


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

 Заведующий кафедрой  
общей физики  
/Турищев С.Ю./  
01.07.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.04 Тепломассообмен в энергетическом оборудовании**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

14.04.02 Ядерные физика и технологии

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника:** магистр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра общей физики

**6. Составители программы:**

д.ф.-м.н., доцент Турищев Сергей Юрьевич

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 27.06.2022

**8. Учебный год:** 2022/2023

**Семестр(ы):** 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- целью изучения дисциплины является как фундаментальная, так и прикладная подготовка специалистов в области явлений переноса тепла и массы и базирующихся на них технических систем, и процессов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение общих вопросов теории теплообмена, составляющих научную базу для анализа и расчета процессов теплообмена и специальные вопросы теплообмена, характерные для узлов ядерных энергетических установок.
- приобретение умений проводить оценку процессов тепломассообмена на основе простейших моделей; самостоятельно разбираться в методиках оценки и применять их для решения поставленной задачи;
- умение осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для оценки процессов тепломассообмена; выбирать конструкционные и функциональные материалы зон объектов, участвующих процессах тепломассообмена в зависимости от условий работы
- изучение основных законов, описывающих феноменологию, механизмы и позволяющих провести оценку явлений и процессов переноса тепла и массы, в том числе межфазного;

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина вариативной части цикла Б1.В.ОД (Часть, формируемая участниками образовательных отношений).

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях.	ПК-3.2	Выполняет теплогидравлический расчет реакторов.	Знать: физические основы процессов переноса тепла, Уметь осуществлять оценку для подготовки к расчетам теплообменников и активных зон реакторов
ПК-5	Способен осуществлять контроль, организацию и планирование безопасной эксплуатации тепло- и электрооборудования, трубопроводов, парогенераторов АЭС, а также	ПК-5.1	Обладает знаниями физических основ процессов переноса тепла	Знать: физические основы процессов переноса тепла, Уметь: проводить оценку теплогидравлических характеристик на основе простейших моделей; самостоятельно разбираться в методиках оценки и применять их для решения поставленной задачи;
		ПК-5.2	Осуществляет расчеты теплообменников и активных зон реакторов, проводит оценку теплогидравлических	Владеть: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для для оценки процессов

	основных фондов реакторного отделения АЭС.		характеристик на основе простейших моделей; использует программы расчетов тепло-гидравлических характеристик ячейки реактора и реактора в целом.	теплообмена; выбирать конструкционные и функциональные материалы зон объектов, участвующих в процессах теплообмена в зависимости от условий работы.
		ПК-5.3	Осуществляет поиск и анализирует научно-техническую информацию и выбирает необходимые данные для тепло-гидравлических расчетов; выбирает конструкционные материалы активной зоны реактора в зависимости от условий работы.	
ПК-7	Способен оценивать риск и определять меры безопасности для ядерных установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.	ПК-7.1	Знает тепловые процессы, протекающие в устройствах для преобразования и использования энергии, элементах конструкций аппаратов и установок, которые разрабатываются, создаются и применяются в областях энергетической техники.	<p>Знать: тепловые процессы, протекающие в устройствах для преобразования и использования энергии, элементах конструкций аппаратов и установок, которые разрабатываются, создаются и применяются в областях энергетической техники; основные законы, описывающие феноменологию, механизм и кинетику явлений и процессов переноса тепла и массы, в том числе межфазного;</p> <p>Уметь: формулировать цели решения задач, определения критериев и показателей достижения целей; разрабатывать обобщенные варианты решения проблемы, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности, неопределенности;</p> <p>Владеть: терминологией в области реакторостроения; навыками поиска информации о тепло-гидравлических свойствах материалов активной зоны; навыками применения информации о технических параметрах основных видов ядерных реакторов при проектировании</p>
		ПК-7.2	Владеет терминологией в области реакторостроения; навыками поиска информации о тепло-гидравлических свойствах материалов активной зоны; навыками применения информации о технических параметрах основных видов ядерных реакторов при проектировании	

			ядерных реакторов.	
--	--	--	--------------------	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 4/144.**

**Форма промежуточной аттестации - экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		56	
в том числе:	Лекции	18	18
	Практические	38	38
	Лабораторные		
Самостоятельная работа		52	52
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Экзамен - 36 час	Экзамен -36 час
Итого:		144	144

**13.1. Содержание дисциплины**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1	Введение. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.	Введение дисциплины теплообмен в энергетическом оборудовании. Основные понятия и явления молекулярной физики и термодинамики, использующиеся при изучении процессов теплообмена.	-
2	Процессы переноса тепла	Описание процессов переноса тепла. Законы термодинамики. Законы переноса.	-
3	Механизм теплопроводности	Явления теплопроводности. Учет свойств среды. Роль тепловых свойств материала.	-
4	Теплообмен и теплопередача	Описание процессов обмена и передачи тепла. Тепловой поток.	-
5	Процессы массообмена	Обмен массой. Понятие концентрации. Закон Фика. Особенности применения при изменении тепла, при переносе массы.	-
6	Числа подобия для использования в оценке процессов теплообмена.	Числа подобия, их смысл и применение для оценки процессов теплообмена при учете физических явлений переноса тепла и массы.	
7	Особенности учета процессов теплообмена в энергетическом оборудовании.	Энергетическое оборудование, способы оценки влияния процессов передачи тепла и массы га особенности функционирования и эксплуатации.	-
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Проведение испытаний теплообменников в режимах прямого и противотока	Классификация теплообменных аппаратов. Проведение испытаний теплообменников в режимах прямого и противотока для теплообменников различных типов: пластинчатого,	

		кожухотрубного и типа труба в трубе.	
2.2	Измерение температуры на входе и выходе исследуемого теплообменника в горячем и холодном контурах. Измерение расхода теплоносителей	Измерение температуры на входе и выходе исследуемого теплообменника в горячем и холодном контурах. Измерение расхода теплоносителей. Тепловизор. Принцип работы.	
2.3	Определение КПД пластинчатого теплообменного аппарата.	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД пластинчатого теплообменника.	
2.4	Определение КПД теплообменника типа труба в трубе.	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД теплообменника типа труба в трубе.	
2.5	Определение КПД кожухотрубного теплообменника.	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД кожухотрубного теплообменника.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1	Введение. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.	2	5		7	5	19
2	Процессы переноса тепла	2	5		7	5	19
3	Механизм теплопроводности	2	5		7	5	19
4	Теплообмен и теплопередача	3	5		7	5	20
5	Процессы массообмена	3	6		8	5	22
6	Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.	3	6		8	5	22
7	Особенности учета процессов тепломассообмена в энергетическом оборудовании.	3	6		8	6	23
	Итого:	18	38		52	36	144

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами. На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических

занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – 456 с. (имеется в библиотеке ОГТУ АЭ).
2	Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М., Изд-во МЭИ. Учебное пособие для вузов. 2005. – 548 с. (имеется в библиотеке ОГТУ АЭ).
3	Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 548с. (имеется в библиотеке ОГТУ АЭ).
4	Ядерная энергетика : учебное пособие для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников / [Н.А. Азаренков и др.] ; Харьковский нац. ун-т им. В. Н. Каразина .— Харьков : Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2012 .— 479с.
5	Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Дорощук В.Е. Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 120с.
7	Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. - М.: Наука, 1982. - 472с.
8	Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. - М.: Мир, 1975. - 934с.
9	Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. - М.: Энергия, 1977. - 240с.
10	Кириллов П.Л. Свойства материалов ядерной техники, Изд-во ИАТЭ, 1990.
11	Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). - 2-е издание, переработанное и дополненное, - М.: Энергоатомиздат, 1990 г., - 360 с.
12	Крамеров А.Я., Шевелев Я.В. Инженерные расчеты ядерных реакторов. - 2-ое изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 736с.
13	Лыков А.В. Теория теплопроводности: Учебное пособие для вузов. - М.; Высшая школа, 1967. - 599с.
14	Галин Н. М. Тепломассообмен (в ядерной энергетике) / Н.М. Галин, П.Л. Кириллов .— М. : Энергоатомиздат, 1987 .— 374,[2] с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
15	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ.
	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Лыков А. В. Тепломассообмен : справочник / А.В. Лыков .— М. : Энергия, 1971 .— 560 с.
2	Бабенко Ю.И. Тепломассообмен : Метод. расчета тепловых и диффузионных потоков / Ю. И. Бабенко .— Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1986 .— 143,[1] с.
3	Цветков Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : Учеб. пособие для теплоэнергет. спец. вузов / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко .— М. : Изд-во МЭИ, 1997 .— 135,[1] с
4	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, ауд. 103	Специализированная мебель, ноутбук 17" Hewlett-Packard, проектор InFocus, Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> ) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses</a> )
Лаборатория (для проведения практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации) г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, ауд. 135	Лабораторный учебный стенд "Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата" ЭЛБ-171.012.03

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-7	ПК-3	ПК-3.4	Собеседование
2.	Темы 1-7	ПК-5	ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Собеседование
3	Темы 1-7	ПК-7	ПК-7.1 ПК-7.2	Собеседование
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

## 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование

---

### Перечень вопросов к собеседованию:

1. Введение. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.
2. Процессы переноса тепла
3. Механизм теплопроводности
4. Теплообмен и теплопередача
5. Процессы массообмена
6. Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.
7. Особенности учета процессов тепломассообмена в энергетическом оборудовании.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

---

### Перечень вопросов к экзамену:

1. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная).
2. Излучение и его свойства.
3. Физические основы передачи тепла в различных средах.
4. Теплообмен при кипении. Виды кипения.
5. Физические процессы при конденсации.
6. Температурное поле.
7. Плотность теплового потока.
8. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности.
9. Уравнение теплопроводности. Стационарные и нестационарные процессы.
10. Конвективный тепломассообмен в однофазных средах. Вынужденная и свободная конвекция.
11. Теплообмен и теплопередача. Закон Ньютона.
12. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Коэффициент теплопередачи.
13. Процессы массообмена. Закон Фика. Коэффициент массообмена. Аналогия между процессами переноса тепла и массы.
14. Нестационарные поля температуры в телах простой формы (пластина, цилиндр, шар). Дифференциальное уравнение. Граничные условия.
15. Вынужденное течение в каналах. Режимы: ламинарный, вязкостный, переходный, турбулентный.
13. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Критерии Рейнольдса, Нуссельта, Пекле, Прандтля.
14. Процессы теплопроводности. Критерий Био, его физический смысл.
15. Энергетическое оборудование и тепломассообмен.
16. Способы оценки влияния процессов передачи тепла на особенности функционирования и эксплуатации.
17. Способы оценки влияния процессов передачи массы на особенности функционирования и эксплуатации.



Промежуточная аттестация по дисциплине «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» осуществляется по следующим показателям:

- качество ответов при опросе на занятиях;
- выполнение практических работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если обучающийся не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.