

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФЭСУ



/А.В. Бурковский/

22.03.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Теплообмен в системах с развитой поверхностью»**

**Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Профиль Промышленная теплоэнергетика**

**Квалификация выпускника бакалавр**

**Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 6 м. / 4 года и 11 м.**

**Форма обучения очная / очно-заочная / заочная**

**Год начала подготовки 2024**

Автор программы  
Заведующий кафедрой  
Теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

\_\_\_\_\_  
 С.В. Дахин

\_\_\_\_\_  
 В.В. Портнов

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_  
 С.В. Дахин

Воронеж 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

ознакомление студентов с систематическими сведениями по теории и применению развитых поверхностей теплообмена.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

развитие способности обучаемых к эффективной эксплуатации и проведению расчётов по модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплообмен в системах с развитой поверхностью» относится к дисциплинам блока ФТД.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплообмен в системах с развитой поверхностью» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен к обеспечению эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования

ПК-3 - Способен проводить расчеты энергетического и теплотехнологического оборудования по типовым методикам

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать особенности работы и эксплуатации оборудования в части развитых поверхностей теплообмена
	уметь обеспечивать эффективную эксплуатацию и модернизацию развитых поверхностей теплообмена
	владеть способами обеспечения эффективной эксплуатации и модернизации развитых поверхностей теплообмена
ПК-3	знать способы расчетов энергетического и теплотехнологического оборудования по типовым методикам
	уметь проводить расчеты энергетического и теплотехнологического оборудования по типовым методикам
	владеть способами расчетов энергетического и теплотехнологического оборудования по типовым методикам

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теплообмен в системах с развитой поверхностью» составляет 2 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	18	18
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

**очно-заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	18	18
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	12	12
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

**заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	12	12
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	6	6
<b>Самостоятельная работа</b>	56	56
Часы на контроль	4	4
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

**5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий  
очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Анализ развитых поверхностей	Введение. Конструкции развитых поверхностей.	2	2	2	6
2	Теплообмен между ребром и жидкостью	Особенности теплообмена между оребренными поверхностями и окружающей средой.	2	4	2	8
3	Оребренные каналы	Анализ эффективности пластинчато-ребристых пакетов при разном теплоподводе.	4	6	2	12
4	Теплообменники с высокими продольными ребрами	Особенности теплообмена в теплообменном аппарате типа "труба в трубе" с продольно оребренной внутренней трубой.	2	6	2	10
5	Теплообменники с радиальными низкими ребрами	Особенности конструкции и теплообмена в кожухотрубчатом теплообменном аппарате с радиальными низкими ребрами	2	6	2	10
6	Теплообменники с высокими поперечными ребрами	Особенности конструкции и теплообмена в теплообменном аппарате с высокими поперечными ребрами. Воздушные охладители.	2	6	4	12
7	Компактные теплообменники	Классификация аппаратов. Метод NTU. Особенности расчёта компактных ТОА.	4	6	4	14
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>72</b>

### очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Анализ развитых поверхностей. Теплообмен между ребром и жидкостью. Оребренные каналы.	Введение. Конструкции развитых поверхностей. Особенности теплообмена между оребренными поверхностями и окружающей средой. Анализ эффективности пластинчато-ребристых пакетов при разном теплоподводе.	2	4	18	24
2	Теплообменники с высокими продольными ребрами. Теплообменники с радиальными низкими ребрами. Теплообменники с высокими поперечными ребрами.	Особенности теплообмена в теплообменном аппарате типа "труба в трубе" с продольно оребренной внутренней рубой. Особенности конструкции и теплообмена в кожухотрубчатом теплообменном аппарате с радиальными низкими ребрами. Особенности конструкции и теплообмена в теплообменном аппарате с высокими поперечными ребрами. Воздушные охладители.	2	4	18	24
3	Компактные теплообменники	Классификация аппаратов. Метод NTU. Особенности расчёта компактных ТОА.	2	4	18	24
<b>Итого</b>			<b>6</b>	<b>12</b>	<b>54</b>	<b>72</b>

### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Анализ развитых поверхностей. Теплообмен между ребром и жидкостью. Оребренные каналы.	Введение. Конструкции развитых поверхностей. Особенности теплообмена между оребренными поверхностями и окружающей средой. Анализ эффективности пластинчато-ребристых пакетов при разном теплоподводе.	2	2	20	24
2	Теплообменники с высокими продольными ребрами. Теплообменники с радиальными низкими ребрами. Теплообменники с высокими поперечными ребрами.	Особенности теплообмена в теплообменном аппарате типа "труба в трубе" с продольно оребренной внутренней рубой. Особенности конструкции и теплообмена в кожухотрубчатом теплообменном аппарате с радиальными низкими ребрами. Особенности конструкции и теплообмена в теплообменном аппарате с высокими поперечными ребрами. Воздушные охладители.	2	2	18	22
3	Компактные теплообменники	Классификация аппаратов. Метод NTU. Особенности расчёта компактных ТОА.	2	2	18	22
<b>Итого</b>			<b>6</b>	<b>6</b>	<b>56</b>	<b>68</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	знать пути обеспечения эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь обеспечивать эффективную эксплуатацию и модернизацию энергетического и теплотехнологического оборудования	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способами обеспечения эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать способы расчетов энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть способами расчетов энергетического и теплотехнического	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	оборудования по типовым методикам			программах
--	-----------------------------------	--	--	------------

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для очно-заочной формы обучения, 9 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать пути обеспечения эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ
	уметь обеспечивать эффективную эксплуатацию и модернизацию энергетического и теплотехнологического оборудования	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ
	владеть способами обеспечения эффективной эксплуатации и модернизации энергетического и теплотехнологического оборудования	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ
ПК-3	знать способы расчетов энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ
	уметь проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ
	владеть способами расчетов энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам	Зачёт - ответ на вопрос в письменном виде	Правильный ответ	Не правильный ответ

**7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

**7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

*Не предусмотрено*

**7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

*Не предусмотрено*

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач** *Не предусмотрено*

### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Актуальность применения развитых поверхностей теплообмена.
2. Эффективность ребра (на примере ребра прямоугольного сечения).
3. Виды теплообмена между оребренными поверхностями и окружающей средой, особенности процесса.
4. Конвективный теплообмен от продольного ребра прямоугольного профиля.
5. Конвективный теплообмен от продольного ребра треугольного профиля.
6. Конвективный теплообмен от продольного ребра вогнутого параболического профиля.
7. Конвективный теплообмен от продольного ребра выпуклого параболического профиля.
8. Конвективный теплообмен от продольного ребра профиля, требующего минимальной затраты материала.
9. Конвективный теплообмен от продольного ребра прямоугольного профиля.
10. Конвективный теплообмен от радиального ребра прямоугольного профиля.
11. Конвективный теплообмен от радиального ребра гиперболического профиля.
12. Конвективный теплообмен от радиального ребра профиля, требующего минимальной затраты материала.
13. Конвективный теплообмен от цилиндрического шипа.
14. Конвективный теплообмен от прямоугольного шипа.
15. Конвективный теплообмен от конического шипа.
16. Конвективный теплообмен от шипа вогнутого параболического профиля.
17. Конвективный теплообмен от шипа выпуклого параболического профиля.
18. Оптимальные размеры продольного ребра прямоугольного профиля.
19. Оптимальные размеры продольного ребра треугольного профиля.
20. Оптимальные размеры продольного ребра вогнутого параболического профиля.
21. Сравнение продольных рёбер.
22. Оптимальные размеры радиального ребра прямоугольного профиля.
23. Конвективный теплообмен при общем (сплошном) оребрении.
24. Особенности конвективного теплообмена при учёте практических ограничений (теплообмен с торца ребра).
25. Особенности конвективного теплообмена при неоднородном коэффициенте теплоотдачи (на примере прямоугольного продольного ребра).
26. Особенности конвективного теплообмена прямоугольного продольного ребра с внутренними источниками теплоты.

27. Теплообмен излучением от продольного ребра прямоугольного профиля при излучении в свободное пространство.

28. Теплообмен излучением от продольного ребра прямоугольного профиля при излучении в несвободное пространство.

29. Ребро минимальной массы при теплообмене излучением.

30. Ребро с постоянным температурным градиентом при теплообмене излучением.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

(Зачёт проводится в письменном виде по билетам, каждый из которых содержит один вопрос.

1. "Не зачтено" ставится в случае, если студент не ответил на вопрос.

2. "Зачтено" ставится в случае, если студент верно ответил на вопрос.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	1	Анализ развитых поверхностей	ПК-1, ПК-3
2	2	Теплообмен между ребром и жидкостью	ПК-1, ПК-3
3	3	Оребрѐнные каналы	ПК-1, ПК-3
4	4	Теплообменники с высокими продольными рѐбрами	ПК-1, ПК-3
5	5	Теплообменники с радиальными низкими рѐбрами	ПК-1, ПК-3
6	6	Теплообменники с высокими поперечными рѐбрами	ПК-1, ПК-3
7	7	Компактные теплообменники	ПК-1, ПК-3

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач



на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Исаченко, В.П. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. - М.: Энергия, 2013. 488 с. (или другого года издания).

2. Дахин, С.В. Расчет рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного действия: учеб. пособие / С.В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 110 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Образовательный портал ВГТУ - <https://education.cchgeu.ru/>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Аудитория для лекционных и практических занятий.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Теплообмен в системах с развитой поверхностью» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета теплообменников с оребренными поверхностями. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова,

	<p>термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.</p>
<p>Практическое занятие</p>	<p>Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.</p>
<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
<p>Подготовка к промежуточной аттестации</p>	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--