

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики



/Кадменский С. Г./  
30.06.2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.05 Машины и оборудование АЭС**

**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 №6 от 24.06.2021,  
РП продлена на 2022-2023 учебный год, НМС физического факультета от 14.06.2022,  
протокол №6.

**8. Учебный год: 2022/2023**

**Семестр(ы): 3**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование умения по обеспечению мер безопасности при выполнении ЯОР с использованием современных технологий;
- приобрести умения определения классификацию систем (элементов) АЭС по влиянию на безопасность
- приобрести навыки обоснования отнесения классу безопасности оборудование, трубопроводы и другие технические устройства системы безопасности
- приобрести навыки выявления конструктивных особенностей обеспечения безопасности оборудования и трубопроводов
- приобрести навыки самоконтроля действий, правильной коммуникации.

Задачи учебной дисциплины:

- перечислить /объяснить распределение оборудования и систем по отделениям АЭС.
- дать определение «Эксплуатация АЭС»
- перечислить /объяснить функции основных систем, оборудования и элементов, обеспечивающих безопасную и надежную эксплуатацию двухконтурной АЭС указать их различие.
- объяснить классификацию систем и оборудования РУ по ОПБ и ПУБЭ по: назначению, влиянию на безопасность, характеру выполняемых ими функций безопасности;
- дать определение «Отказ» для элементов АЭС, «Отказ», для элементов систем безопасности,
- перечислить группы оборудования и трубопроводов, влияющих на безопасность, выделенных на АЭС.
- объяснить различные принципы действия воздействия на реактивность?
- объяснить обеспечение теплоотвода от активной зоны со стороны 1 и 2 контуров
- объяснить требования к качеству элементов АЭС, отнесенных к 1,2,3 класс
- обосновать общие технологические функции, выполняемые на АЭС
- объяснить классификацию системы безопасности по характеру выполняемых ими функций

## 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-1	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и	ПК-1.1	Знает основные модели процессов в области физики атомного ядра, конденсированного состояния вещества и взаимодействия излучений с веществом.	Знать: циклы, лежащие в основе работы паровых турбин и газотурбинных установок АЭС; тепловые и аэродинамические процессы как в одной ступени, так и во всей турбине при расчетном и переменных режимах работы; место турбины и турбоустановки в энергоблоке АЭС.; типы турбин.
		ПК-1.2	Составляет	Уметь: рассчитывать функции всех элементов паротурбинной установки и их взаимосвязь, в том числе конденсаторов и сепараторов-

	взаимодействие излучения с веществом.		математические модели ядерно-физических процессов.	пароперегревателей  Владеть: определения качественных показателей работы турбины и паротурбинной установки; теплоаэродинамических расчетов ступеней турбин, расчетов на прочность деталей и узлов.
--	---------------------------------------	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108.**

**Форма промежуточной аттестации - экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		3 семестр	
Аудиторные занятия	26		
в том числе:	лекции	26	26
	практические		
	лабораторные		
Самостоятельная работа	46	46	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации	Экзамен – 36 час.	Экзамен – 36 час.	
Итого:	108	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. Тепловые циклы турбинных установок	Тепловые циклы турбинных установок. Принципиальные схемы паротурбинных установок, особенности схем турбин для АЭС. Коэффициенты полезного действия турбины и турбинной установки. Методы повышения экономичности паротурбинных установок. Влияние начальных и конечных параметров пара, влажности пара. Промежуточная сепарация и перегрев пара, их влияние на экономичность турбин насыщенного пара. Выбор разделительного давления и промежуточного перегрева в турбинах АЭС. Принципиально схемы АЭС. Регенерация тепла в турбинной установке. Особенности в вычислениях к.п.д. турбинных установок АЭС. Перспективы применения теплофикации в атомной энергетике. Перспективы применения ГТУ на АЭС. Типы турбин и их классификация. Стандарты параметров пара. Обозначения турбин.	-
1.2	Ступени турбины. Расчет ступеней турбины	Понятие о ступенях турбин. Основные уравнения потока сжимаемой и несжимаемой жидкости: уравнение состояния, уравнение энергии, количества движения и неразрывности для одномерного течения, уравнение Бернулли.	-

		Тепловой процесс в турбинной ступени. Активный и реактивный принципы работы ступени. Степень реактивности турбинной ступени, усилия, действующие на лопатки, потеря на рабочих лопатках и с выходной скоростью турбинной ступени. Расчет турбинной ступени без учета пространственности потока, особенности расчета турбинных ступеней, работающих на влажном паре. Особенности течения пара в ступенях с длинными лопатками (учет пространственности потока). Краткая характеристика методов расчета этих ступеней.	
1.3	Многоступенчатые турбины. Переменный режим турбины	Конструкция многоступенчатой турбины. Изменение параметров вдоль проточной части, процесс в i-s диаграмме. Преимущества многоступенчатых турбин. Дополнительные потери. Коэффициент возврата тепла; степень реактивности в ступенях, использование выходной энергии потока в ступенях, выбор частоты вращения, Предельные размеры последних ступеней, предельная мощность. Выбор конструкции турбины. Особенности конструкций турбин АЭС. Определение расхода пара на турбину. Разбивка теплоперепадов по цилиндрам. Предварительные расчеты первой и последней ступеней цилиндров. Распределение теплоперепадов между ступенями. Работа одиночной ступени при переменном режиме. Влияние отношения скоростей на к.п.д. и степень реактивности ступени. Распределение давлений и теплоперепадов в турбине при изменении пропускания пара. Дроссельное парораспределение. Работа турбины с дроссельным парораспределением при переменном пропуске пара. Регулирование мощности при скользящем давлении.	-
1.4	Конденсационные установки паровых турбин.	Типы конденсаторов турбоустановок. Конструкции конденсаторов. Особенности конструкций конденсаторов турбинных установок АЭС. Схема конденсационной установки. Особенности теплообмена в конденсаторе. Кратность охлаждения. Паровое и гидравлическое сопротивление конденсатора. Влияние подсосов воздуха. Некоторые сведения о струйных аппаратах. Характеристика конденсатора.	-

### 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
1.1	Введение. Тепловые циклы турбинных установок	4			8	9	21
1.2	Ступени турбины. Расчет ступеней турбины	10			16	9	35
1.3	Многоступенчатые турбины. Переменный режим турбины	8			14	9	31
1.4	Конденсационные установки паровых турбин.	4			8	9	21

Итого:	26		46	36	108
--------	----	--	----	----	-----

#### 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, открытыми интернет-ресурсами.

Самостоятельная работа является обязательной для каждого обучающегося, ее объем определяется данной рабочей программой дисциплины. Главная задача самостоятельной работы – развитие самостоятельности, ответственности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня. В ходе аудиторной самостоятельной работы обучающиеся участвуют в подготовке к лабораторным занятиям, участвуют в обсуждении задач, выполняют задания лабораторных работ. Внеаудиторная самостоятельная работа включает изучение справочной литературы, учебной основной и дополнительной литературы, подготовку к собеседованию и составление отчета по лабораторным работам.

#### 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	В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин "Техническая термодинамика", Энергоатомиздат.
2	С.М. Рипс "Основы термодинамики и теплотехники", "Высшая школа".
3	А.М. Пукович "Основы теплотехники". Москва, "Высшая школа".
4	С.В. Бальян "Техническая термодинамика и тепловые двигатели", Ленинград, "Машиностроение".
5	Г.Д. Бэр "Техническая термодинамика", Москва, "Мир".
6	Проектная документация Раздел 5 Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений 5.7 Технологические решения 5.7.2 Тепломеханические решения 5.7.2.6 Турбоустановка. Компонентные решения здания турбины BLR1.B.130.&.050702.0109&.021.CA.0001 Том 1 Текстовая часть Книга 9.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Программы индивидуальных испытаний насосов, вентиляторов, компрессоров
2.	Проектно-конструкторская документация. Исполнительная документация, паспорта, заводская документация, инструкции по эксплуатации.
3.	Отчетно-сдаточная документация (акты входного контроля, протоколы промывок, гидравлических испытаний, протоколы индивидуальных испытаний)

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

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
2.	
3.	

**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	Кудинов, И.В. Теоретические основы теплотехники : учебное пособие / И.В. Кудинов, Е.В. Стефанюк ; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный архитектурно-строительный университет». - Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. - Ч. 1. Термодинамика. - 172 с.
2	Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники: техническая термодинамика и теплообмен : учебное пособие / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2014. - 225 с.
3.	Корпус ядерного реактора. Чертеж общего вида. 1162.02.00.200ВО, Атомэнергоэкспорт Корпус. Чертеж общего вида. 1162.02.70.010ВО, Атомэнергоэкспорт Крышка. Чертеж общего вида. 1162.02.18.100ВО, Атомэнергоэкспорт Шахта. Чертеж общего вида. 302.01.02.00.000ВО, ГКАЭ, ОКБ «Гидропресс». Выгородка. Чертеж общего вида. 302.01.03.00.000ВО, ГКАЭ, ОКБ «Гидропресс». Блок защитных труб. Чертеж общего вида. 320.06.03.00.000ВО, ГКАЭ, ОКБ «Гидропресс». Верхний блок. Чертеж общего вида. 320.06.04.00.000ВО, ГКАЭ, ОКБ «Гидропресс» Проектная документация Раздел 5 Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений 5.7 Технологические решения 5.7.2 Тепломеханические решения 5.7.2.6 Турбоустановка. Компонентные решения здания турбины BLR1.B.130.&.050702.0109&.021.CA.0001 Том 1 Текстовая часть Книга 9.

**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, пом.1,	Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе ScenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-
--	--

ауд. 32	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> )
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31	Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе SceenMedia Aplo-T
Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы  г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5	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 информационно-образовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 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> ) Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/">https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/</a> )

## 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 1-4	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	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:

Контрольные работы

---

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

---

#### 20.2.1. Вопросы к экзамену:

1. Место турбины и турбоустановки в энергоблоке АЭС. Типы турбин АЭС.
2. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение состояния.
3. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение неразрывности (сохранения расхода).
4. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение количества движения (сохранения импульса).
5. Адиабатическое течение пара в канале. Уравнение сохранения энергии.
6. Параметры заторможенного состояния потока,  $i$ - $s$ - диаграмма состояния.
7. Трение в процессе истечения потока через канал. Располагаемая и действительная работа расширения рабочего тела. Внутренний относительный к.п.д.
8. Турбинная ступень. Конструктивная схема осевой ступени турбомшины. Принцип работы турбинной ступени.
9. Принцип работы турбинной ступени. Турбинные решетки (основные элементы конструкции). Классификация решеток турбин.
10. Тепловой процесс в турбинной ступени. Активный и реактивный принципы работы ступени.
11. Процесс преобразования энергии в турбинной ступени. Треугольники скоростей.
12. Выражение для мощности ступени через скорости с помощью уравнения сохранения энергии.
13. Изображение процесса расширения рабочего тела в ступени в  $i$ - $s$ -диаграмме.
14. Многоступенчатые турбины. Ступени давления и ступени скорости многоступенчатой турбины.
15. Классификация потерь в ступенях турбомшины.
16. Конденсационная установка. Понятия предельного и экономического вакуума.
17. Относительный лопаточный к.п.д. осевой ступени турбины. Оптимальное соотношение скоростей.
18. Основные преимущества многоступенчатой турбины. Чем определяются предельные размеры последних ступеней?
19. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Конденсационные турбины.
20. Компоновка многоступенчатой паровой турбины. Типы турбин и их классификация.
21. Ступени скорости и ступени давления.
22. Цикл Ренкина и обобщенный цикл Карно с регенеративным подогревом.
23. Особенности теплового процесса в области влажного пара. Течение влажного пара в турбинных решетках.



24. Дополнительные потери в турбомашине с течением влажного пара. Способы уменьшения влаги в проточной части.
25. Простейшая схема регулирования (непосредственное регулирование).
26. Простейшая схема регулирования (схема непрямого регулирования).
27. Необходимость регулирования и управления. Задачи регулирования паровой турбины.
28. Характеристики системы регулирования.
29. Особенности регулирования турбин атомных электростанций. Статическая характеристика регулирования.
30. Назначение и состав САРЗ
31. Требования ПТЭ, предъявляемые к системам регулирования.
32. Конструкции рабочих лопаток.
33. Конструкции турбин АЭС и их особенности.
34. Элементы паротурбинной установки: конденсационные устройства, насосы, сепараторы-промперегреватели.
35. Конструкции решеток рабочих колес и диафрагм.
36. Корпуса ЦВД и ЦНД. Кольцевые уплотнения.
37. Валоповоротное устройство. Назначение и принцип работы.
38. Подшипники турбины. Маслохозяйство.
39. Конструкция роторов цилиндров турбины.
40. Бандаж лопаточного аппарата. Назначение и конструкция.

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>

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