

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 20.06.2022 12:26:03  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



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



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

*(начало подготовки – 2017 год)*

Специальность

**18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики**

Специализация:

**№ 3 Технология теплоносителей и радиозащита ядерных энергетических установок**

Квалификация

**Инженер**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **инженерной радиозащиты и радиохимической технологии**

Санкт-Петербург

2017

Б1.В.ДВ.04.01

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

### РАЗРАБОТЧИКИ ПРОГРАММЫ

Ст. преп.

\_\_\_\_\_

Ю.С. Коряковский

Рабочая программа дисциплины «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» обсуждена на заседании кафедры инженерной радиозологии и радиохимической технологии  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г. № \_\_

Зав. кафедрой ИРРТ

\_\_\_\_\_

В.А. Доильницын

Рабочая программа дисциплины «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» одобрена учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г. № \_\_

Председатель

\_\_\_\_\_

В.В. Прояев

### 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 .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	6
3. Объем дисциплины.....	6
4. Содержание дисциплины.....	7
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	7
4.2. Занятия лекционного типа .....	7
4.3. Занятия семинарского типа .....	10
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	10
4.4. Самостоятельная работа обучающихся.....	11
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	13
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	13
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	13
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	15
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	15
10.1. Информационные технологии.....	15
10.2. Программное обеспечение.....	16
10.3. Информационные справочные системы.....	16
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	16
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	16
Приложение № 1.....	17

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

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими компетенциями: ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1.

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ПК-3</b>	способностью анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	<p><b>Знать:</b> источники радиационных рисков на действующих, проектируемых или выводимых из эксплуатации ядерных энергетических установках (здесь и далее – ЯЭУ); подходы к обеспечению безопасности, реализуемые на атомных электростанциях.</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать радиационные риски на действующих, строящихся, проектируемых и выводимых из эксплуатации ЯЭУ путем сравнения индикаторов безопасности с измеряемыми величинами; осуществлять анализ технологий, используемых (или предполагаемых к использованию на ЯЭУ) с точки зрения их потенциальной опасности.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками отбора и обоснования технических решений, направленных на снижение радиационных рисков для персонала и окружающей среды, повышение радиационной безопасности ЯЭУ. навыками оценки долговременных последствий принятых решений для населения и окружающей среды.</p>
<b>ПК-4</b>	способностью принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды	<p><b>Знать:</b> Основные узлы отечественных ЯЭУ, в особенности те, которые являются источником потенциальной радиационной опасности для персонала, населения и окружающей среды. технические средства, предназначенные для удержания радиоактивных веществ, образующихся при эксплуатации ЯЭУ, внутри барьеров безопасности последних.</p>

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p><b>Уметь:</b> осуществлять обоснованный выбор конструкционных материалов для ЯЭУ с учетом возможных последствий принятых решений для радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды.</p> <p><b>Владеть:</b> базовой терминологией, имеющей отношение к техническому устройству ЯЭУ и мерам обеспечения безопасности последних; навыками оценки эффективности и безопасности конструкционных материалов, процессов и аппаратов, используемых на эксплуатируемых и проектируемых ЯЭУ.</p>
<b>ПСК-3.1</b>	<p>способностью к безопасному проведению, контролю, разработке и усовершенствованию технологических процессов подготовки и регенерации теплоносителей ядерных энергетических установок различного типа, обеспечивающими надежную и долговременную защиту окружающей среды от воздействия радиации.</p>	<p><b>Знать:</b> характеристики основных теплоносителей, используемых на отечественных и зарубежных ядерных энергоблоках, эксплуатируемых в настоящее время или в предшествующий период; а также теплоносителей, предлагаемых к использованию в перспективных проектах.</p> <p><b>Уметь:</b> прогнозировать поведение теплоносителя под воздействием облучения в активной зоне энергетического реактора, а также воздействие теплоносителя на конструкционные материалы; оценивать достоинства и недостатки схем очистки (регенерации) теплоносителя на эксплуатируемых ядерных энергетических установках.</p> <p><b>Владеть:</b> методами снижения радиационных рисков, обусловленных проливами радиоактивного теплоносителя (при радиационных инцидентах и авариях, связанных с разгерметизацией контурного оборудования).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» (Б1.В.ДВ.04.01) 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.

Изучение дисциплины «Материалы и оборудование ядерных энергетических установок» основывается на знании студентами материалов следующих дисциплин: «Инженерная графика», «Материаловедение», «Физическая химия», «Процессы и аппараты химической технологии», «Основы ядерной физики и дозиметрии», «Радиационная безопасность в области использования атомной энергии», «Основы радиозащиты».

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, академических часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	5 / 180
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	54
занятия лекционного типа	36
занятия семинарского типа, в т.ч.	18
семинары, практические занятия	18
лабораторные работы	—
курсовое проектирование (КР или КП)	—
КСР	—
другие виды контактной работы	—
<b>Самостоятельная работа</b>	81
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	—
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экз. (45)

#### 4. Содержание дисциплины

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Основные материалы ЯЭУ	10	6	-	21	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1
2.	Основные схемные решения отечественных ЯЭУ	8	4	-	20	ПК-3, ПК-4
3.	Основное оборудование ЯЭУ	8	4	-	20	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1
4.	Радиоэкологические аспекты эксплуатации ЯЭУ	10	4	-	20	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1
	<b>ИТОГО</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>81</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.</p>	10	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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>		
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 жидкометаллическим теплоносителем. 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, жидкометаллическим теплоносителем.</p> <p>Термоядерный реактор как перспективное направление развития ЯЭУ.</p>	8	Слайд-презентация
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</p>	8	Слайд-презентация



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>контур). Контролируемые параметры и вредные примеси. 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. Парогенераторы ЯЭУ. Типы и особенности конструкции. Горизонтальные и вертикальные ПГ, их достоинства и недостатки. Применяемые материалы. Сепарационные устройства. Назначение и принцип работы. Барабан-сепаратор РБМК. Сепаратор – пароперегреватель (СПП). Типы СПП, габариты, применяемые материалы 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). 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. Трубопроводы и арматура Выбор трубопроводов в зависимости от температуры и состава среды. Термоизоляция. Допустимая скорость различных сред в трубопроводах. Типы арматуры. Принципы работы вентиля 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. Ионнообменная фильтрация, механическая фильтрация, выпаривание. Понятие спецводоочистки. Системы СВО на ЯЭУ типа ВВЭР и РБМК.</p>		
4.	<p><b>Радиоэкологические аспекты эксплуатации ЯЭУ</b></p> <p>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</p>	10	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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.</p> <p>Инженерные расчеты при выборе технологического оборудования. Выбор узлов и оборудования.</p> <p>Прогнозирование последствий радиационных инцидентов на ЯЭУ.</p> <p>Замедлители и отражатели ядерных реакторов.</p> <p>Перспективные виды ядерного топлива.</p> <p>Система аварийного охлаждения реактора.</p> <p>Системы локализации радионуклидов при проектных авариях.</p> <p>Влияние АЭС на экологическую обстановку в регионе.</p>		
	<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
1.	<p><b>Основные материалы ЯЭУ</b></p> <p>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.</p> <p>Взаимодействие излучений с материалами. Расчет флюенса. Пороговые значения флюенса. Изменение материаловедческих характеристик материалов при облучении.</p> <p>Расчет скорости коррозии конструкционных материалов. Взаимодействие водной среды с металлом. Виды электрохимической коррозии. Кислородная и водородная деполяризация. Составление диаграмм Пурбэ.</p>	6	Групповая дискуссия
2.	<b>Основные схемные решения отечественных ЯЭУ</b>	4	Групповая

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	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.		вая дискуссия
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	Групповая дискуссия
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	Групповая дискуссия
	<b>ИТОГО:</b>	<b>18</b>	

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Форма контроля
1.	Инновационные материалы для ядерной энергетики.. 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. Результаты самостоятельной работы контролируются в форме	21	КСР не предусмотрен учебным планом

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Форма конт- роля
	<b>групповой дискуссии</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 1.		
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	
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	
4.	<p>Обеспечение безопасности на зарубежных ЯЭУ поколения «III+».</p> <p>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 «III+». Цель работы – сопоставление надежности и эффективности систем безопасности, внедренных в отечественном проекте поколения «III+» (АЭС 2006 с реактором типа ВВЭР-1200) по сравнению с зарубежными системами.</p> <p>Результаты самостоятельной работы контролируются в форме <b>устного опроса</b> на практических занятиях по разделу дисциплины № 4.</p>	20	
	<b>ИТОГО:</b>	<b>81</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: <http://media.technolog.edu.ru>.

Перечень методических указаний к практикуму приведен в списке основной литературы.

## **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.
2. Деаэратор. Назначение деаэрата, примеси, удаляемые в деаэраторе. Принцип работы деаэрата. Понятие выпара. Расход выпара, охлаждение выпара.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

- 1 Технологии обеспечения радиационной безопасности на объектах с ЯЭУ: Монография / В.А. Василенко, А.А. Ефимов, В.А. Доильницын. – СПб.: ООО "НИЦ Моринтех", 2010. – 576 с.
- 2 Мой выбор – атомная наука и техника: учебное пособие / А.А. Акатов [и др.]. – СПб.: Синэл, 2009. – 156 с.

#### **б) дополнительная литература**

- 1 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [Текст] : СанПиН 2.6.1.2523-09. Санитарные правила и нормативы / Гл. гос. санитар. врач РФ. – Взамен НРБ-99 ; Введ. с 01.09.2009. – М. : Роспотребнадзор, 2009. – 100 с.
- 2 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) [Текст] : СП 2.6.1.2612-10. Санитарные правила и нормативы / Гл. гос. санитар. врач РФ. – Взамен ОСПОРБ 99; Введ. с 26.04.2010. – М. : Роспотребнадзор, 2010. – 83 с.

#### **в) вспомогательная литература**

- 1 Стерман, Л.С. Тепловые и атомные электростанции / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – М.: МЭИ, 2000. – 407 с.
- 2 Котов, Ю.В. Оборудование атомных электростанций / Ю.В. Котов, В.В. Кротов, Г.А. Филиппов. – М.: Машиностроение, 1982. – 376 с.
- 3 Ядерная технология / В.П. Шведов [и др.]. – М.: Атомиздат 1979. – 336 с.
- 4 Химическая технология теплоносителей ядерных энергетических установок / В.М. Седов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
- 5 Доллежал, Н.А. Канальный ядерный энергетический реактор РБМК-1000 / Н.А. Доллежал, И.Я. Емельянов. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 с.
- 6 Крутиков, П.Г. Устройство и оборудование атомных электрических станций: учебное пособие ЛТИ им. Ленсовета / П.Г. Крутиков, В.М. Седов, А.И. Овсянников. – Л., 1981. – 78 с.
- 7 Романов, Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий. Справочное руководство / Г.Н. Романов. – М.: Изд. Ат., 1993. – 336 с.
- 8 ГОСТ 23082-78. Реакторы ядерные. Термины и определения. – Введ. 1979-07-01. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам: Изд.-во стандартов, 1988. – 23 с.

### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы размещены на медиопортале 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>.

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, необходимо 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.

## **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:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты / соц. сетей.

## **10.2. Программное обеспечение**

Microsoft Power Point

## **10.3. Информационные справочные системы**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс».

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

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 аудиокколонок.

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 г.



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

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

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ПК-3</b>	способностью анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	промежуточный
<b>ПК-4</b>	способностью принимать конкретное техническое решение с учетом охраны труда, радиационной безопасности и охраны окружающей среды	промежуточный
<b>ПСК-3.1</b>	способностью к безопасному проведению, контролю, разработке и усовершенствованию технологических процессов подготовки и регенерации теплоносителей ядерных энергетических установок различного типа, обеспечивающими надежную и долговременную защиту окружающей среды от воздействия радиации.	начальный

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

<b>Показатели оценки результатов освоения дисциплины</b>	<b>Планируемые результаты</b>	<b>Критерий оценивания</b>	<b>Компетенции</b>
Освоение раздела № 1	Знание свойств основных конструкционных материалов ЯЭУ. Знание специфики работы материалов под действием ионизирующего излучения. Знание принципов и критериев, применяемых при проектировании оборудования ЯЭУ. Знание характеристик основных теплоносителей, используемых на отечественных и зарубежных ядерных энергоблоках, эксплуатируемых в настоящее время или в предшествующий период; а также теплоносителей, предлагаемых к использованию в перспективных проектах. Умение прогнозировать поведение теплоносителя под воздействием облучения в активной зоне энергетического реактора, а также воздействие теплоносителя на	Правильные ответы на вопросы к № 1-11, 32-40, 47-54	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	<p>конструкционные материалы.</p> <p>Владение принципами выбора конструкционных материалов для основных и вспомогательных контуров ЯЭУ, а также материалов, используемых в отражателях/замедлителях и системах управления и защиты ядерного реактора.</p>		
Освоение раздела № 2	<p>Знание схемных решений основных типов ЯЭУ.</p> <p>Умение воспроизвести и объяснить принцип работы любого из трех типов крупных ЯЭУ, эксплуатируемых в РФ – с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН.</p> <p>Умение воспроизвести, объяснить принцип работы и привести рабочие характеристики основных типов отечественных энергетических ядерных реакторов – ВВЭР, РБМК, БН.</p>	Правильные ответы на вопросы к № 12-22	ПК-3, ПК-4
Освоение раздела № 3	<p>Знание химико-технологических аспектов основных и вспомогательных систем ЯЭУ.</p> <p>Знание принципов выбора и расчета аппаратов.</p> <p>Умение воспроизвести и объяснить принцип работы основных единиц оборудования ЯЭУ.</p> <p>Умение оценивать достоинства и недостатки схем очистки (регенерации) теплоносителя на эксплуатируемых ядерных энергетических установках.</p>	Правильные ответы на вопросы к № 23-31, 55-58	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1
Освоение раздела № 4	<p>Владение информацией об основных источниках радиационной опасности на ЯЭУ (при нормальной эксплуатации и в случае аварии).</p> <p>Владение информацией о мерах по обеспечению радиационной безопасности персонала и безопасности ЯЭУ для окружающей среды.</p> <p>Владение методами снижения радиационных рисков, обусловленных проливами радиоактивного теплоносителя (при радиационных инцидентах и авариях, связанных с разгерметизацией контурного оборудования).</p> <p>Владение способами обеспечения радиационной безопасности персонала и окружающей среды, реализуемыми на ЯЭУ.</p>	Правильные ответы на вопросы к № 41-46, 59	ПК-3, ПК-4, ПСК-3.1

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.  
Результат оценивания экзамена – балльный.

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

#### **а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-3:**

- 1 Основные термины и понятия.
- 2 Делящиеся изотопы, классификация нейтронов по энергиям, основные типы протекающих в ядерном реакторе реакций.
- 3 Величина энергии, выделяющейся при реакции деления, понятие запаздывающих нейтронов, доля запаздывающих нейтронов. Таблица "Ядерные свойства делящихся нуклидов" – величины сечений ядерных реакций (порядок), и соотношения между ними.
- 4 Формулы и понятия: коэффициент размножения, реактивность, запас реактивности; все составляющие *формулы 4-х сомножителей*.
- 5 График распределения осколков по массам при реакции деления, основные радионуклиды-продукты деления (назвать не менее 7-ми).
- 6 Понятия «энерговыведение», «глубина выгорания». Вывод связи между глубиной выгорания и загрузкой; энергией реакции деления и требуемой массой топлива, и пр.
- 7 Понятия пластической и непластической деформации, предела прочности и текучести (график). Понятия ударной вязкости, жаропрочности, ползучести. Зависимость ползучести от температуры.
- 8 Суть процессов возврата (отпуска), отжига, закалки; для чего используются эти процессы. Определение наклепа. Сходство и различия между наклепом и радиационными повреждениями.
- 9 Основные конструкционные материалы ЯЭУ. Стали. Участок диаграммы "Fe-C", на нем – основные структурные составляющие стали.
- 10 Добавки в стали. Обозначения добавок: Ni, Cr, Mn, V, W, Ti, Mo, B. Расшифровка марок сталей. Типы сталей – углеродистые, низколегированные, аустенитные, хромистые. По одному примеру (минимум) марки стали каждого типа (с расшифровкой). Примеры зарубежных марок сталей. Сплавы типа инконель и инколой.
- 11 Свойства графита, алюминия, циркония (и сплавов циркония, используемых в активной зоне).
- 12 Ядерные реакторы: принципы, на основании которых классифицируются ядерные реакторы. Принципиальное устройство энергетического реактора. Понятия твэла, ТВС, кассеты. Топливо, используемое в отечественных реакторах.
- 13 ЯЭУ с реактором типа РБМК-1000. Воспроизвести технологическую схему ЯЭУ. Основные аппараты ЯЭУ с РБМК-1000. Габариты БС, производительность ГЦН, и расход воды через активную зону. Аппараты, образующие КМПЦ, паровой и питательный тракт. Схема разводки каналов в КМПЦ.
- 14 Диаметр технологических каналов, содержание пара в пароводяной смеси КМПЦ, количество каналов в активной зоне реактора. Количество стержней СУЗ. Параметры ТВС: длина, материал, количество твэлов, диаметр твэлов.
- 15 Габариты активной зоны. Масса графита в графитовой кладке (порядок). Параметры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны.
- 16 Тип используемого топлива, обогащение (в %), глубина выгорания (МВт\*сут/т), масса стационарной загрузки. Биологическая защита реактора РБМК-1000 – элементы биологической защиты, масса (порядок). РЗМ РБМК – назначение, принцип работы.
- 17 ЯЭУ с РБМК-1500 – основные отличия РБМК-1500 от РБМК-1000.

- 18 ЯЭУ с реактором типа ВВЭР-440 (1000). Технологическая схема ЯЭУ. Основные аппараты ЯЭУ с ВВЭР.
- 19 Принцип действия и объем КО, производительность ГЦН и расход воды через активную зону. Аппараты, образующие 1-й контур и 2-й контур, паровой и питательный тракты.
- 20 Параметры ТВС – материал, размеры, количество твэлов в ТВС, параметры твэлов (для ВВЭР-1000). Количество стержней СУЗ (ВВЭР-1000). Габариты активной зоны (ВВЭР-1000). Габариты корпуса реактора (ВВЭР-440 и ВВЭР-1000). Параметры теплоносителя на входе и выходе из активной зоны, в 1-м и 2-м контуре (ВВЭР-440 и ВВЭР-1000).
- 21 Тип используемого топлива, обогащение (в %), глубина выгорания ( $MВт \cdot сут/т$ ), масса стационарной загрузки (ВВЭР-440 и ВВЭР-1000). Воспроизвести схему перегрузки топлива реактора ВВЭР.
- 22 Основные преимущества реактора на быстрых нейтронах перед тепловыми реакторами. Технологическая схема ЯЭУ. Основные аппараты 1-го, 2-го, 3-го контуров. БН-600 как пример баковой (интегральной) компоновки реактора. Параметры пара, идущего на турбины. Параметры натрия 1-го и 2-го контура. Материал оболочек твэлов. Опасность эксплуатации ЯЭУ с жидким натрием.
- 23 Парогенератор ЯЭУ с ВВЭР. Схема аппарата и принцип работы; для ВВЭР-1000 – габариты, параметры (давление, температура потоков воды и пара). Количество труб, площадь теплообмена (для ВВЭР-1000). Достоинства и недостатки вертикальных и горизонтальных ПГ. Материалы ПГ.
- 24 Сепарационные устройства ЯЭУ. БС РБМК – схема аппарата, габариты. Сепаратор-пароперегреватель для РБМК-1000 – схема, принцип работы.
- 25 Насосы ЯЭУ. Главные циркуляционные насосы (ГЦН). Возможные варианты устройства ГЦН: бессальниковые герметичные; с вынесенным электродвигателем. Понятия гидроподпора и контролируемых протечек. ГЦН для ВВЭР-1000 и РБМК-1000.
- 26 Турбины ЯЭУ. Принцип работы турбины. Параметры турбины (давление поступающего пара, расход, частота) – на примере реактора РБМК-1000. Типы турбоагрегатов, используемых на РБМК-1000 и ВВЭР-1000 (количество ЦНД, ЦСД и ЦВД).
- 27 Конденсатор турбин. Функции конденсатора турбин. Поддержание разрежения. Кратность охлаждения в конденсаторе, характеристики конденсаторов (один пример из таблицы). Присосы в конденсаторе – источник присосов, способы борьбы с присосами.
- 28 Деаэратор. Назначение деаэратора, примеси, удаляемые в деаэраторе. Принцип работы деаэратора. Понятие выпара. Расход выпара, охлаждение выпара.
- 29 Регенеративные подогреватели. Понятие «регенеративного» теплообменного аппарата. Схема подключения подогревателей. Особенности конструкций ПВД и ПНД. Различие в давлении воды в ПНД и ПВД. Трубочатка в ПВД и ПНД, материалы ПВД и ПНД отечественных ЯЭУ.
- 30 Трубопроводы: назначение трубопроводов. Выбор трубопроводов в зависимости от температуры и состава среды. Понятие плакировки. Термоизоляция. Допустимая скорость различных сред в трубопроводах (м/с).
- 31 Арматура. Типы арматуры. Принципы работы вентиля и задвижки. Выбор вентиля/задвижки в зависимости от диаметра трубопровода. Клапаны. Принцип работы обратных и предохранительных клапанов. ГЗЗ.

**б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-4:**

- 32 Понятие отравления реактора, йодной (ксеноновой) ямы, механизм процесса отравления реактора.
- 33 Достоинства и недостатки основных замедлителей и отражателей. Свойства воды и графита. Понятие "альbedo". Назначение и принцип организации СУЗ. Используемые материалы-поглотители. Сечения захвата для бора и гадолиния.
- 34 Требования к конструкционным материалам. Характеристики материалов ЯЭУ: дефекты решетки, твердость, деформации. Типы дефектов решетки (рисунки). НВ и НУ: формулы, схема организации испытания.
- 35 Характер взаимодействия различных типов излучения с веществом. Механизм взаимодействия нейтронов с веществом. Облучение заряженными частицами – формула передачи энергии при взаимодействии. Типы радиационных дефектов при взаимодействии с нейтронами. Зависимости (формулы) передачи энергии при взаимодействии с нейтронами, число смещенных атомов. Значения количеств смещенных атомов для разных типов материалов (порядки).
- 36 Определения и формулы нейтронного потока, *флюенса*. Понятие порогового значения флюенса. Пороговые значения флюенса для различных материалов (порядок), в первую очередь – для сталей и циркониевых сплавов.
- 37 Влияние облучения на радиационные свойства материалов. Понятия радиационного упрочнения и охрупчивания, свеллинга.
- 38 Графики, отражающие влияние облучения на механические свойства: принципиальный вид зависимостей.
- 39 Коррозия конструкционных материалов. Понятия эрозии, коррозии, электрохимической коррозии. Анодный и катодный процессы. Кислородная и водородная деполяризация. Формула, связывающая потенциалы реакций и энергию Гиббса. Формула, связывающая потенциал и рН.
- 40 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. Параметры, влияющие на коррозию.
- 41 Вопросы безопасности АЭС. Наиболее важные (с точки зрения биологической опасности) радионуклиды, образующиеся при работе ЯЭУ: продукты деления, активированные продукты коррозии, изотопы, образующиеся из теплоносителя. Опасность летучих радионуклидов. Понятия допустимой объемной активности (ДОА) и уровня вмешательства (УВ).
- 42 Барьеры безопасности АЭС. СУЗ реактора, аварийная защита.
- 43 Понятие биологической защиты. Основные материалы биологической защиты.
- 44 Особенности обеспечения безопасности на ЯЭУ с реакторами типа ВВЭР, РБМК, БН. Работа системы аварийного охлаждения активной зоны (САОР/САОЗ).
- 45 Особенности обеспечения безопасности на ЯЭУ с реактором типа ВВЭР-1200 (проект «АЭС-2006»). Пассивные элементы систем безопасности. Гидроемкости с раствором борной кислоты. СПОТ ПГ и СПОТ ЗО. Устройство ловушки расплава.
- 46 Образование водорода на одноконтурных ЯЭУ. Очистка газов на АЭС. Генерация радиоактивных отходов (РАО) на АЭС, обращение с РАО.

**в) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПСК-3.1:**

- 47 Достоинства и недостатки воды в качестве теплоносителя.
- 48 Достоинства и недостатки тяжелой воды в качестве теплоносителя.
- 49 Достоинства и недостатки органических жидкостей в качестве теплоносителя.
- 50 Достоинства и недостатки газовых теплоносителей.
- 51 Особенности перспективного гелиевого теплоносителя (для высокотемпературного газового реактора).

- 52 Достоинства и недостатки жидкометаллических теплоносителей.
- 53 Особенности перспективного свинцового теплоносителя (проект «Брест»).
- 54 Особенности перспективного свинцово-висмутного теплоносителя (проект «СВБР-100»).
- 55 ВХР. Понятие ВХР, назначение ВХР. Контролируемые параметры теплоносителя. Значения контролируемых параметров на примере питательной и циркуляционной воды в реакторе РБМК-1000.
- 56 ВХР для ЯЭУ с РБМК и ВВЭР (1-й и 2-й контур). Обоснование применяемого ВХР для различных типов отечественных реакторных установок.
- 57 Регенерация теплоносителя на ЯЭУ. Примеси, ухудшающие качество водного теплоносителя. Методы удаления примесей на ЯЭУ. Ионообменная фильтрация, механическая фильтрация, выпаривание.
- 58 Понятие спецводоочистки. Системы СВО на ЯЭУ типа ВВЭР и РБМК. СВО-4 для РБМК-1000 (очистка трапных вод). Аппараты, используемые для очистки водных сред на ЯЭУ.
- 59 Меры по снижению радиационных рисков при проливах теплоносителя (в аварийных ситуациях, связанных с разгерметизацией контура).

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена студент получает 2 вопроса из вышеприведенного перечня. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (Приказ ректора от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.