

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»  
в г. Апатиты

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.В.ДВ.3.2 Химико-технологические режимы атомных электростанций (АЭС)  
(продвинутый уровень)**

---

(название дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

**основной профессиональной образовательной программы  
по направлению подготовки**

**16.04.01 Техническая физика  
направленность (профиль) Теплофизика и молекулярная физика**

---

(код и наименование направления подготовки  
с указанием направленности (профиля) (наименования магистерской программы))

**высшее образование – магистратура**

---

уровень профессионального образования: высшее образование – бакалавриат / высшее  
образование – специалитет, магистратура / высшее образование – подготовка кадров  
высшей квалификации

**магистр**

---

квалификация

**очная**

---

форма обучения

**2018**

---

год набора

**Составитель:**  
Иваненко В.И., д-р техн. наук,  
профессор



Утверждено на заседании кафедры физики,  
биологии и инженерных технологий  
(протокол № 8 от «15» июня 2018 г.)

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ В.Г. Николаев

**1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)** – изучение физико-химических основ технологии водоподготовки и очистки теплоносителя, обеспечения оптимального водно-химического режима на АЭС, изучение теоретических и методических основ эксплуатации теплоэнергетического оборудования в различных регионах России

В результате освоения дисциплины «Химико-технологические режимы АЭС» обучающийся должен:

**знать:**

- основные требования, предъявляемые к качеству исходной и очищенной воды на АЭС;
- методы и способы подготовки воды;
- методы расчета наиболее экономичных режимов работы водоподготовительных установок АЭС,
- методы и способы корректировки качества воды.

**уметь:**

1. анализировать эксплуатационные данные и характеристики основного и вспомогательного оборудования для выбора схемы водоподготовительной установки и системы химико-технологического мониторинга качества теплоносителя.

**владеть:**

- основными методами анализа технологических показателей водоподготовительной установки;
- основными методами поддержания и корректировки водно-химического режима

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

– способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовностью к профессиональному росту (ОПК-5);

– способностью представлять результаты исследования в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций (ПК-8).

## **3. УКАЗАНИЕ МЕСТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Данная дисциплина относится к вариативной части образовательной программы по направлению подготовки 16.04.01 Техническая физика магистерская программа Теплофизика и молекулярная физика, является дисциплиной по выбору.

Дисциплина опирается на знания, полученные в результате изучения следующих дисциплин: «Химия», «Экология», «Физика», «Ядерная физика», «Безопасность жизнедеятельности», «Физика ядерных реакторов», «Тепловые и атомные станции», «Паровые котлы и тепловые агрегаты тепловых станций». В свою очередь, дисциплина обеспечивает базовый уровень изучения материала дисциплин: «Система водоподготовки на тепловых и атомных станциях», «Радиационная безопасность атомных электростанций», а также прохождения практик и выполнение научно-исследовательской работы.

## **4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С**

**ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы или 144 часа (из расчета 1 ЗЕТ= 36 часов).

Курс	Семестр	Трудоемкость в ЗЕТ	Общая трудоемкость (час.)	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интер-активной форме	Кол-во часов на СРС	Курсовые работы	Кол-во часов на контроль	Форма контроля
				ЛК	ПР	ЛБ						
2	3	4	144	10	20	-	30	-	78	-	36	экзамен
<b>Итого:</b>		<b>4</b>	<b>144</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>78</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>экзамен</b>

**5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивной форме	СРС Кол-во часов на	контроль Кол-во часов на
		ЛК	ПР	ЛБ				
1.	1. Раздел: Характеристика объектов ядерной энергетики.	2	2	-	4	-	10	
2.	2. Раздел: Физико-химические основы внутриконтурных процессов в ЯЭУ.	2	4	-	6	-	10	
3.	3. Раздел: Физико-химические основы методов водоподготовки	2	2	-	4	-	16	
4.	4. Раздел: Химико-технологические режимы контуров АЭС.	2	4	-	6	-	18	
5.	5. Раздел: Дезактивация и химическая очистка технологических растворов и оборудования.	2	4	-	6	-	14	
6.	6. Раздел: Технология	-	4	-	4	-	4	

	обращения с отходами.							
	<b>Итого:</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>78</b>	
	<b>Экзамен</b>							<b>36</b>

## Содержание дисциплины

### 1. Раздел: Характеристика объектов ядерной энергетики.

#### 1.1. Ядерный топливный цикл и ядерные энергетические установки.

Ядерный топливный цикл. Роль топливного цикла в атомной энергетике. Основные технологические этапы цикла. Обеспечение ядерной безопасности на этапах топливного цикла. Атомные электростанции и их роль в энергетике. Особенности эксплуатации АЭС. Ядерные энергетические установки АЭС. Типы ядерных реакторов. Основные физико-технические особенности реакторов РБМК, ВВЭР, БН и др. Устройство различных типов ядерных реакторов (сравнительные характеристики). Источники ионизирующего излучения на АЭС. Влияние облучения. Обеспечение безопасности на АЭС.

#### 1.2. Теплоносители ядерных энергетических станций (ЯЭУ) и их особенности.

Общая характеристика теплоносителей АЭС. Требования к теплоносителям ядерных энергетических установок. Физико-химические свойства теплоносителей и особенности применения. Водные теплоносители. Неводные теплоносители ЯЭУ: органические теплоносители, жидкометаллические теплоносители (ЖМТ), газовые теплоносители.

### 2. Раздел: Физико-химические основы внутриконтурных процессов в ЯЭУ.

#### 2.1. Радиолитический распад теплоносителей АЭС.

Радиолитический распад теплоносителя. Образование радиолитических газов, гремучей смеси ( $H_2$ ,  $O_2$ ) и безопасность АЭС. Термическое и радиационное разложение органического теплоносителя. Радионуклиды и их поведение в контурах с жидкометаллическим теплоносителем.

#### 2.2. Коррозия конструкционных материалов.

Виды коррозионных процессов. Химическая и электрохимическая коррозия. Массоперенос в контурах. Образование защитных оксидных пленок как решающий фактор пассивации металлов. Виды коррозионных повреждений. Химическая защита теплоэнергетического оборудования.

Поведение примесей в водных теплоносителях. Основные физико-химические процессы, протекающие в водном теплоносителе. Изменение свойств воды. Выделение твердой фазы. Типы и условия образования отложений. Предотвращение выделения осадков. Борьба с отложениями продуктов коррозии.

### 3. Раздел: Физико-химические основы методов водоподготовки

#### 3.1. Методы предварительной очистки.

Естественный химический состав поверхностных и подземных природных вод. Виды загрязнений. Основные технологические показатели качества воды и водных теплоносителей: жесткость, щелочность, рН, окисляемость, концентрация ионов, концентрация грубодисперсных примесей, сухой остаток, прокаленный остаток.

Удаление грубодисперсных и коллоидных примесей из природных вод. Отстаивание. Фильтрация. Центрифугирование. Пленочное и объемное фильтрование, механизм задержания грубодисперсных примесей. Работа насыпных и намывных сорбционных фильтров. Требования, предъявляемые к фильтрующим материалам.

#### 3.2. Сорбционные методы очистки.

Сорбционные материалы (органические и неорганические), их сравнительные характеристики. Ионообменные материалы, применяемые на водоподготовительных установках.

Основные закономерности ионного обмена. Технология ионитного (химического) обессоливания воды. Процессы последовательного Н- и ОН-ионирования воды. Процесс совместного Н- и ОН-ионирования воды.

### **3.3. Термический, мембранный и реагентный методы очистки.**

Технология дистилляции воды в испарителях. Область применения термического обессоливания воды. Принцип работы испарителей. Зависимость качества пара от продувки испарителей. Причины загрязнения пара: капельный унос, избирательный унос.

#### Мембранные методы очистки.

Характеристики мембран. Особенности ионного обмена и процессов в ионообменных мембранах. Принципиальные схемы электродиализных аппаратов. Диализ. Обратный осмос. Требования к качеству исходной воды, обрабатываемой мембранными способами.

#### Реагентные методы очистки.

Кислотно-основное регулирование растворов. Обработка воды комплексообразующими веществами и окислителями. Коагуляция. Физико-химические процессы, протекающие в воде при коагуляции. Изменение химического состава воды при коагуляции. Обработка воды методами осаждения (примеси и их растворимость). Химические реакции, протекающие при известковании. Применяемые реагенты.

### **3.4. Принципы выбора оптимальной схемы очистки.**

Выбор методов и условий водоподготовки и обработки технологических растворов на основе термодинамических и кинетических характеристик процессов. Обоснование общей схемы очистки.

Показатели эффективности очистки (коэффициент распределения, коэффициент очистки, коэффициент концентрирования). Требования к материалам и реагентам.

## **4. Раздел: Химико-технологические режимы контуров АЭС.**

### **4.1. Водно-химические режимы АЭС с реакторами типа РБМК.**

Воднохимические режимы (ВХР) и их основные задачи. Пути поступления примесей в циклы паротурбинной установки. Поведение примесей водного теплоносителя в пароводяном тракте. Способы поддержания качества теплоносителя на АЭС. Режимы пуска и остановок.

### **4.2. Воднохимические режимы контуров АЭС с реакторами типа ВВЭР.**

Воднохимические режимы 1-го и 2-го контуров АЭС. Нормы качества технологических вод: добавочной (обработанной) воды, прямой и обратной воды теплосети, котловой воды и пара паровых котлов. Режимы пуска и остановок.

### **4.3. Химико-технологический мониторинг.**

Методы поддержания воднохимического режима. Химический контроль рабочей среды технологических контуров. Система мониторинга теплоэнергетических объектов.

### **4.4. Защита конструкционных материалов.**

Характеристика основных методов защиты конструкционных материалов при эксплуатации и простоях оборудования, выбор типа водно-химического режима. Химическая защита теплоэнергетического оборудования. Условия применения. Химические материалы.

## **5. Раздел: Дезактивация и химическая очистка технологических растворов и оборудования.**

### **5.1. Физико-химические основы дезактивации и химической очистки.**

Виды и происхождение загрязнений теплоносителей и технологического оборудования (продукты деления, продукты активации, продукты коррозии). Методы дезактивации и химической очистки технологических растворов. Обращение с водными теплоносителями.

### **5.2. Дезактивация основных циркуляционных контуров.**

Технология дезактивации основных циркуляционных контуров АЭС и локализации радиоактивных отходов. Проблема переработки высокосолевых кубовых остатков АЭС, содержащих органические комплексоны.

### **5.3. Дезактивация вспомогательных контуров и оборудования.**

Деактивация вспомогательных циркуляционных контуров. Организованные и неорганизованные протечки. Регенерационные и промывочные воды. Воды бассейнов выдержки отработанного топлива. Воды спецпрачечных и душевых.

Деактивация оборудования. Способы деактивации оборудования и деактивирующие рецептуры. Эффективность и радиационная стойкость деактивирующих рецептур.

## **6. Раздел: Технология обращения с отходами.**

### **6.1. Классификация отходов, мотивация сокращения их объемов и требования к хранению.**

Возникновение отходов и их классификация. Экологические проблемы загрязнения природной среды при эксплуатации АЭС. Радиоактивные продукты деления и активации, их поступление в окружающую среду. Требования хранения радиоактивных отходов на АЭС и захоронения. Экономические аспекты проблемы обезвреживания и захоронения радиоактивных отходов (РАО). Мотивация максимально возможного сокращения объемов технологических отходов на захоронение.

### **6.2. Способы переработки отходов для захоронения.**

Особенности проблемы «обезвреживания» радиоактивных отходов АЭС и пути решения. Способы обработки, хранения, захоронения жидких и твердых радиоактивных отходов. Технология переработки и отверждения концентратов и пульп. Меры безопасности. Организация контроля при хранении радиоактивных отходов на АЭС.

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **а) основная литература:**

1. Воронов В.Н. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебное пособие. - М.: МЭИ, 2009 – 240 с.
2. Воронов В.Н. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами. - М.: МЭИ, 2006 – 390 с.

### **б) дополнительная литература:**

3. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник. - М.: МЭИ, 2010 – 464 с.
4. Баклушин Р.П. Эксплуатационные режимы АЭС: учебное пособие. - М.: МЭИ, 2012 – 532 с.
5. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – 2 изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2003. – 309с.
6. Петрова Т. И., Воронов В. Н., Ларин Б. М. Технология организации водно-химического режима атомных электростанций: учебное пособие для вузов -М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 272 с.
7. Кругляков П.М., Хаскова Т.Н. Физическая и коллоидная химия: Учебное пособие для вузов - М.: Высшая школа, 2007. - 319 с.

## **7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В образовательном процессе используются:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), комплект мультимедийного оборудования, включающий мультимедиапроектор, экран, переносной ноутбук для демонстрации презентаций; учебно-наглядные пособия; обеспечивающие тематические иллюстрации);

- помещения для самостоятельной работы (оснащены компьютерными столами, стульями, доской аудиторной, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета);

- помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (оснащены наборами инструментов, оборудованием, расходными материалами для монтажа, ремонта и обслуживания информационно-телекоммуникационной сети филиала и вычислительной техники);

- лаборатория информационных технологий (оснащена компьютерными столами, стульями, мультимедийным проектором, экраном проекционным, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета).

## **7.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

1. Microsoft Windows.
2. Microsoft Office / LibreOffice.

## **7.2 ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

ЭБС «Издательство Лань»[Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Издательство Лань». – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>;

ЭБС «Электронная библиотечная система ЮРАЙТ» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>;

ЭБС «Университетская библиотека онлайн»[Электронный ресурс]: электронно-периодическое издание; программный комплекс для организации онлайн-доступа к лицензионным материалам / ООО «НексМедиа». – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/>.

## **7.3 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ**

1. Электронная база данных Scopus.

## **7.4 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс  
<http://www.consultant.ru/>

2. Электронный справочник "Информо" для высших учебных заведений  
<http://www.informio.ru/>

## **8. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ**

Не предусмотрено.

## **9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ**

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины может осуществляться в адаптированном виде, с учетом

специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.