

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
20.06.2025г.

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 ядерной физики **6.**

Составители программы:

к.ф.-м.н., доцент Алейников Алексей Николаевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 2

9.

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 тепло-гидравлических характеристик на основе простейших моделей; самостоятельно разбираться в методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи; использовать программы расчетов тепло-гидравлических характеристик ячейки реактора и реактора в целом; - умение осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для тепло-гидравлических расчётов; выбирать конструкционные материалы активной зоны реактора в зависимости от условий работы
- изучение основных законов, описывающих феноменологию, механизм и кинетику явлений и процессов переноса тепла и массы, в том числе межфазного, в простых и многокомпонентных системах, а именно процессов теплопереноса (теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена, теплопередачи) и диффузии;

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 расчеты теплообменников и активных зон реакторов |

| | | | | |
|------|---|--------|---|---|
| ПК-5 | Способен осуществлять контроль, организацию и планирование безопасной эксплуатации тепло- и электрооборудования, трубопроводов, парогенераторов АЭС, а также основных фондов реакторного отделения АЭС. | ПК-5.1 | Способен осуществлять контроль, организацию и планирование безопасной эксплуатации тепло- и электрооборудования, трубопроводов, парогенераторов АЭС, а также основных фондов реакторного отделения АЭС. | <p>Знать: физические основы процессов переноса тепла,</p> <p>Уметь: проводить оценку теплогидравлических характеристик на основе простейших моделей; самостоятельно разбираться в методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи; использовать программы расчетов тепло-гидравлических характеристик ячейки реактора и реактора в целом;</p> <p>Владеть: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для тепло-гидравлических расчётов; выбирать конструкционные материалы активной зоны реактора в зависимости от</p> |
| | | ПК-5.2 | Осуществляет расчеты теплообменников и | |

| | | | | |
|--|--|--------|--|----------------|
| | | | активных зон реакторов, проводит оценку теплогидравлических характеристик на основе простейших моделей; использует программы расчетов теплогидравлических характеристик ячейки реактора и реактора в целом. | условий работы |
| | | ПК-5.3 | Осуществляет поиск и анализирует научнотехническую информацию и выбирает необходимые данные для теплогидравлических расчётов; 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. | 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, в простых и многокомпонентных системах, а именно процессов теплопереноса (теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена, теплопередачи) и диффузии; |
| | | ПК-7.2 | Владеет терминологией в области реакторостроения; навыками поиска информации о теплогидравлических свойствах материалов активной зоны; навыками применения информации о технических | 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; 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 |
| | | | параметрах основных видов ядерных реакторов при проектировании ядерных реакторов. | 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 * |
|------------------|---|--|--|
| 1. Лекции | | | |
| 1 | Введение. Физические основы процессов переноса тепла. | <p>Понятие непрерывной среды. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная), излучение. Физические основы передачи тепла в различных средах. Роль процессов теплообмена в ядерной энергетике. Основные понятия. Температурное поле. Плотность теплового потока. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности. Плотность источников тепла в ЯЭУ. Линейный тепловой поток. Гипотеза Фурье. Механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Фононная и электронная составляющие. Теплоотдача (теплообмен) и теплопередача. Закон Ньютона. Коэффициент теплообмена, его физических смысл. тепловой пограничный слой. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники. Процессы массообмена. Закон Фика. Коэффициент массообмена. Аналогия между процессами переноса тепла и массы. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Понимание критериев как отношения двух физических эффектов, отражаемых членами</p> | - |
| | | уравнений в дифференциальной форме. Критерии Рейнольдса, Нуссельта, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фруда, Маха, Стантона. 2 часа. | |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 2 | Процессы теплопроводности | <p>Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарные и нестационарные процессы. Внутренние источники тепла. Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Учет зависимости теплопроводности от температуры, переменная Кирхгофа. Распределения температуры в телах разной формы. Исходные уравнения. Поле температуры в пластине без- и с внутренними источниками тепла при разных граничных условиях (1, 3 рода). Многослойная плоская стенка. Поле температуры в цилиндрической стенке, сплошном цилиндре, шаре с тепловыделением. Критический диаметр тепловой изоляции. Методы измерения коэффициента теплопроводности (по результатам лабораторных работ). Охлаждение (нагревание) тела без внутреннего термического сопротивления. Изменение температуры во времени. Количество тепла, отдаваемое или воспринимаемое телом. Нестационарные поля температуры в телах простой формы (пластина, цилиндр, шар). Дифференциальное уравнение. Граничные условия. Роль критерия Био, его физический смысл. Решения для пластины при разных значениях критерия Био.</p> | - |
| 3 | Конвективный теплообмен в однофазных средах | <p>Основные положения. Гидродинамический, тепловой и диффузионный пограничные слои. Вынужденная и свободная конвекция. Оценка толщины ламинарного гидродинамического пограничного слоя. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Условия однозначности. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала. Изменения средней температуры жидкости вдоль обогреваемого канала. Подобие и моделирование тепловых процессов. Задача теории подобия. Теоремы подобия. Нахождение безразмерных величин с помощью теории размерностей и обработка результатов эксперимента с их помощью. Примеры соотношений. Выбор определяющих размеров и температур. Интенсивность теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои и методы их расчета. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев. Обтекание цилиндра, шара. Поперечное обтекание пучков труб. Влияние отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности трубы. Влияние угла атаки. Вынужденное течение в каналах. Режимы: ламинарный, вязкостный вязкостногравитационный, переходный, турбулентный. Гидродинамический и тепловой начальные участки. Факторы, вызывающие свободное движение. Характер движения среды вдоль вертикальной поверхности. Число Грасгофа. Параллельная и</p> | - |

| | | | |
|---|----------------------------|---|---|
| | | встречная свободная конвекция. Расчеты теплообмена при свободной конвекции в средах с разными числами Релея, Прандтля. Теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве. | |
| 4 | Теплообмен при конденсации | <p>Физические процессы при конденсации. Условия возникновения конденсации пара. Центры конденсации. Переохлаждение пара, критический радиус зародыша капли. Процессы: подвод пара к поверхности, фазовый переход, отвод тепла, отвод жидкости. Кривая конденсации. Капельная и пленочная конденсация. Пленочная конденсация неподвижного сухого пара. Режимы течения пленки. Ламинарное течение пленки, теория Нуссельта, поправки к теории. Ламинарноволновой и турбулентно-волновой режимы.</p> <p>Конденсация перегретого или влажного пара. Пленочная конденсация движущегося пара. Конденсация внутри трубы. Интенсификация теплообмена при конденсации. Методы уменьшения средней толщины пленки конденсата (гофрированные поверхности, ребра, желоба)</p> | - |
| 5 | Теплообмен при кипении | <p>Механизмы процесса. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Влияние смачиваемости стенки жидкостью и краевого угол. Критический радиус парового зародыша.. Капиллярная постоянная. Кипение в большом объеме. Кривая кипения. Пузырьковое кипение, две составляющих теплового потока. Влияние давления, шероховатости, отложений, свойств материала. Расчетные соотношения. Классификация парожидкостных потоков (гомогенные и гетерогенные, адиабатные и диабатные, равновесные и неравновесные потоки). Приведенные скорости. Объемное, массовое, истинное паросодержание. Коэффициент скольжения. Скорость циркуляции. Массовая скорость. Формы, режимы течения двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных трубах. Распределение фаз и скоростей. Теплообмен в парогенерирующих каналах. Начало кипения. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная). Изменение температуры жидкости, стенки, паросодержания (массового, балансного, истинного) по длине трубы.</p> | - |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 6 | Теплообмен излучением | <p>Основные понятия. Спектр излучения. Поглощательная, отражательная, пропускная способности тел. Интегральное, монохроматическое излучение. Излучательная способность, яркость. Спектральная излучательная способность. Виды излучения - собственное, падающее, поглощенное, отраженное, эффективное, результирующее, их взаимная связь. Законы теплового излучения для абсолютно черного тела (Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Радиационные характеристики. Излучательные, поглощательные и отражательные характеристики реальных тел (металлов, диэлектриков, газов). Теплообмен излучением между телами (в прозрачной среде, при наличии экранов, при произвольном расположении поверхностей). Угловые коэффициенты, расчетная поверхность. Теплообмен между телом и оболочкой. Коэффициент теплообмена излучением. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Оптическая толщина среды. Особенности излучения газов и паров.</p> | |
| 7 | Основы теплового расчета теплообменников и активных зон реакторов | <p>Типы теплообменников. Схемы движения теплоносителей: прямоток, противоток, комбинированные схемы. Основные положения теплового расчета. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор. Сравнение прямотока и противотока. Расчет необходимой поверхности. Расчет конечных температур. Эффективность теплообменника. Изменение характеристик во время эксплуатации. Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным потоком. Разные определения коэффициента теплообмена, неравномерности температуры по периметру. Расчет распределения скоростей и подогревов по сечению ТВС. Теплообмен в активной зоне, охлаждаемой двухфазным потоком. Начало кипения. Расчет КТП в пучках, скелетные таблицы. Расчет запаса мощности до кризиса с учетом погрешностей параметров. Расчет температуры в твэле. Максимальные температуры оболочки и топлива. Термическое сопротивление зазора между топливом и оболочкой. Теплопроводность диоксида урана, влияние стехиометрического состава, плотности, выгорания. Интегральная теплопроводность.</p> | - |

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование темы (раздела) дисциплины | Виды занятий (количество часов) | | | | | |
|-------|---|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|----------|-------|
| | | Лекции | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | Контроль | Всего |
| 1 | Введение. Физические основы процессов переноса тепла. | 2 | 5 | | 7 | 5 | 19 |
| 2 | Процессы теплопроводности. | 2 | 5 | | 7 | 5 | 19 |

| | | | | | | | |
|---|---|----|----|--|----|----|-----|
| 3 | Конвективный теплообмен в однофазных средах | 2 | 5 | | 7 | 5 | 19 |
| 4 | Теплообмен при конденсации | 3 | 5 | | 7 | 5 | 20 |
| 5 | Теплообмен при кипении | 3 | 6 | | 8 | 5 | 22 |
| 6 | Теплообмен излучением | 3 | 6 | | 8 | 5 | 22 |
| 7 | Основы теплового расчета теплообменников и активных зон реакторов | 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 продемонстрировать 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. Теплообмен 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. Теплообмен. – 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 | Дорошук 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 | www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ. |
| | https://edu.vsu.ru – 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 - 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:

| | |
|--|--|
| <p>Лаборатория им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 30</p> | <p>Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран на штативе ScenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)</p> |
| <p>Лаборатория (для проведения лабораторных занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации) г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 32</p> | <p>Комплект учебного оборудования "Работа насосов различных типов" Типовой комплект учебного оборудования "Механика жидкости -гидравлический удар" Лабораторный учебный стенд "Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата" ЭЛБ-171.012.03 Учебный лабораторный стенд "Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата" ЭЛБ 171.012.04</p> |
| | |
| <p>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31</p> | <p>Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EBX11, переносной экран на штативе ScenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)</p> |

| | |
|--|--|
| <p>Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5</p> | <p>Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационнообразовательную среду университета</p> <p>Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/aboutus/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия: https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/)</p> |
|--|--|

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. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная), излучение. Физические основы передачи тепла в различных средах.
2. Теплообмен при кипении. Виды кипения - пузырьковое, пленочное.
3. Физические процессы при конденсации. Условия возникновения конденсации пара.

Центры конденсации. Переохлаждение пара.

4. Температурное поле. Плотность теплового потока. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности. Гипотеза Фурье.

5. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарные и нестационарные процессы.

6. Конвективный теплообмен в однофазных средах. Вынужденная и свободная конвекция.

7. Теплообмен и теплопередача. Закон Ньютона. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Коэффициент теплопередачи.

8. Распределения температуры в телах разной формы. Исходные уравнения.

9. Интенсивность теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои и методы их расчета. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.

10. Процессы массообмена. Закон Фика. Коэффициент массообмена. Аналогия между процессами переноса тепла и массы.

11. Нестационарные поля температуры в телах простой формы (пластина, цилиндр, шар). Дифференциальное уравнение. Граничные условия.

12. 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. Капельная и пленочная конденсация. Пленочная конденсация неподвижного сухого пара. Режимы течения пленки.

16. Конвективный теплообмен в однофазных средах. Параллельная и встречная свободная конвекция. Теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве.

17. Конденсация перегретого или влажного пара. Пленочная конденсация движущегося пара. Конденсация внутри трубы.

18. Кипение в большом объеме. Кривая кипения. Пузырьковое кипение, две составляющих теплового потока.

19. Теплообмен при кипении. Теплообмен в парогенерирующих каналах. Начало кипения. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала

20.Теплообмен излучением. Спектр излучения. Поглощательная, отражательная, пропускная способности тел.

21.Основы теплового расчета теплообменников и активных зон реакторов. Типы теплообменников. Схемы движения теплоносителей: прямоток, противоток, комбинированные схемы.

22.Основы теплового расчета теплообменников и активных зон реакторов. Основные положения теплового расчета. Уравнения теплового баланса и теплопередачи.

23.Теплообмен излучением. Виды излучения - собственное, падающее, поглощенное, отраженное, эффективное, результирующее, их взаимная связь.

24.Конденсация перегретого или влажного пара. Пленочная конденсация движущегося пара. Конденсация внутри трубы.

25.Физические основы процессов переноса тепла. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Критерии Грасгофа, Фруда, Маха, Стантона.

26.Охлаждение (нагревание) тела без внутреннего термического сопротивления. Изменение температуры во времени. Количество тепла, отдаваемое или воспринимаемое телом.

27.Интенсивность теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои и методы их расчета.

28.Теплообмен при кипении. Объемное, массовое, истинное паросодержание. Коэффициент скольжения. Скорость циркуляции.

29.Законы теплового излучения для абсолютно черного тела (Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Радиационные характеристики.

30.Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным потоком. Разные определения коэффициента теплообмена, неравномерности температуры по периметру.

31.Теплообмен в активной зоне, охлаждаемой двухфазным потоком. Начало кипения. Расчет запаса мощности до кризиса с учетом погрешностей параметров.

32.Теплообмен излучением между телами (в прозрачной среде, при наличии экранов, при произвольном расположении поверхностей).

33.Формы, режимы течения двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных трубах. Распределение фаз и скоростей.

34.Теплообмен излучением. Теплообмен между телом и оболочкой. Коэффициент теплообмена излучением.

35.Теплообмен при кипении. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).

36.Конденсация перегретого или влажного пара. Пленочная конденсация движущегося пара. Конденсация внутри трубы.

| Критерии оценивания компетенций | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|--|--------------------------------------|----------------------------|
| Студент отвечает на 2 вопроса и дополнительные вопросы | <i>Повышенный уровень</i> | <i>Отлично</i> |
| Студент отвечает на 2 вопроса, имеются неточности, нет ответов на дополнительные вопросы | <i>Базовый уровень</i> | <i>Хорошо</i> |
| Студент отвечает на 1 вопрос, имеются неточности, отвечает на дополнительные вопросы | <i>Пороговый уровень</i> | <i>Удовлетворительно</i> |
| Студент не отвечает ни на вопросы ни на дополнительные вопросы | – | <i>Неудовлетворительно</i> |

20.2 Промежуточная аттестация Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам **Перечень**

вопросов к экзамену:

1. Понятие непрерывной среды. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная), излучение.
2. Физические основы передачи тепла в различных средах. Роль процессов теплообмена в ядерной энергетике. Основные понятия. Температурное поле.
3. Плотность теплового потока. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности. Плотность источников тепла в ЯЭУ. Линейный тепловой поток. Гипотеза Фурье.
4. Механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Фононная и электронная составляющие.
5. Теплоотдача (теплообмен) и теплопередача. Закон Ньютона. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. тепловой пограничный слой.

6. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи.
7. Теплопередача. Аналогия с законами электротехники. Процессы массообмена. Закон Фика.
8. Коэффициент массообмена. Аналогия между процессами переноса тепла и массы.
9. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Понимание критериев как отношения двух физических эффектов, отражаемых членами уравнений в дифференциальной форме.
10. Критерии Рейнольдса, Нуссельта, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Фруда, Маха, Стантона.
11. Основные положения. Гидродинамический, тепловой и диффузионный пограничные слои. Вынужденная и свободная конвекция. Оценка толщины ламинарного гидродинамического пограничного слоя.
12. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля.
13. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Условия однозначности. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях.
14. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала.
15. Изменения средней температуры жидкости вдоль обогреваемого канала. Подobie и моделирование тепловых процессов.
16. Задача теории подобия. Теоремы подобия. Нахождение безразмерных величин с помощью теории размерностей и обработка результатов эксперимента с их помощью.
17. Примеры соотношений. Выбор определяющих размеров и температур.
Интенсивность теплообмена.
18. Гидродинамический и тепловой пограничные слои и методы их расчета.
Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.
19. Обтекание цилиндра, шара. Поперечное обтекание пучков труб. Влияние отрыва пограничного слоя.
20. Изменение коэффициента теплообмена по окружности трубы. Влияние угла атаки.

21. Вынужденное течение в каналах. Режимы: ламинарный, вязкостный вязкостногравитационный, переходный, турбулентный. Гидродинамический и тепловой начальные участки.
22. Факторы, вызывающие свободное движение. Характер движения среды вдоль вертикальной поверхности. Число Грасгофа.
23. Параллельная и встречная свободная конвекция. Расчеты теплообмена при свободной конвекции в средах с разными числами Релея, Прандтля. Механизмы процесса.
24. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Влияние смачиваемости стенки жидкостью и краевого угол.
25. Критический радиус парового зародыша. Капиллярная постоянная.
26. Кипение в большом объеме. Кривая кипения.
27. Пузырьковое кипение, две составляющих теплового потока. Влияние давления, шероховатости, отложений, свойств материала. Расчетные соотношения.
28. Классификация парожидкостных потоков (гомогенные и гетерогенные, адиабатные и диабатные, равновесные и неравновесные потоки).
29. Приведенные скорости. Объемное, массовое, истинное паросодержание. Коэффициент скольжения.
30. Скорость циркуляции. Массовая скорость. Формы, режимы течения двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных трубах. Распределение фаз и скоростей.
31. Теплообмен в парогенерирующих каналах. Начало кипения. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).
32. Изменение температуры жидкости, стенки, паросодержания (массового, балансного, истинного) по длине трубы.
33. Основные понятия теплообмена излучением. Спектр излучения. Поглощательная, отражательная, пропускная способности тел.
34. Интегральное, монохроматическое излучение. Излучательная способность, яркость. Спектральная излучательная способность.
35. Виды излучения - собственное, падающее, поглощенное, отраженное, эффективное, результирующее, их взаимная связь.
36. Законы теплового излучения для абсолютно черного тела (Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).

37. Радиационные характеристики. Излучательные, поглощательные и отражательные характеристики реальных тел (металлов, диэлектриков, газов).
38. Теплообмен излучением между телами (в прозрачной среде, при наличии экранов, при произвольном расположении поверхностей).
39. Угловые коэффициенты, расчетная поверхность. Теплообмен между телом и оболочкой. Коэффициент теплообмена излучением.
40. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Оптическая толщина среды. Особенности излучения газов и паров.
41. Типы теплообменников. Схемы движения теплоносителей: прямоток, противоток, комбинированные схемы. Основные положения теплового расчета.
42. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор.
43. Сравнение прямотока и противотока. Расчет необходимой поверхности. Расчет конечных температур. Эффективность теплообменника.
44. Изменение характеристик во время эксплуатации. Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным потоком.
45. Разные определения коэффициента теплообмена, неравномерности температуры по периметру. Расчет распределения скоростей и подогревов по сечению ТВС.
46. Теплообмен в активной зоне, охлаждаемой двухфазным потоком.
47. Начало кипения. Расчет КТП в пучках, скелетные таблицы.
48. Расчет запаса мощности до кризиса с учетом погрешностей параметров.
49. Расчет температуры в твэле. Максимальные температуры оболочки и топлива.
50. Термическое сопротивление зазора между топливом и оболочкой. Теплопроводность диоксида урана, влияние стехиометрического состава, плотности, выгорания. Интегральная теплопроводность.

| Критерии оценивания компетенций | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|--|--------------------------------------|--------------------------|
| Студент отвечает на 2 вопроса и дополнительные вопросы | <i>Повышенный уровень</i> | <i>Отлично</i> |
| Студент отвечает на 2 вопроса, имеются неточности, нет ответов на дополнительные вопросы | <i>Базовый уровень</i> | <i>Хорошо</i> |
| Студент отвечает на 1 вопрос, имеются неточности, отвечает на дополнительные вопросы | <i>Пороговый уровень</i> | <i>Удовлетворительно</i> |

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Студент не отвечает ни на вопросы ни на дополнительные вопросы | – | <i>Неудовлетворительно</i> |
|--|---|----------------------------|