

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики



Титова Л. В.  
16.06.2022 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Б1.В.10 Парогенераторы и теплообменники**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника:** инженер – физик

**4. Форма обучения:** очная

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

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

к.ф.-м.н., доц. Алейников Алексей Николаевич, ст. преподаватель Работкин Владимир Александрович

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 14.06.2022 г.

**8. Учебный год:** 2025/2026

**Семестр(ы):** 7,8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- изучение конструктивного устройства парогенераторов АЭС, процессов, протекающих в них, и приобретение практических навыков проектирования эффективных парогенераторов АЭС;

- изучение и овладение принципами анализа безопасной и экономичной и эксплуатации парогенераторов АЭС.

*Задачи учебной дисциплины:*

- овладение студентами принципов проектирования основного оборудования АЭС;

- изучение современных конструктивных решений в исполнении характерных узлов и элементов парогенераторов АЭС;

- приобретение практических навыков в проведении теплогидравлических, компоновочных прочностных и гидравлических расчетов парогенераторов АЭС с ВВЭР.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Парогенераторы и теплообменники относится к вариативной части блока Б1.

## 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-1	Способен проводить производственно - технологические исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	ПК-1.1	Выбирает оптимальные рабочие циклы энергетических установок	Знать: термодинамические и теплофизические параметры различных теплоносителей; практическое использование основных термодинамических процессов в энергетических установках и аппаратах; методы расчета теплопередачи при вынужденном движении теплоносителя, естественной конвекции, изменении агрегатного состояния, радиационном теплообмене; применение теории подобия к процессам теплообмена.  Уметь: классифицировать атомную станцию по нескольким признакам; классифицировать теплообменные аппараты различных энергоустановок; объяснять взаимосвязь параметров реакторной установки; проводить тепловые, компоновочные, прочностные, гидравлические, сепарационные расчеты парогенераторов АЭС с ВВЭР; оформлять результаты работы в документированном виде (расчеты и чертежи) согласно требованиям ЕСКД
		ПК-1.4	Способен составлять аналитические обзоры по научно-технической тематике	
ПК-2	Способен анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи комплексного инженерного анализа в области	ПК-2.4	Использует вычислительную технику и численные методы для решения задач прикладной физики	Владеть: навыками ведения теплового и компоновочного расчетов парогенераторов для АЭС с ВВЭР с применением справочной литературы; подходами к выбору типа и основных конструктивных элементов теплообменного аппарата; современными методами и средствами проектирования для выполнения конструкторских и поверочных теплогидравлических и механических расчетов ПГ атомных электростанций.

	проектирования и эксплуатации АС		
ПК-4	Способен проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять инженерные проекты с применением методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ПК-4.2	Производит подготовку исходных данных для выбора и обоснования научно - технических решений
ПК-6	Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты в стационарных и нестационарных режимах работы, обеспечивать оптимальные режимы работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС	ПК-6.4	Знает основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС
		ПК-6.5	Способен к анализу режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС

ПК-10	Способен составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	ПК-10.2	Составляет тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов преобразования ядерной энергии топлива в тепловую и электрическую энергию
		ПК-10.4	Использует математические модели и программные комплексы для численного анализа процессов в ядерно-энергетическом и тепломеханическом оборудовании АС

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 5/180.**

**Форма промежуточной аттестации – зачет (7 семестр), экзамен (8 семестр)**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		7 семестр	8 семестр	
Аудиторные занятия				
в том числе:	лекции	66	34	32
	практические			
	лабораторные	32	16	16
Самостоятельная работа	46	22	24	
в том числе: курсовая работа (проект)		22		
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)	36	Зачет	Экзамен (36 ч)	
Итого:	180	72	108	

**13.1. Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение. Предмет и задачи курса	Структура курса. Рекомендуемая литература. Проблемы развития мировой атомной энергетики. Существующее состояние и перспективы развития атомных электростанций в России.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.2	Парогенераторы и теплообменники АЭС	Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Схемы производства пара на АЭС. Общие понятия о парогенераторной установке. Требования к ПГ. Общие характеристики ПГ. Классификация парогенераторов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.3	Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций	Сравнительные характеристики, достоинства и недостатки основных видов теплоносителей и рабочих тел (воды, жидких металлов, газов). Перспективные виды теплоносителей (свинец).	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>

1.4	Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов	Парогенераторы, обогреваемые водой под давлением. Парогенераторы, обогреваемые жидкометаллическими теплоносителями (ЖМТ). Парогенераторы, обогреваемые газовыми теплоносителями. Сравнительные достоинства и недостатки ПГ АЭС.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.5	Тепло-гидравлические процессы парогенераторов и теплообменников АЭС	Общая характеристика тепло-гидравлических процессов, протекающих в парогенераторах. Процессы теплообмена и гидродинамики, физико-химические процессы. Влияние этих процессов на надежность и экономичность работы основных агрегатов АЭС.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.6	Гидродинамические процессы в парогенераторах и теплообменниках АЭС	Основные закономерности гидродинамики и методы расчёта гидравлического сопротивления при движении однофазного потока. Особенности. Гидродинамика двухфазных потоков: режимы течения, расходные и истинные характеристики двухфазной среды. Методы расчёта гидравлического сопротивления при движении двухфазной среды.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.7	Температурный режим теплопередающих поверхностей парогенераторов и теплообменников АЭС	Теплообмен при движении. Особенности теплообмена в поверхностях нагрева парогенераторов с жидкометаллическими теплоносителями (натрий, калий, свинец). Теплообмен при движении кипящей воды. Кризис теплообмена при кипении. Типы кризисов (1-го и 2-го рода) и методы оценки условий их возникновения.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.8	Естественная циркуляция	Безнапорное движение: понятие и закономерности барботажного процесса. Парораспределительные дырчатые листы: конструкция, характеристики, условия работы. Понятие контура естественной циркуляции (КЕЦ). Движущий напор по контуру естественной циркуляции и факторы его определяющие. Последовательность расчёта КЕЦ. Критерии надёжности естественной циркуляции. Основные нарушения в работе контура естественной циркуляции.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.9	Гидравлическая и тепловая неравномерности	Гидравлическая и тепловая неравномерность параллельно включенных труб. Понятие о тепловой разверке. Гидродинамические характеристики (ГДХ) труб при принудительной циркуляции. Неоднозначность ГДХ. Стабильность и нестабильность парогенерирующей трубы. Факторы, влияющие на устойчивость гидродинамической характеристики. Условия и мероприятия, обеспечивающие устойчивую работу парогенерирующей трубы. Пульсационные режимы работы парогенерирующих труб. Механизм пульсационных колебаний и факторы, влияющие на их интенсивность. Способы снижения пульсационной неустойчивости.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.10	Сепарация пара	Требования, предъявляемые к качеству пара в ядерных энергетических установках. Причины загрязнения пара: переход примесей из воды в пар, механический унос примесей и унос за счёт растворимости веществ в паре. Методы получения чистого пара. Факторы, влияющие на влажность пара. Сепарация пара: в свободном объеме, во внутрибарабанных сепарационных устройствах. Особенности конструкции и расчёт жалюзийных и центробежных сепараторов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.11	Водно-химический режим	Коррозия и водный режим парогенераторов АЭС.	<a href="https://edu.vsu.ru/c">https://edu.vsu.ru/c</a>

		Требования, предъявляемые к парогенераторной и питательной воде. Состав парогенераторной воды: отложения примесей воды, летучие и нелетучие соединения. Факторы, влияющие на скорость коррозионных процессов: состояние поверхности, состав воды, температура и скорость движения среды. Водный режим парогенераторов с естественной и многократной принудительной циркуляцией. Особенности водного режима прямоточных ПГ.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">ourse/view.php?id=29250</a>
1.12	Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС	Задачи проектирования парогенераторов и виды расчётов. Особенности проектирования ПГ разного типа. Техничко-экономическое обоснование конструкции парогенераторов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
1.13	Эксплуатация, надежность, безопасность	Вопросы эксплуатации парогенераторов АЭС. Особенности эксплуатации парогенераторов, обогреваемых водой под давлением. Пуск и останов парогенераторов. Работа парогенераторов при базовых и переменных нагрузках. Нарушения в работе ПГ АЭС. Основные мероприятия по устранению неисправностей парогенераторов: отмывка поверхностей нагрева от отложений, диагностика и ремонт ПГ.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Эксплуатация парогенератора	Особенности эксплуатации парогенераторов для различных тепловых схем АЭС.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.2	Эксплуатация парогенератора	Правила эксплуатации парогенераторов на АЭС различных тепловых схем	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.3	Парогенератор УВР-1500	Основные характеристики парогенератора. Устройство и работа парогенератора. Эксплуатация парогенератора. Ремонт парогенератора.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.4	Парогенераторы ВВЭР	Основные характеристики парогенератора. Устройство и работа парогенератора. Эксплуатация парогенератора. Ремонт парогенератора	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.5	Расчет парогенератора. (гидравлический)	Рекомендации по выбору скорости движения теплоносителей. Расчет потерь напора по длине. Расчет потерь напора на местных сопротивлениях. Выбор насосного оборудования	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.6	Расчет парогенератора (тепловой)	Расчет тепловой нагрузки парогенератора. Расчет среднего температурного напора. Расчет коэффициента теплоотдачи. Расчет коэффициента теплопередачи. Расчет поверхности теплообмена.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.7	Расчет элементов парогенератора:	Расчет корпуса. Расчет теплообменных труб. Расчет трубных досок. Расчет штуцеров	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
2.8	Конструкционный расчет парогенератора:	Расчет объемов зон парогенератора. Расчет длины, ширины и высоты зон парогенератора	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Эксплуатация парогенератора	Особенности эксплуатации парогенераторов для различных тепловых схем АЭС.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.2	Эксплуатация парогенератора	Правила эксплуатации парогенераторов на АЭС различных тепловых схем	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.3	Парогенератор УВР-1500	Основные характеристики парогенератора. Устройство и работа парогенератора. Эксплуатация парогенератора. Ремонт парогенератора.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.4	Парогенераторы ВВЭР	Основные характеристики парогенератора. Устройство и работа парогенератора. Эксплуатация парогенератора. Ремонт	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>

		парогенератора	
3.5	Расчет парогенератора. (гидравлический)	Рекомендации по выбору скорости движения теплоносителей. Расчет потерь напора по длине. Расчет потерь напора на местных сопротивлениях. Выбор насосного оборудования	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.6	Расчет парогенератора (тепловой)	Расчет тепловой нагрузки парогенератора. Расчет среднего температурного напора. Расчет коэффициента теплоотдачи. Расчет коэффициента теплопередачи. Расчет поверхности теплообмена.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.7	Расчет элементов парогенератора:	Расчет корпуса. Расчет теплообменных труб. Расчет трубных досок. Расчет штуцеров	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>
3.8	Конструкционный расчет парогенератора:	Расчет объемов зон парогенератора. Расчет длины, ширины и высоты зон парогенератора	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29250</a>

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Введение. Предмет и задачи курса	2			2	4
2.	Парогенераторы и теплообменники АЭС	4			4	8
3.	Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций	4			4	8
4.	Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов	6	2	4	16	28
5.	Тепло-гидравлические процессы парогенераторов и теплообменников АЭС	6	2	4	16	28
6.	Гидродинамические процессы в парогенераторах и теплообменниках АЭС	6	2	4	16	28
7.	Температурный режим теплопередающих поверхностей парогенераторов и теплообменников АЭС	6	2	4	16	28
8.	Естественная циркуляция	6	2	4	14	26
9.	Гидравлическая и тепловая неравномерности	6	2	4	14	26
10.	Сепарация пара	6	2	4	14	26
11.	Водно-химический режим	6	2	4	8	20
12.	Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС	4	2	4	10	20
13.	Эксплуатация, надежность, безопасность	4			4	8
	Контроль					36
	Итого:	66	16	32	138	288

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

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал 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.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

### а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Воробьёв, Александр Владимирович. Парогенераторы АЭС. Основные конструкции и проектирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Воробьёв, А. М. Антонова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 3.0 MB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — Схема доступа: <a href="http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m451.pdf">http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m451.pdf</a>
2.	Кириллов, Павел Леонидович. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов / П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская. — 2-е изд., перераб. — Москва: ИздАт, 2008. — 256 с.: ил. — Библиогр.: с. 250. — Условные обозначения: с. 5-8.. — ISBN 978-5-86656-210-7.
3.	Кириллов, Павел Леонидович Гидродинамические расчеты: справочное учебное пособие / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев. — Москва: ИздАТ, 2009. — 213 с.: ил. — Библиография в конце глав.. — ISBN 978-5-86656-218-3.

### б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Свойства конструкционных материалов атомной промышленности: справочник: в 8 т. / под ред. В. В. Козлова, С. В. Стрелкова. — М.: Агентэк, 2006-2009 Т. 6: Материалы для РНБ и теплообменных аппаратов АЭС. — 2009. — 244 с.— Библиогр.: с. 243-244. — ISBN 978-5-903005-09-3.
5.	Воронов, Виктор Николаевич. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами: учебное пособие для вузов / В. Н. Воронов, Б. М. Ларин, В. А. Сенина. — Москва: Изд-во МЭИ, 2006. — 390 с.: ил. — Библиогр.: с. 389.
6.	Баклушин, Рудольф Петрович. Эксплуатационные режимы АЭС: учебное пособие / Р. П. Баклушин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2012. — 530 с.: ил. — Победитель общероссийского Конкурса рукописей учебной и учебно-справочной литературы по атомной энергетике 2010 г. — Библиогр.: с. 527-530.. — ISBN 978-5-383-00641-2.
7.	Тепловые и атомные электростанции : справочник / под ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. — 4-е изд., стер. — Москва: Изд-во МЭИ, 2007. — 648 с.: ил. — Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: в 4 кн.; Кн. 3. — Библиогр.: с. 639. — Предметный указатель: с. 640-644. — ISBN 978-5-383-00018-2.
8.	Теплогидравлические модели оборудования электрических станций / А. Р. Аветисян [и др.]; под ред. Г. А. Филиппова; Ф. Ф. Пашенко. — Москва: Физматлит, 2013. — 448 с.: ил. — Библиография в конце глав.. — ISBN 978-5-9221-1518-6.
9.	Трунов Н. Б. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР / Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. - М. : Энергоатомиздат, 2001.
10.	Лукаевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко С.Е. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.
11.	Будов В.М., Фарафонов В.А. Конструирование основного оборудования АЭС. М.:



	Энергоатомиздат, 1985.
12.	Тепловые и атомные электрические станции. Справочник /М.С.Алхутов, А.Н.Безгрешнов, Р.Г.Богоявленский и др. Под ред. А.В.Клименко и В.М.Зорина.-М.: Издательство МЭИ, 2003; Энергоатомиздат, 1982,1989.

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

№ п/п	Ресурс
13.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ.
14.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
15.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
16.	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a> – ЭБС «Консультант студента»
17.	<a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a> – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
18.	<a href="https://rucont.ru">https://rucont.ru</a> - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Саркисов А.А., Пучков В.Н. Физические основы эксплуатации паропроизводящих установок. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2.	Андреев П.А., Гринман М.И., Смолкин Ю.В. Оптимизация теплоэнергетического оборудования АЭС. М.: Атомиздат, 1975.

## 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:

1. активные и интерактивные формы проведения занятий;
2. компьютерные технологии при проведении занятий;
3. презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
4. специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
5. 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 метода.

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:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации

Специализированная мебель, ноутбук, проектор, экран

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации)

Специализированная мебель, ноутбук, проектор

Microsoft Windows 7, Windows 10

LibreOffice, Adobe Reader

Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

### 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.	Введение. Предмет и задачи курса	ПК-1 ПК-2 ПК-4 ПК-6 ПК-10	ПК-1.1 ПК-1.4 ПК-2.4 ПК-4.2 ПК-6.4 ПК-6.5 ПК-10.2 ПК-10.4	Курсовой проект, коллоквиум, собеседование по вопросам к экзамену.
2.	Парогенераторы и теплообменники АЭС			
3.	Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций			
4.	Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов			
5.	Тепло-гидравлические процессы парогенераторов и теплообменников АЭС			
6.	Гидродинамические процессы в парогенераторах и теплообменниках АЭС			
7.	Температурный режим теплопередающих поверхностей парогенераторов и теплообменников АЭС			
8.	Естественная циркуляция			
9.	Гидравлическая и тепловая неравномерности			
10.	Сепарация пара			
11.	Водно-химический режим			
12.	Основы проектирования парогенераторов и теплообменников АЭС			
13.	Эксплуатация, надежность, безопасность			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Пункт 20.2 Перечень вопросов 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:

### Темы курсовых проектов:

1. Проект парогенератора перегретого пара, обогреваемого жидким свинцом производительностью 80 кг/с.
  2. Проект парогенератора насыщенного пара, обогреваемого водой под давлением мощностью 175 МВт.
  3. Проект парогенератора слабоперегретого пара, обогреваемого водой под давлением с ширмовой поверхностью теплообмена.
  4. Проект парогенератора слабоперегретого пара, обогреваемого водой под давлением с U-образными теплообменными трубками производительностью 110 кг/с.
  5. Проект вертикального парогенератора слабоперегретого пара, обогреваемого водой под давлением с прямыми теплообменными трубками.
  6. Проект горизонтального парогенератора насыщенного пара, обогреваемого водой под давлением.
  7. Проект парогенератора перегретого пара, обогреваемого жидким натрием мощностью 40 МВт.
  8. Проект вертикального парогенератора перегретого пара, обогреваемого жидким калием.
  9. Проект горизонтального парогенератора перегретого пара с трубками Фильда.
  10. Проект горизонтального парогенератора без экономайзерного участка мощностью 120 МВт.
- Проект парогенератора, обогреваемого водой под давлением U-образными теплообменными трубками мощностью 75 МВт.
12. Проект парогенератора насыщенного пара, обогреваемого водой под давлением 5 Мпа

Оценка «отлично» выставляется при выполнении курсового проекта (работы) в полном объеме; используется основная литература по проблеме, работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; студент свободно владеет теоретическим материалом, безошибочно применяет его при решении задач, сформулированных в задании; на все вопросы дает правильные и обоснованные ответы, убедительно защищает свою точку зрения.

Оценка «хорошо» выставляется при выполнении курсовой работы в полном объеме; работа отличается глубиной проработки всех разделов содержательной части, оформлена с соблюдением установленных правил; студент твердо владеет теоретическим материалом, может применять его самостоятельно или по указанию преподавателя; на большинство вопросов даны правильные ответы, защищает свою точку зрения достаточно обосновано.

Оценка «удовлетворительно» выставляется при выполнении курсовой работы в основном правильно, но без достаточно глубокой проработки некоторых разделов; студент усвоил только основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя (без инициативы и самостоятельности) применяет его практически; на вопросы отвечает неуверенно или допускает ошибки, неуверенно защищает свою точку зрения.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, когда студент не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки при ответах на поставленные вопросы или вовсе не отвечает на них.

### Перечень вопросов к коллоквиуму:

1. Дайте определение понятию «атомная станция» в соответствии с НП-001–2015.
2. Какие типы атомных станций различают в зависимости от вида производимой энергии?
3. Какую схему АЭС называют одноконтурной?
4. Как осуществляется очистка натриевого теплоносителя II контура от примесей?
5. Опишите, как организована циркуляция натрия в I контуре РУ БН-600.
6. Какое оборудование входит в состав петли II контура АЭС с БН-800?
7. По какой схеме осуществляется циркуляция среды по стороне III контура АЭС с БН-600?
8. Что включает в себя система регенеративного подогрева питательной воды АЭС с БН-600?
9. Какие недостатки имеет вода как теплоноситель?
10. Какие преимущества имеет натрий как теплоноситель?

11. Объясните, как определяется максимальное давление в I контуре реакторов с водой под давлением.
12. Нарисуйте  $t, Q$ -диаграмму ПГ, обогреваемого натриевым теплоносителем и вырабатывающего перегретый пар и пар промежуточного перегрева.
13. Какими способами может быть осуществлен ввод поверхности теплопередачи в корпус ПГ?
14. Какую конструкцию ПГ называют интегральной?
15. В каком диапазоне лежит оптимум по давлению перегретого пара на АЭС с РБН?
16. Опишите конструкцию парогенератора АЭС «Феникс».
17. Опишите первоначальную конструкцию секции испарителя ПГ БН-350.
18. Какие типы ПГ прошли испытания на БОР-60 за весь период его эксплуатации?
19. Каковы преимущества «обратного» натриевого ПГ?
20. Опишите включение ПГН-200М по III контуру.
21. Каково назначение бака буферного натриевого (ББН), входящего в состав ПГН-200М?
22. Опишите конструкцию модуля испарителя ПГН-200М.
23. Каково отличие модуля промпароперегревателя от модуля основного пароперегревателя ПГН-200М?
24. Каковы основные требования к конструкции ПГ РУ БН-1200?
25. С помощью каких систем осуществляется обнаружение течей на парогенераторах энергоблока БН-600?
26. Какие основные физико-химические процессы протекают в ПГ?
27. Назовите источники поступления примесей в питательную воду?
28. Каковы особенности механизма передачи тепла жидкими металлами и неметаллическими теплоносителями?
29. Для каких скоростей и паросодержания потока характерен дисперсный режим?
30. При каких паросодержаниях обычно происходит ухудшение теплоотдачи в условиях, характеризующихся для ПГ с жидкометаллическим обогревом?
31. Дайте определение гидравлического сопротивления и сопротивления ускорения потока.
32. По какой формуле рассчитывается эквивалентный гидравлический диаметр?
33. Что называют приведенными скоростями пара и воды при течении двухфазного потока?
34. Что такое «скорость циркуляции»?
35. Что называют истинным паросодержанием смеси  $j$ ?
36. Что называют объемным расходным паросодержанием смеси  $b$ ?
37. В каких пределах следует выбирать диаметры, если среда движется внутри трубок за счет напора, создаваемого насосом?
38. От чего зависит теплопроводность стенки  $\lambda_{ст}$ ?
39. Что называется тепловой разверткой?
40. Что называют тепловой гидравлической неравномерностью?
41. Назовите наиболее целесообразный способ предотвращения тепловой развертки.
42. Перечислите основные виды гидродинамической неустойчивости.
43. Какие методы существуют для борьбы с гидродинамической неустойчивостью?
44. Перечислите режимы пуска ПГ и энергоблока.
45. Чем обусловлена необходимость разогрева металлоконструкции ПГ с определенной скоростью перед заполнением?
46. Чем достигается доведение качества питательной воды до необходимого уровня при пуске?
47. В чем заключается режим быстрого перевода испарителей ПГ в паровой режим?
48. Поэтому не допускается подача пара в основные перегреватели с перегревом менее  $t_s + 20$  °С?
49. Каковы задачи этапа подъема мощности реактора от 18 до 60 %  $N_{ном}$ ?
50. Какие общие требования должны соблюдаться в процессе планового останова энергоблока?
51. Что необходимо для организации режима ЕЦ во II контуре в течение длительного времени?
52. По каким причинам может происходить снижение надежности и экономичности оборудования пароводяного контура АЭС при неоптимальной организации водного режима ПГ?
53. Перечислите основные физико-химические характеристики парогенераторной воды.
54. Перечислите системы, которые обеспечивают поддержание ВХР на энергоблоке.

55. Что понимается под «малыми течами» ПГ?

**Критерии оценивания ответа студента:**

Оценка «отлично» выставляется студенту, если демонстрируются: глубокое и прочное усвоение программного материала полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении задания, свободное владение материалом, правильно обоснованные принятые решения.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если демонстрируются: знание программного материала грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний; владение необходимыми навыками при выполнении практических задач.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если демонстрируются: усвоение основного материала, при ответе допускаются неточности, при ответе даются недостаточно правильные формулировки, нарушается последовательность в изложении программного материала, имеются затруднения в выполнении практических заданий.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если демонстрируются: незнание программного материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

**Перечень вопросов к экзамену:**

1. Основные схемы генерации пара на АЭС. Сравнительные достоинства и недостатки.
2. Требования к парогенераторам АЭС. Их основные характеристики.
3. Классификация ПГ (по составу входящих в ПГ элементов, по способу организации движения в испарителе). Кратность циркуляции.
4. Классификация ПГ по виду конструкционной схемы (по способу омывания, по схеме взаимного движения, по форме труб). Понятие корпусного и секционно-модульного парогенератора.
5. Теплотехническая схема, тепловой баланс и тепловая диаграмма для парогенераторов разных типов (для ПГ с водяным теплоносителем и ЖМТ).
6. Требования к теплоносителям, используемым в ПГ АЭС, сравнительные достоинства и недостатки основных теплоносителей (вода, Ма, гелий).
7. Особенности теплогидравлических процессов в ПГ АЭС. Характер изменения параметров парогенерирующего канала по длине канала.
8. Температурный режим поверхности нагрева. Распределение температуры по радиусу трубы поверхности теплообмена.
9. Классификация и основные характеристики двухфазных потоков (скорость циркуляции, приведенная, истинная скорости; массовое, расходное и объемные паросодержания).
10. Расчет потерь давления (гидравлических, нивелирных и на ускорение потока при движении однофазного теплоносителя).
11. Особенности определения гидравлических сопротивлений при движении двухфазного потока.
12. Уравнение теплопередачи. Пути повышения коэффициента теплопередачи.
13. Особенности расчёта процесса теплообмена в ПГ АЭС (основные формулы для расчёта коэффициента теплоотдачи на разных характерных участках).
14. Проектирование ПГ. Основные виды расчетов, их назначение примерный порядок.
15. Барботаж. Основные характеристики. Распределение паросодержания по высоте и диаметру барботёра и факторы, определяющие характер этого распределение.
16. Внутрибарабанные устройства, предназначенные для осушения пара в ПГ с погружной поверхностью теплообмена.
17. Суть гравитационной сепарации. Факторы, определяющие её эффективность.

18. Конструкция и принцип действия жалюзийного сепаратора. Условия и ограничения по их применению.
19. Конструкции и принцип действия центробежного сепаратора.
20. Статическая неустойчивость парогенерирующего канала (неоднозначность ГДХ, причины и факторы, способствующие неоднозначности). Мероприятия по повышению устойчивости.
21. Понятие тепловой разверки в поверхностях нагрева. Условия при которой тепловая разверка отсутствует. Тепловой и гидравлической неравномерности. Методы предотвращения гидравлической неравномерности.
22. Контур естественной циркуляции. Уравнение циркуляции и его решение.
23. Водный режим парогенераторов АЭС. Отрицательные последствия его нарушения. Требования к чистоте рабочего тела. Расчет баланса примесей во втором контуре АЭС с ВВЭР.
24. Водный режим ПГ БН.
25. Выбор конструкционных материалов для ПГ АЭС.
26. Особенности конструкции ПГ ЖМТ.

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 и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное и глубокое усвоение материала, грамотное и логичное изложение мыслей, обоснованность выводов, умение сочетать теорию с практикой, наличие аналитического мышления.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся демонстрирует твердое знание материалов учебного курса, его грамотное изложение, отсутствие существенных неточностей в ответе.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся демонстрирует наличие пробелов в усвоении основного материала, неточности формулировок, недостаточная аргументация выводов, отсутствие последовательности в ответе.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отсутствие знаний основного материала, существенные ошибки при ответах на дополнительные вопросы, неумение логически обосновать ответ	–	Неудовлетворительно

## Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
ядерной физики  
\_\_\_\_\_ Титова Л. В.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.В.10 Парогенераторы и теплообменники.

Вид контроля: Экзамен.

### Контрольно-измерительный материал №1

1. Требования к парогенераторам АЭС. Их основные характеристики.
2. Понятие тепловой разверки в поверхностях нагрева. Условия при которой тепловая разверка отсутствует. Тепловой и гидравлической неравномерности. Методы предотвращения гидравлической неравномерности.

Преподаватель \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_  
подпись расшифровка подписи

### 21. Фонд оценочных средств, рекомендуемых к использования в ходе проверки остаточных знаний (оценке достижения результатов освоения дисциплины)

#### Тестовые задания

1. Теплообменный аппарат – устройство, в котором осуществляется теплообмен между:

а) плоскими поверхностями

**б) подвижными средами**

в) твердыми телами

г) концентрическими поверхностями

2. Движущей силой теплообмена является разность:

**а) температур**

б) давлений

в) концентраций

г) плотностей

3. Единица измерения плотности теплового потока:

а) Вт

б) Вт/м

**в) Вт/м<sup>2</sup>**

г) Дж/с

4. Величина коэффициента молекулярной диффузии бинарной системы увеличивается при увеличении:

- а) градиента концентрации
- б) давления
- в) плотности
- г) температуры**

5. Число подобия, используемое только в процессах массообмена:

- а) Нуссельта
- б) Рейнольдса
- в) Льюиса**
- г) Фурье

6. Определяемое число подобия в процессах массообмена:

- а) Нуссельта**
- б) Рейнольдса
- в) Льюиса
- г) число Грасгофа

7. Теоретическим основанием аналогии процессов тепло- и массообмена является:

- а) одинаковая физическая природа
- б) одинаковое математическое описание**
- в) однородность условий однозначности
- г) равенство соответствующих чисел подобия

8. Аналогия процессов массообмена и теплообмена позволяет использовать для расчета процессов массообмена:

- а) уравнения подобия для теплообмена**
- б) числа подобия для теплообмена
- в) основное уравнение теплопроводности
- г) уравнение теплопередачи



9. Парциальное давление водяного пара у поверхности воды больше, чем во влажном воздухе, следовательно, протекает процесс:

а) конденсации

**б) испарения**

в) сублимации

г) сорбции

10. Вектор теплого потока при конденсации водяного пара из парогазовой смеси на плоской стенке направлен:

**а) нормально к стенке**

б) нормально от стенки

в) вдоль стенки

г) под углом к стенке

11. Трубки кожухотрубного теплообменника к трубной решетке нельзя крепить:

**а) лужением**

б) сваркой

в) пайкой

г) развальцовкой

12. Пробное давление при гидравлическом испытании теплообменника составляет от рабочего:

а) 1,5

б) 0,75

в) 1

**г) 1,25**

13. Негодные трубки кожухотрубного теплообменника можно отглушать от общего числа трубок на:

а) 25%

б) 5%

**в) 15%**

г) 75%

14. Теплообменниками открытого типа считаются теплообменники:

а) с U-образными трубками

- б) оросительные
- в) секционные
- г) труба в трубе

15. Параметр, величина которого увеличивается при испарительном охлаждении воздуха:

а) внутренняя энергия

б) энтальпия

в) влагосодержание

г) температура

### **Задания с развернутым ответом**

#### **1. Приведите классификацию теплообменных аппаратов по функциональным признакам и по схемам тока теплоносителей.**

По типу взаимодействия сред: поверхностные (рекуперативные); смешительные (регенеративные).

По направлению движения сред: одноходовые теплообменники; многоходовые теплообменники.

По конструкции: трубчатые; пластинчатые; с развитой поверхностью; кожухотрубные; спиральные.

По функциональному назначению: холодильники; подогреватели; конденсаторы; испарители.

#### **2. Опишите пароперегреватель.**

Пароперегреватель представляет собой цилиндрический корпус с приваренным сверху эллиптическим днищем. Пароперегреватель состоит из двух ступеней перегрева, которые расположены одна на другой. Каждая ступень пароперегревателя представляет собой трубный пучок, который расположен внутри корпуса и установлен на опорную решетку. Каждый трубный пучок пароперегревателя выполнен из 222 кассет. Кассета выполнена из 37 продольно – оребренных труб, расположенных по треугольной разбивке с шагом 36 мм.

#### **3. В чем разница между градирнями с естественной и механической тягой?**

Градирни с естественной тягой имеют высокий корпус, который открыт у основания для доступа атмосферного воздуха, поступающего к последним по направлению хода воды к теплообменным поверхностям. Чем выше корпус градирни, тем протяженнее путь воздушного потока; однако при этом увеличиваются капитальные затраты. Таким образом, существует оптимальная с экономической точки зрения высота.

Градирни с механической тягой менее высоки, поэтому их строительство дешевле; однако, установленные в них вентиляторы для прокачки воздуха потребляют

значительное количество электроэнергии, что также определяет необходимость отыскивать оптимальную высоту градирни.

#### **4. Из чего состоит ПВД, что установлено на поверхности его корпуса и что входит в его трубную систему.**

ПВД состоит из трех основных узлов: корпуса; камеры питательной воды; трубной системы.

Корпус подогревателя представляет собой сварную конструкцию из цилиндрических обечаек и эллиптического днища. На поверхности корпуса установлены: патрубки для входа пара и выхода конденсата; дренажный штуцер для обеспечения дренирования межтрубного пространства; штуцера под указатель и сигнализатор уровня; штуцер для сдувки неконденсирующихся газов; воздушник для удаления воздуха из межтрубного пространства; патрубок для ввода сепарата из линейного сепаратора; термодатчики для контроля температуры металла трубной доски на ее внешней поверхности.

Трубная система состоит из: трубной решетки; теплообменных труб, закрепленных в трубной доске; каркаса трубного пучка.

#### **5. Опишите ПНД-2.**

ПНД-2 вертикальный, однокорпусной, смешивающего типа. Подвод пара через 2 патрубка со встроенными обратными клапанами. Подвод основного конденсата выполнен двумя линиями. В ПНД-2 предусмотрено разделение перегородкой зоны нагрева основного конденсата и объема, заполненного конденсатом. ПНД-2 выполнен неотключаемым по пару и основному конденсату. Он установлен в здании УМА на отметке 7,8 м. В ПНД-2 предусмотрен аварийный перелив в конденсатор через безарматурный гидрозатвор (труба в трубе) высотой 10 м.

#### **Критерии и шкалы оценивания:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

##### 1) открытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

##### 2) задания с развернутым ответом:

- 5 баллов – указан верный ответ;
- 2 балла – указан частично верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.