

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 16.11.2023 13:59:47  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« 28 » января 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины  
МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Специальность

**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:

**Химическая технология теплоносителей  
и радиоэкология ядерных энергетических установок**

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии**

Санкт-Петербург  
2021

Б1.В.ДВ.02.01

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Ст. преп.		Ю.С. Коряковский

Рабочая программа дисциплины «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» обсуждена на заседании кафедры инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии  
протокол от «12» января 2021 г. № 1

И.о. зав. кафедрой ИРРТ

\_\_\_\_\_ А.В. Румянцев

Рабочая программа дисциплины «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» одобрена учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета  
протокол от «25» января 2021 г. № 4

Председатель

\_\_\_\_\_ А.П. Сусла

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология материалов современной энергетики»		И.В. Юдин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
4.2. Занятия лекционного типа.....	08
4.3. Занятия семинарского типа.....	10
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	10
4.4. Самостоятельная работа.....	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	13
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	13
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	14
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	15
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	16
10.2. Программное обеспечение.....	16
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	16
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы .....	17
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	17
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации...	18

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<p><b>ПК-7</b> Способен к безопасному проведению, контролю, разработке и усовершенствованию технологических процессов подготовки и регенерации теплоносителей энергетических установок различного типа (включая ядерные), обеспечивающих оптимальное использование ресурса конструкционных материалов и оборудования установки</p>	<p><b>ПК-7.1</b> Понимание процессов, протекающих в ядерном энергетическом реакторе и связанном с ним оборудовании, предназначенном для преобразования энергии цепной реакции деления в электроэнергию.</p>	<p><b>Знать:</b> конструкцию ядерных энергетических реакторов и основных аппаратов, входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок (ЗН-1). <b>Уметь:</b> формулировать критерии выбора конструкционных материалов, используемых в ядерных энергетических установках (У-1); использовать знания о материалах, конструкциях и особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок для разработки/модификации технологий, нацеленных на обеспечение их эффективной и надёжной эксплуатации (У-2). <b>Владеть:</b> ключевыми сведениями об особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН (Н-1); ключевыми сведениями об особенностях работы основных аппаратов (включая ядерные реакторы), входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок (Н2).</p>

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
	<p><b>ПК-7.2</b> Представление о рисках, связанных с деятельностью ядерных энергетических установок, и о механизмах снижения рисков.</p>	<p><b>Знать:</b> источники радиационной опасности, возникающие при нормальной работе ядерных энергетических установок и в аварийных ситуациях (ЗН-2).</p> <p><b>Уметь:</b> использовать знания о радиационных и других рисках, сопряжённых с работой ядерных энергетических установок, для разработки/модификации технологий, нацеленных на повышение их безопасности (У-3).</p> <p><b>Владеть:</b> ключевыми сведениями о системах безопасности отечественных ядерных энергетических установок (Н-3).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» (Б1.В.ДВ.02.01) относится к дисциплинам по выбору и изучается на 4 курсе, в 7 семестре.

Целью освоения дисциплины является освоение инженером-технологом устройства, принципов функционирования и проектирования ядерных энергоблоков.

В методическом плане дисциплина «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин: «Инженерная графика», «Материаловедение», «Физическая химия», «Процессы и аппараты химической технологии», «Основы ядерной физики и дозиметрии», «Радиационная безопасность в области использования атомной энергии», «Основы радиоэкологии».

Полученные в процессе изучения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Основы проектирования радиационно опасных производств», «Технология основных материалов современной энергетики. Часть 1», «Химико-технологическое обеспечение энергетических установок», «Организация, технология и экономика вывода из эксплуатации ЯРОО», прохождении практики (научно-исследовательской работы и преддипломной практики), при выполнении выпускной квалификационной работы (государственной итоговой аттестации) и в дальнейшей трудовой деятельности.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>5 / 180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>54</b>
занятия лекционного типа	36
занятия семинарского типа, в т.ч.	18
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	18 (5)
лабораторные работы	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>90</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	-
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>Экзамен (36)</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Основные материалы ЯЭУ	10	6	-	30	ПК-7	ПК-7.1
2.	Основные схемные решения отечественных ЯЭУ	8	4	-	20	ПК-7	ПК-7.1
3.	Основное оборудование ЯЭУ	8	4	-	20	ПК-7	ПК-7.1
4.	Радиоэкологические аспекты эксплуатации ЯЭУ	10	4	-	20	ПК-7	ПК-7.2
	<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>90</b>		

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<p><b>Основные материалы ЯЭУ</b></p> <p>Введение. Основные термины и понятия. Физические основы работы ЯЭУ. Цепная реакция. Делящиеся материалы. Сечение деления и захвата ядерных реакций. Управление ядерными реакциями. Критическая масса, коэффициент размножения, реактивность. Осколки деления уранового топлива. Тепловыделение. Глубина выгорания. Отражатели, замедлители, СУЗ (применяемые материалы, основные свойства). Характеристики теплоносителей, используемых (или потенциально пригодных к использованию) на ЯЭУ.</p> <p>Конструкционные материалы ЯЭУ.</p> <p>Области применения конструкционных материалов ЯЭУ. Материаловедческие характеристики материалов ЯЭУ. Работа материала под нагрузкой. Деформация упругая и пластическая. Диаграмма растяжения материалов. Закон Гука, предел прочности, предел текучести, допустимое напряжение. Дефекты кристаллической решетки, дислокации. Хрупкое разрушение. Возврат и рекристаллизация. Наклеп, отжиг. Понятие о твердости материалов.</p> <p>Взаимодействие излучений с материалами. Классификация дефектов кристаллического строения. Пороговая энергия смещения атома. Взаимодействие с нейтронами и заряженными частицами. Поглощение нейтронов топливными и конструкционными материалами. Флюенс. Пороговые значения флюенса. Изменение материаловедческих характеристик материалов при облучении.</p> <p>Основные материалы ЯЭУ. Стали, легирующие добавки. Низколегированные, углеродистые, хромистые и хромоникелевые аустенитные стали. Графит, алюминий, цирконий.</p> <p>Коррозия конструкционных материалов. Взаимодействие водной среды с металлом. Виды электрохимической коррозии. Кислородная и водородная деполяризация. Диаграммы Пурбэ. Скорость коррозии. Влияние параметров теплоносителя на скорость коррозии.</p>	10	ЛВ ДОТ
2	<p><b>Основные схемные решения отечественных ЯЭУ</b></p> <p>Общая классификация ядерных реакторов. Канальные водографитовые реакторы. Отличительные конструктивные особенности. Конструкция РБМК. Графитовая кладка. Технологические каналы, ТВЭЛы, ТВС, СУЗ. Перегрузка топлива.</p> <p>Корпусные водо-водяные реакторы. Принципиальное устройство и характеристики реакторов ВВЭР. Внутрикорпусные устройства, СУЗ, ТВЭЛы и ТВС.</p> <p>Реакторы с жидкотеплоносителем. Устройство реактора БН-600. Активная зона, внутри корпусные элементы. ТВЭЛы, ТВС, СУЗ. Проект АЭС-2006.</p> <p>Зарубежные ЯЭУ с реактором типа BWR.</p> <p>Зарубежные ЯЭУ с реактором типа PWR.</p> <p>Реакторы с газовым, органическим, жидкотеплоносителем.</p> <p>Термоядерный реактор как перспективное направление развития ЯЭУ.</p>	8	ЛВ ДОТ



3	<p><b>Основное оборудование ЯЭУ</b></p> <p>Водно-химический режим (ВХР). Обоснование выбора ВХР. ВХР для ЯЭУ с РБМК. ВХР для ЯЭУ с ВВЭР (1-й и 2-й контур). Контролируемые параметры и вредные примеси.</p> <p>Насосы ЯЭУ. Требования к насосам и их основные типы. ГЦН: бессальниковые герметичные насосы и насосы с механическим уплотнением вала. ГЦН для ЯЭУ с ВВЭР и РБМК. Гидроподпор и контролируемые протечки.</p> <p>Парогенераторы ЯЭУ. Типы и особенности конструкции. Горизонтальные и вертикальные ПГ, их достоинства и недостатки. Применяемые материалы.</p> <p>Сепарационные устройства. Назначение и принцип работы. Барабан-сепаратор РБМК. Сепаратор – пароперегреватель (СПП). Типы СПП, габариты, применяемые материалы</p> <p>Турбоустановки ЯЭУ. Принцип работы и характеристики турбин АЭС с ВВЭР и РБМК. Параметры турбин (давление поступающего пара, расход, частота) для реакторов РБМК-1000, 1500; ВВЭР-440, 1000. Типы турбоагрегатов, используемых на РБМК-1000 и ВВЭР-1500 (количество ЦНД, ЦСД и ЦВД).</p> <p>Основное оборудование конденсатно-питательного тракта. Схемные решения КПП АЭС с РБМК и ВВЭР: конденсаторы, ПНД, ПВД, деаэраторы. Конструкции и принцип работы. Основные типы, производительность, схемы включения в контур. Применяемые материалы.</p> <p>Трубопроводы и арматура Выбор трубопроводов в зависимости от температуры и состава среды. Термоизоляция. Допустимая скорость различных сред в трубопроводах. Типы арматуры. Принципы работы вентилей и задвижки. Принцип работы обратных и предохранительных клапанов. Главные запорные задвижки для ЯЭУ с ВВЭР</p> <p>Регенерация теплоносителя на ЯЭУ. Примеси, ухудшающие качество водного теплоносителя. Методы удаления примесей на ЯЭУ. Ионообменная фильтрация, механическая фильтрация, выпаривание. Понятие спецводоочистки. Системы СВО на ЯЭУ типа ВВЭР и РБМК.</p>	8	ЛВ ДОТ
---	--	---	-----------

4	<p><b>Радиоэкологические аспекты эксплуатации ЯЭУ</b>          Вопросы безопасности АЭС. Наиболее важные (с точки зрения биологической опасности) радионуклиды, образующиеся при работе ЯЭУ: продукты деления, активированные продукты коррозии, изотопы, образующиеся из воды. Опасность летучих радионуклидов. Понятия допустимой объемной активности и уровня вмешательства. Барьеры безопасности АЭС (перечислить). Понятие биологической защиты. Основные материалы биологической защиты. Особенности обеспечения безопасности на АЭС с ВВЭР, РБМК, БН. Работа системы аварийного охлаждения активной зоны. Последствия проливов радиоактивного теплоносителя при разгерметизации контура и меры/системы по устранению указанных последствий. Очистка газов на АЭС. Принципы обращения с отходами на АЭС.</p> <p>Принципы расчета материальных и тепловых потоков.          Инженерные расчеты при выборе технологического оборудования. Выбор узлов и оборудования.          Прогнозирование последствий радиационных инцидентов на ЯЭУ.          Замедлители и отражатели ядерных реакторов.          Перспективные виды ядерного топлива.          Система аварийного охлаждения реактора.          Системы локализации радионуклидов при проектных авариях.          Влияние АЭС на экологическую обстановку в регионе.</p>	10	ЛВ ДОТ
	<b>ИТОГО:</b>	<b>36</b>	

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
1	<p><b>Основные материалы ЯЭУ</b>            Физические основы работы ЯЭУ. Цепная реакция. Делящиеся материалы. Сечение деления и захвата ядерных реакций. Управление ядерными реакциями. Расчет критической массы, коэффициента размножения, реактивности. Расчет тепловыделения и глубины выгорания. Материаловедческие характеристики материалов ЯЭУ. Работа материала под нагрузкой. Деформация упругая и пластическая. Диаграмма растяжения материалов. Закон Гука, предел прочности, предел текучести, допустимое напряжение. Дефекты кристаллической решетки, дислокации.            Взаимодействие излучений с материалами. Расчет флюэнса. Пороговые значения флюэнса. Изменение материаловедческих</p>	6	2	РД, ДОТ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
	характеристик материалов при облучении. Расчет скорости коррозии конструкционных материалов. Взаимодействие водной среды с металлом. Виды электрохимической коррозии. Кислородная и водородная деполяризация. Составление диаграмм Пурбэ.			
2	<b>Основные схемные решения отечественных ЯЭУ</b> Основы расчета конструкций РБМК. Параметры работы графитовой кладки. Принципиальное устройство и характеристики реакторов ВВЭР. Основы работы реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Сходства и различия отечественных и зарубежных ЯЭУ.	4	1	РД, ДОТ
3	<b>Основное оборудование ЯЭУ</b> Обоснование выбора ВХР. ВХР для ЯЭУ с РБМК. ВХР для ЯЭУ с ВВЭР (1-й и 2-й контур). Контролируемые параметры и вредные примеси. Расчет насосов ЯЭУ. Принципы расчета теплообменного оборудования ЯЭУ. Принцип работы и характеристики турбин АЭС с ВВЭР и РБМК. Оптимизация параметров турбин. Основные процессы и аппараты для водоподготовки и водоочистки на ЯЭУ. Расчет процессов ионообменной фильтрации, механической фильтрации, выпаривания.	4	1	РД, ДОТ
4	<b>Радиоэкологические аспекты эксплуатации ЯЭУ</b> Генерация потенциально опасных радиоактивных изотопов на ЯЭУ. Продукты деления, активированные продукты коррозии, изотопы, образующиеся из воды. Опасность летучих радионуклидов. Понятия допустимой объемной активности и уровня вмешательства. Расчет защитных барьеров и биологической защиты. Система аварийного охлаждения активной зоны. Очистка газов на АЭС. Принципы обращения с отходами на АЭС. Прогнозирование последствий радиационных инцидентов на ЯЭУ.	4	1	РД, ДОТ
	ИТОГО:	18	5	

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<p>Инновационные материалы для ядерной энергетики..</p> <p>Выполняется самостоятельный поиск и критический анализ новых разновидностей конструкционных материалов (в частности, новых марок сталей, титановых сплавов, полимерных материалов, – как общепромышленных, так и тех, которые были специально разработаны для применения в атомной энергетике), с целью определения возможности их потенциального применения в проектах новых ядерных энергетических установок.</p> <p>Результаты самостоятельной работы контролируются в форме <b>групповой дискуссии</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 1.</p>	30	
2	<p>Основные схемные решения зарубежных ЯЭУ.</p> <p>Выполняется самостоятельный поиск и критический анализ схемных решений зарубежных ЯЭУ, эксплуатируемых за рубежом (с особым вниманием, уделяемым компоновке реактора, конструкции активной зоны, технологическим параметрам и водно-химическому режиму теплоносителя), с целью выявления достоинств и недостатков зарубежных ЯЭУ по сравнению с отечественными.</p> <p>Результаты самостоятельной работы контролируются в форме <b>групповой дискуссии</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 2.</p>	20	Устный опрос
3	<p>Основные аппараты зарубежных ЯЭУ, для которых существуют аналоги на отечественных установках.</p> <p>Выполняется самостоятельный поиск и критический анализ сходных элементов оборудования ЯЭУ (т.е. тех, которые устанавливаются и на отечественных, и на зарубежных ядерных энергоблоках): парогенераторов, главных циркуляционных насосов, турбин, конденсаторов, подогревателей низкого и высокого давления и т.п. Цель работы – выявление достоинств и недостатков зарубежного оборудования по сравнению с отечественным.</p> <p>Результаты самостоятельной работы контролируются в форме <b>устного опроса</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 3.</p>	20	

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
4	Обеспечение безопасности на зарубежных ЯЭУ поколения «Ш+». Выполняется самостоятельный поиск и критический анализ систем обеспечения безопасности, внедренных (предлагаемых к внедрению) на ядерных энергоблоках производства США, Франции, Японии, Южной Кореи, относящихся к поколению «Ш+». Цель работы – сопоставление надежности и эффективности систем безопасности, внедренных в отечественном проекте поколения «Ш+» (АЭС 2006 с реактором типа ВВЭР-1200) по сравнению с зарубежными системами. Результаты самостоятельной работы контролируются в форме <b>устного опроса</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 4.	20	
	<b>ИТОГО</b>	<b>90</b>	

Контроль освоения компетенций проводится в форме устных опросов на практических занятиях.

#### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <https://media.technolog.edu.ru>

#### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимися мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена (7 семестр).

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций.

При сдаче экзамена студент получает два теоретических вопроса для проверки знаний из перечня (см. Прил. 1), время подготовки студента к устному ответу – до 45 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

#### **Билет № 3**

1. Цепная реакция деления ядер. Выделяющаяся энергия. Понятие запаздывающих нейтронов. Ядерные свойства делящихся нуклидов.

- |  |
|--|
| <p>2. Деаэрактор. Назначение деаэрактора, примеси, удаляемые в деаэракторе. Принцип работы деаэрактора. Понятие выпара. Расход выпара, охлаждение выпара.<br/>Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.</p> |
|--|

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно»<sup>4</sup>.

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.**

### **а) печатные издания:**

- 1 Коряковский, Ю.С. Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС : Учебное пособие / Ю. С. Коряковский, А. А. Акатов ; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. - Санкт-Петербург : [б. и.], 2020. – 60 с.
- 2 Коряковский, Ю.С. Дезактивация парогенераторов ядерных энергетических установок с ВВЭР в процессе их вывода из эксплуатации: учебное пособие / Ю. С. Коряковский, А. А. Акатов ; Минобрнауки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 84 с.
- 3 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): СП 2.6.1.2612-10. Санитарные правила и нормативы / Гл. гос. санитар. врач РФ. - Взамен ОСПОРБ-99; введ. с 26.04.2010. ОСПОРБ-99/2010: Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с. – ISBN 978-5-7508-0939-4.
- 4 Химические проблемы атомной энергетики [Текст] : [в 3 т.] / Гос. корпорация по атом. энергии "Росатом", ФГУП "НИТИ им. А. П. Александрова". - Санкт-Петербург : ВВМ, 2012 – .  
Т. 1 : Химико-технологический контроль / [Л. Н. Москвин и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. – 2012. – 152 с. : ил. – ISBN 978-5-9651-0656-1.
- 5 Химические проблемы атомной энергетики [Текст] : [в 3 т.] / Гос. корпорация по атом. энергии "Росатом", ФГУП "НИТИ им. А. П. Александрова". - Санкт-Петербург : ВВМ, 2013 – .  
Т. 2 : Радиохимический анализ и радиохимические технологии / [Л. Н. Москвин и др.] ; под ред. Л. Н. Москвина. – 2013. – 282 с. : ил. – ISBN 978-5-9651-0785-8.
- 6 Нечаев, А.Ф. Экономика заключительной стадии жизненного цикла ядерных и радиационно-опасных объектов / А. Ф. Нечаев, И. В. Смирнов ; СПбГТИ(ТУ), Радиевый ин-т им. В. Г. Хлопина. – Санкт-Петербург : Инфо Ол, 2014. – 112 с. – ISBN 978-5-905443-06-0.
- 7 Ким, Д.Ч. Радиационная экология: Учебное пособие / Де Чан Ким, Д. И. Левит, Г. Д. Гаспарян. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2020. – 244 с. – ISBN 978-5-8114-4966-8.
- 8 Акатов, А.А. Ядерные технологии: введение в специальность: учебное пособие / А. А. Акатов, Ю. С. Коряковский ; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра

<sup>4</sup> Для промежуточной аттестации в форме зачёта – «зачёт».

инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2016. – 144 с.

**б) электронные учебные издания<sup>5</sup>:**

- 9 Коряковский, Ю.С. Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС : Учебное пособие / Ю. С. Коряковский, А. А. Акатов ; Минобрнауки России, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. - Санкт-Петербург : [б. и.], 2020. – 60 с. : ил. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 25.12.2020). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
- 10 Коряковский, Ю.С. Дезактивация парогенераторов ядерных энергетических установок с ВВЭР в процессе их вывода из эксплуатации: учебное пособие / Ю. С. Коряковский, А. А. Акатов ; Минобрнауки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 84 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 25.12.2020). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

**8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

- 1 Учебный план, РПД и учебно-методические материалы размещены на медиапортале СПбГТИ(ТУ). – Режим доступа: <http://media.technolog.edu.ru>.
- 2 Научная электронная библиотека ELIBRARY.RU. – Режим доступа: <https://elibrary.ru>.
- 3 Интерактивная база данных SpringerLink. – Режим доступа: <https://link.springer.com>.
- 4 Интерактивная база данных Web of Knowledge. – Режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com>.
- 5 Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 2. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России; под общ. ред. Л.А. Большова, О.В. Крюкова, Н.П. Лаверова, И.И. Линге. – М.: Изд-во ГК «Росатом», 2013. – 392 с. – Режим доступа: <http://www.ibrae.ac.ru/docs/Monografii/tom2%20sq.pdf>.
- 6 СП 2.6.6.1168-02 «Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)» (действ. ред.). – Режим доступа: <http://base.garant.ru/4178777/>.
- 7 Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами: Учебное пособие. – Вена: Международное агентство по атомной энергии, IAEA-TCS-27, 2005. – 230 с. – Режим доступа: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27\\_R\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-27_R_web.pdf).
- 8 Сайт Федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО». – Режим доступа: <http://rosrao.ru>.
- 9 Сайт федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности». Режим доступа: <http://www1.fips.ru>.
- 10 Сайт Европейского патентного ведомства. – Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>.

---

<sup>5</sup> В т.ч. и методические пособия

- 11 База данных Международной ядерной информационной системы INIS. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/inis>.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Положение о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463).

При изучении дисциплины предусматривается использование активных форм проведения занятий: с разбором конкретных ситуаций, технологий и конструктивных решений, реализованных на ядерных энергетических установках; с обсуждением возможностей по повышению их надежности и эффективности.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

дистанционное проведение занятий посредством сети Интернет с использованием соответствующего ПО;

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;

взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты / соц. сетей;

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение<sup>6</sup>.**

Microsoft Office (Microsoft Power Point и др.);

Microsoft Teams;

Zoom.

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

---

<sup>6</sup> В разделе отображаются комплекты лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для обеспечения дисциплины



### **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы<sup>7</sup>.**

Для проведения лекционных и практических занятий используются учебные аудитории, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения лекционных занятий используются компьютерные презентации, видеоматериалы и учебные фильмы, демонстрируемые на экране при помощи персонального компьютера (ноутбука), мультимедийного проектора и аудиоколонок.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования оснащены специализированной мебелью и техническими средствами.

### **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

---

<sup>7</sup> В разделе отображается состав помещений, которые представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой по дисциплине, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание <sup>8</sup>	Этап формирования <sup>9</sup>
ПК-7	<b>Способен к безопасному проведению, контролю, разработке и усовершенствованию технологических процессов подготовки и регенерации теплоносителей энергетических установок различного типа (включая ядерные), обеспечивающих оптимальное использование ресурса конструкционных материалов и оборудования установки</b>	начальный

<sup>8</sup> **Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>9</sup> Этап формирования компетенции выбирается по п. 2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие)

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-7.1</b> Понимание процессов, протекающих в ядерном энергетическом реакторе и связанном с ним оборудовании, предназначенном для преобразования энергии цепной реакции деления в электроэнергию.	<b>Рассказывает</b> о конструкции ядерных энергетических реакторов и основных аппаратов, входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок (ЗН-1).	Правильные ответы на вопросы № 24-42 к экзамену	Излагает общие принципы конструкции ядерных энергетических реакторов и основных аппаратов, входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок; путается в деталях.	С незначительными неточностями излагает материал по конструкции ядерных энергетических реакторов и основных аппаратов, входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок.	Уверенно излагает материал по конструкции ядерных энергетических реакторов и основных аппаратов, входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок.
	<b>Формулирует</b> критерии выбора конструкционных материалов, используемых в ядерных энергетических установках (У-1). <b>Использует</b> знания о материалах, конструкциях и особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок для разработки/модификации технологий, нацеленных на обеспечение их эффективной и надёжной эксплуатации (У-2).	Правильные ответы на вопросы № 1-23 к экзамену	Имеет общее представление о критериях выбора конструкционных материалов, используемых в ядерных энергетических установках.	Имеет представление о критериях выбора конструкционных материалов, используемых в ядерных энергетических установках и общие знания о материалах, конструкциях и особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок.	Готов к участию в разработке/модификации технологий, нацеленных на обеспечение их эффективной и надёжной эксплуатации.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<p><b>Демонстрирует</b> владение ключевыми сведениями об особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН (Н-1).</p> <p><b>Демонстрирует</b> владение ключевыми сведениями об особенностях работы основных аппаратов (включая ядерные реакторы), входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок (Н-2).</p>	Правильные ответы на вопросы № 24-42 к экзамену	Перечисляет ключевые сведения об особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок с реакторами типа РБМК, ВВЭР	Демонстрирует хорошее знание особенностей работы отечественных ядерных энергетических установок с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН. С незначительными ошибками рассказывает об особенностях работы основных аппаратов (включая ядерные реакторы), входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок.	Демонстрирует высокий уровень владения информацией об особенностях работы отечественных ядерных энергетических установок с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН и об особенностях работы основных аппаратов (включая ядерные реакторы), входящих в состав отечественных ядерных энергетических установок.
<p><b>ПК-7.2</b> Представление о рисках, связанных с деятельностью ядерных энергетических установок, и о механизмах снижения рисков.</p>	<p><b>Перечисляет</b> источники радиационной опасности, возникающие при нормальной работе ядерных энергетических установок и в аварийных ситуациях (ЗН-2).</p>	Правильные ответы на вопросы № 42-52 к экзамену	Рассказывает только об основных источниках радиационной опасности, возникающих при нормальной работе ядерных энергетических установок и в аварийных ситуациях, путается в деталях.	Рассказывает об основных и второстепенных источниках радиационной опасности, возникающих при нормальной работе ядерных энергетических установок и в аварийных ситуациях, незначительно путается в деталях.	Уверенно рассказывает об основных и второстепенных источниках радиационной опасности, возникающих при нормальной работе ядерных энергетических установок и в аварийных ситуациях.
	<p><b>Анализирует</b> радиационные и другие риски, сопряжённые с работой ядерных энергетических установок, для разработки/модификации технологий, нацеленных на повышение их безопасности (У-3).</p>	Правильные ответы на вопросы № 42-52 к экзамену	Путается при изложении роли и значимости радиационных и других рисков, сопряжённых с работой ядерных энергетических установок.	Незначительно путается при изложении роли и значимости радиационных и других рисков, сопряжённых с работой ядерных энергетических установок.	Уверенно идентифицирует радиационные и другие риски, сопряжённые с работой ядерных энергетических установок, демонстрирует способность к разработке/модификации технологий, нацеленных на повышение их безопасности.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<b>Демонстрирует</b> владение ключевыми сведениями о системах безопасности отечественных ядерных энергетических установок (Н-3).	Правильные ответы на вопросы № 42-52 к экзамену	Показывает базовый уровень владения информацией о системах безопасности отечественных ядерных энергетических установок.	Показывает достаточно хороший уровень владения информацией о системах безопасности отечественных ядерных энергетических установок, путается в деталях.	Показывает высокий уровень владения информацией о системах безопасности отечественных ядерных энергетических установок.

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-7:

- 1 Основные термины и понятия.
- 2 Делящиеся изотопы, классификацию нейтронов по энергиям, основные типы ядерных реакций, протекающих в ядерном реакторе.
- 3 Величина энергии, выделяющейся при реакции деления, понятие запаздывающих нейтронов, доля запаздывающих нейтронов. Таблица "Ядерные свойства делящихся нуклидов" – величины сечений ядерных реакций (знать порядок), и соотношения между ними.
- 4 Формулы и понятия: коэффициент размножения, реактивность, запас реактивности; составляющие формулы 4-х сомножителей.
- 5 График распределения осколков по массам при реакции деления, основные радионуклиды-продукты деления.
- 6 Понятие отравления реактора, йодной (ксеноновой) ямы, механизм процесса отравления реактора.
- 7 Понятия «энерговыведение», «глубина выгорания». Уметь вывести связь между глубиной выгорания и загрузкой; энергией реакции деления и требуемой массой топлива, и пр.
- 8 Достоинства и недостатки основных замедлителей и отражателей. Свойства воды и графита. Понятие "альbedo". Назначение и принцип работы СУЗ. Используемые материалы-поглотители.
- 9 Основные теплоносители, используемые в ядерной энергетике: вода, тяжелая вода, ЖМТ, газы, органические жидкости. Достоинства и недостатки различных теплоносителей.
- 10 Требования к конструкционным материалам. Характеристики материалов ЯЭУ: дефекты решетки, твердость, деформации. Типы дефектов решетки (рисунки). Различные виды испытаний на твердость (по Виккерсу, по Бринеллю, по Роквеллу, ударная вязкость – воспроизвести схему организации испытания).
- 11 Понятия пластической и непластической деформации, предела прочности и текучести (график). Понятия жаропрочности и жаростойкости, ползучести. Зависимость ползучести от температуры.
- 12 Суть процессов возврата (отпуска), отжига: для чего используются эти процессы. Определение наклепа. Сходство и различия между наклепом и радиационными повреждениями.
- 13 Основные конструкционные материалы ЯЭУ. Стали. Воспроизвести участок диаграммы "Fe-C", на нём – основные структурные составляющие стали.
- 14 Добавки в стали. Обозначения добавок: Ni, Cr, Mn, V, W, Ti, Mo, B. Уметь расшифровывать марки сталей. Типы сталей – углеродистые, низколегированные, аустенитные, хромистые. Обозначение зарубежных марок сталей. Сплавы типа инконель и инколой.
- 15 Свойства графита, алюминия, циркония.
- 16 Характер взаимодействия различных типов излучения с веществом. Особое внимание обратить на механизм взаимодействия нейтронов с веществом. Облучение заряженными частицами – формулу передачи энергии при взаимодействии. Типы радиационных дефектов, появляющихся при взаимодействии с нейтронами. Зависимости (формулы) передачи энергии при взаимодействии с нейтронами. Количество смещенных атомов при соударении с быстрым нейтроном для разных типов материалов (порядки).

- 17 Определения и формулы нейтронного потока, флюенса. Понятие порогового флюенса. Пороговые значения флюенса для различных материалов (порядок), в первую очередь – для сталей и циркониевых сплавов.
- 18 Влияние облучения на радиационные свойства материалов. Радиационное упрочнения и охрупчивание, свеллинг.
- 19 Графики, отражающие влияние облучения на механические свойства: уметь воспроизвести принципиальный вид зависимостей.
- 20 Коррозия конструкционных материалов. Понятия эрозии, коррозии, электрохимической коррозии. Анодный и катодный процессы. Кислородная и водородная деполяризация. Формула, связывающая потенциалы реакций и энергию Гиббса.
- 21 Виды коррозии, количественные показатели коррозии; формулы. Прямые и косвенные показатели коррозии. Переход от одних показателей коррозии к другим. Коррозия сталей различных марок и циркониевых сплавов, скорость коррозии в зависимости от условий.
- 22 Активация продуктов коррозии в реакторе; влияние активированных ПК на радиационную обстановку в помещениях главного контура водных ЯЭУ.
- 23 Параметры, влияющие на коррозию.
- 24 Ядерные реакторы: принципы, на основании которых классифицируются ядерные реакторы. Принципиальное устройство энергетического реактора. Понятия ТВЭЛ, ТВС, кассеты. Топливо, используемое в отечественных реакторах.
- 25 ЯЭУ с реактором типа РБМК-1000. Технологическая схема ЯЭУ. Габариты БС, производительность ГЦН, расход воды через активную зону. Аппараты, образующие КМПЦ, паровой и питательный тракт. Схема разводки теплоносителя от БС по каналам.
- 26 Параметры технологических каналов, содержание пара в пароводяной смеси на входе в БС, количество каналов в активной зоне реактора. Особенности устройства СУЗ РБМК-1000; количество стержней СУЗ. Параметры ТВС: длина, материал, количество ТВЭЛ, диаметр ТВЭЛ. Габариты активной зоны. Параметры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны.
- 27 Тип используемого топлива, обогащение (в %), глубина выгорания ( $\text{МВт}\cdot\text{сут/т}$ ), масса стационарной загрузки. Биологическая защита реактора РБМК-1000 – элементы биологической защиты, масса (порядок). РЗМ РБМК – назначение, принцип работы. Преимущества и недостатки ЯЭУ с РБМК. ЯЭУ с РБМК-1500 – основные отличия РБМК-1500 от РБМК-1000.
- 28 ЯЭУ с реактором типа ВВЭР. Технологическая схема ЯЭУ с ВВЭР-1000.
- 29 Принцип действия компенсатора давления (компенсатора объема), производительность ГЦН и расход воды через активную зону (наизусть). Аппараты, образующие 1-й контур и 2-й контур, паровой и питательный тракты.
- 30 Параметры ТВС – материал, размеры, количество ТВЭЛ в ТВС, параметры ТВЭЛ (для ВВЭР-1000). Особенности устройства СУЗ ВВЭР-1000; количество стержней СУЗ. Габариты активной зоны (ВВЭР-1000). Габариты корпуса реактора типа ВВЭР-1000). Параметры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны, в 1-м и 2-м контуре (для ВВЭР-1000).
- 31 Тип используемого топлива, обогащение (в %), глубина выгорания ( $\text{МВт}\cdot\text{сут/т}$ ), масса стационарной загрузки (ВВЭР-1000). Процесс перегрузки топлива реактора ВВЭР.
- 32 ЯЭУ с реактором типа ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006). Основные отличия по сравнению с предыдущим проектом (В-320): температура воды 1-го контура на входе/выходе из реактора, температура и давление пара, идущего на турбину, количество ТВС, глубина выгорания, количество топливных циклов.
- 33 ЯЭУ с реактором типа БН-600. Основные преимущества реактора на быстрых нейтронах перед тепловыми реакторами. Технологическая схема ЯЭУ. БН-600 как

- пример баковой (интегральной) компоновки реактора. Параметры пара, идущего на турбины. Параметры натрия 1-го и 2-го контура. Материал оболочек твэлов. Риски, обусловленные использованием жидкого натрия в качестве теплоносителя.
- 34 Парогенератор ЯЭУ с ВВЭР. Знать схему устройства и принцип работы; для ВВЭР-1000 – габариты, параметры (давление, температура потоков воды и пара). Количество труб, площадь теплообмена (для ВВЭР-1000). Материалы ПГ.
  - 35 Сепарационные устройства ЯЭУ. БС РБМК – Схема устройства, габариты.
  - 36 Насосы ЯЭУ. Главные циркуляционные насосы (ГЦН). Возможные варианты устройства ГЦН: бессальниковые герметичные; с вынесенным электродвигателем. Знать понятия гидродопора и контролируемых протечек. ГЦН для ВВЭР-1000 и РБМК-1000.
  - 37 Турбины ЯЭУ. Принцип работы турбины. Типы турбин, используемых на РБМК-1000, ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 (марки можно не запоминать; желательно знать число ЦВД/ЦСД/ЦНД).
  - 38 Конденсатор турбины. Функции конденсатора. Поддержание разрежения в межтрубном пространстве (знать, для чего). Кратность охлаждения в конденсаторе, площадь поверхности охлаждения. Присосы в конденсаторе.
  - 39 Деаэратор. Назначение деаэратора, примеси, удаляемые в деаэраторе. Принцип работы деаэратора. Понятие выпара. Расход выпара, охлаждение выпара.
  - 40 Регенеративные подогреватели. Знать, почему ПНД и ПВД называют "регенеративными". Уметь воспроизвести схему подключения подогревателей. Особенности конструкций ПВД и ПНД. Материалы ПВД и ПНД отечественных ЯЭУ.
  - 41 Трубопроводы: назначение трубопроводов. Выбор трубопроводов в зависимости от температуры и состава среды. Понятие плакировки. Теплоизоляция. Допустимая скорость различных сред в трубопроводах (м/с).
  - 42 Арматура. Типы арматуры. Принципы работы вентиля и задвижки. Выбор вентиля/задвижки в зависимости от диаметра трубопровода. Клапаны. Принцип работы обратных и предохранительных клапанов. ГЗЗ.
  - 43 Радиоактивные изотопы, которые образуются в процессе работы ядерного реактора: (1) продукты активации элементов теплоносителя, (2) продукты деления и тяжёлые альфа-излучающие нуклиды, (3) радиоактивные продукты коррозии. Знать главные изотопы, представляющие наибольшую опасность (атомную массу, тип распада,  $T_{1/2}$ , если указано – информацию об энергии бета- или гамма-излучения). Выбросы радионуклидов в атмосферу, вклад в дозу населения.
  - 44 Глубокоэшелонированная защита. Барьеры безопасности АЭС. Требования к защитной оболочке (контайнменту). Внешние воздействия, на которые рассчитан контайнмент энергоблоков с ВВЭР-1200.
  - 45 Назначение санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Расчет радиуса СЗЗ. Зона наблюдения.
  - 46 Обеспечение безопасности ЯЭУ в аварийных ситуациях. Проектная и запроектная аварии. Остаточное тепловыделение как принципиальная особенность ядерного реактора. Расхолаживание реакторов типа РБМК и ВВЭР. Охлаждение активной зоны за счёт энергии «выбега» электрогенераторов и ГЦН.
  - 47 Аварии с потерей теплоносителя и их последствия. Назначение САОЗ. Активные и пассивные элементы САОЗ.
  - 48 Последовательность срабатывания систем безопасности при проектной аварии с разрывом трубопровода и обесточиванием на ЯЭУ с ВВЭР. Устройство и принцип работы спринклерной системы; роль спринклерной системы.
  - 49 Назначение системы вентиляции ядерного энергоблока. Источники загрязнения воздуха. Принцип отдельной вентиляции. Знать, для чего в помещениях поддерживается разрежение. Назначение вентиляционной трубы энергоблока.
  - 50 Очистка газов от радионуклидов. Снижение активности летучих радионуклидов (изотопов РБГ и йода). Принцип работы газгольдера, камеры выдержки,



радиохроматографической колонны. Удаление водорода. Особенности очистки газов на ЯЭУ с РБМК и ЯЭУ с ВВЭР.

- 51 Тепловое воздействие АЭС на окружающую среду (особенности, отличающие АЭС от ТЭС). Защита природных источников от перегрева. Назначение и принцип работы башенной градирни. Назначение и принцип работы брызгальных бассейнов.
- 52 Принципы проектирования систем безопасности АЭС нового поколения (на примере АЭС-2006).

При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб ГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По данной дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). При этом оценка «удовлетворительно» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.