппаратов.
4. Алгоритма расчета оптимальной конструкции теплообменника.
5. Методы снижения тепловых и гидравлических потерь в теплообменниках – рекуператорах.
6. Алгоритм расчета оптимального теплообменника по критерию приведенных затрат.

## **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 теплоснабжения. Только после этого можно приступать к выполнению практических заданий 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, пройти тестирование.

Тестирование проводится на практических занятиях, каждый вариант теста включает в себя не менее 15 вопросов.

## Список рекомендуемой литературы

1. Никитин, М. Н. Численное моделирование процессов теплообмена в системах теплогазоснабжения и вентиляции : учебное пособие / М. Н. Никитин. — Самара : АСИ СамГТУ, 2017. — 98 с. — ISBN 978-5-7964-2019-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

2. Быстрицкий, Г. Ф. Теплотехника и энергосиловое оборудование промышленных предприятий : учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. — 5-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 305 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-03889-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт].

3. Золотоносов, Я. Д. Трубчатые теплообменники. Моделирование, расчет: монография / Я. Д. Золотоносов, А. Г. Багоутдинова, А. Я. Золотоносов. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-3411-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

4. Самарин, О. Д. Системы теплоснабжения, газоснабжения: учебное пособие / О. Д. Самарин. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2020. — 60 с. — ISBN 978-5-7264-2253-4. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

5. Таранова, Л. В. Теплообменные аппараты и методы их расчета : учебное пособие / Л. В. Таранова. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. — 152 с. — ISBN 978-5-9961-0081-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

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

## Приложение А. Экзаменационные вопросы

1. Основные виды тепломассообменных процессов.
2. Теплообменные устройства.
3. Массообменные устройства.
4. Тепломассообменные устройства.
5. Теплоносители, их свойства и область применения.
6. Принцип работы рекуперативного теплообменника.
7. Конструкции рекуперативных теплообменников непрерывного действия.
8. Конструкции рекуперативных теплообменников периодического действия.
9. Проектирование теплообменных аппаратов.
10. Тепловой конструкторский расчет теплообменного аппарата.
11. Гидравлический расчет теплообменного аппарата.
12. Прочностной расчет теплообменного аппарата.
13. Принцип работы регенеративного теплообменника.
14. Конструкции регенеративных теплообменников непрерывного действия.
15. Конструкции регенеративных теплообменников периодического действия.
16. Расчет регенеративного теплообменного аппарата.
17. Смесительные теплообменные аппараты.
18. Конструкции пластинчатых теплообменных аппаратов.
19. Конструкции тепловых труб и термосифонов.
20. Принципы работы и преимущества тепловых труб.
21. Классификация калориферных установок.
22. Расчет калориферных установок.
23. Назначение и принцип действия теплообменников-утилизаторов.
24. Принципиальные схемы и основные конструкции теплообменников-утилизаторов.
25. Вспомогательное оборудование теплообменных установок.
26. Основы расчета и подбора вспомогательного оборудования теплообменных установок.

27. Назначение и области применения кожухотрубных теплообменников, их конструкции (циклические и непрерывного действия). Конструкции трубных пучков и корпусов рекуперативных теплообменников.

28. Этапы расчета и проектирования теплообменных аппаратов. Порядок проектирования аппаратов поверхностного типа.

29. Определение среднего температурного напора при прямотоке и противотоке. Коэффициент теплоотдачи в рекуперативных теплообменниках.

30. Смесительные теплообменные установки (скрубберы) — аппараты с непосредственным контактом газа и жидкости; их назначение, классификация, их объемные коэффициенты теплопередачи.

Локальный электронный методический материал

Игорь Станиславович Александров

СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Редактор И. Голубева*

Уч.-изд. л. 1,1. Печ. л. 1,1.

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