	Министерство науки и высшего образования РФ
	ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА» (НГТУ)
НГТУ-ДПП 29/10-25	Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки

«УТВЕРЖДАЮ»



Первый проректор-проректор
по образовательной деятельности

Е.Г. Ивашкин
«_____» 2025 г.

**Дополнительная профессиональная программа
профессиональной переподготовки
«Ядерные паропроизводящие установки»**

« СОГЛАСОВАНО»

Директор Института
переподготовки специалистов

С.Б. Сорокин
«_____» 2025 г.

Нижний Новгород
2025

Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки» сост. ст.преподаватель Тарасова Н.П.: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», 2025. - 54 с.

Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки» (далее - программа профессиональной переподготовки) разработана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева») с учетом требований:

- Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам, утвержденного приказом Минобрнауки России от 1 июля 2013 г. № 499;

- приказа Минобрнауки России от 29 марта 2019 г. № 178;

- глобальной технологической повестки (прогноз научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года);

- потребностям реального сектора экономики;

- профессионального стандарта 24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции», регистрационный номер № 1186, утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 04 июня 2018 г. № 349н;

- профессионального стандарта 24.078 «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий», регистрационный номер № 1132, утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 16 марта 2018 г. № 149н;

- ФГОС 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика», утвержденного приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 148.

- ФГОС 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика», утвержденного приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 148.

К обучению могут быть допущены лица, имеющие высшее образование.

При успешном завершении программы слушатель получает диплом о профессиональной переподготовке.

Форма обучения: очно-заочная, с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

СОДЕРЖАНИЕ	
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ	1
2. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО ВИДА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	3
3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ	5
3.1. Трудовые функции	5
3.2. Перечень планируемых результатов обучения.....	6
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ПО УЧЕБНОМУ ПЛАНУ	12
4.1 Распределение трудоемкости программы по видам работ	12
4.2. Учебный план программы «Ядерные паропроизводящие установки»	12
4.3. Содержание программы, структурированное по темам (учебно-тематический план).....	13
4.4. Календарный учебный график	20
5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ	20
6. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ И КЕЙСЫ, ПРЕДУСМОТРЕННЫЕ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ	21
7. ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.....	35
8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	36
9. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ.....	37
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ПРОГРАММЫ	38
10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению программы.....	38
10.2. Методические указания для занятий лекционного типа.....	39
10.3. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся	39
10.4. Методические рекомендации по практической части программы	39
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ	39
Приложение А. Рабочее содержание модулей	45
Рабочая программа модуля 1.	45
Рабочая программа модуля 2.	46
Рабочая программа модуля 3

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Цель освоения дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки» состоит в формировании комплексных знаний, умений и навыков в области атомной промышленности (в сфере использования ядерной энергетики и теплофизики) для получения и осуществления новых видов профессиональной деятельности «Специалист-теплоэнергетик атомной станции» в соответствии с профстандартом 24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции» (6 уровень квалификации), «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» в соответствии с профстандартом 24.078 «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» (6 уровень квалификации), направленного на обеспечение безопасной эксплуатации основного и вспомогательного тепломеханического оборудования АЭС при выработке тепловой и электрической энергии, выполнение прикладных научных исследований при разработке и проектировании основного оборудования судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Программа включает в себя изучение основ физики ядерных реакторов и процессов тепломассопереноса, тепловых схем атомных электростанций и судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ), состава, компоновки и особенностей конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования атомных электростанций и судовых ЯЭУ, основ безопасности, физических принципов управления и защиты атомных электростанций судовых ЯЭУ.

Задачи освоения программы:

1. Теоретическое изучение нейтронно-физических процессов и процессов тепломассообмена в судовой ЯЭУ; принципов действия и режимов эксплуатации основного оборудования и систем атомных электростанций и судовых ЯЭУ, основ безопасности атомных электростанций и судовых ЯЭУ;
2. Формирование навыков проведения расчетных и экспериментальных исследований при разработке основного оборудования и систем атомных электростанций и судовых ЯЭУ;
3. Освоение методик обработки и сравнительного анализа результатов расчетных и экспериментальных исследований при разработке основного оборудования атомных электростанций и систем судовых ЯЭУ;
4. Формирование навыков разработки отчетной документации при проведении расчетных и экспериментальных исследований.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО ВИДА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обучение по программе предполагает согласно профессиональным стандартам 24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции» (рег. номер 1186), 24.078 «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» (рег. номер 1132) формирование у слушателей профессиональных компетенций, необходимых для выполнения трудовых действий на предприятии в соответствии с обобщенными трудовыми функциями «Эксплуатация и обслуживание оборудования и трубопроводов, основных фондов турбинного отделения АЭС» (А), «Проведение прикладных научных исследований в соответствии с рабочими планами по повышению эффективности и безопасности объектов использования атомной энергии» (А).

В соответствии с программой реализуются **трудовые функции**, указанные в профессиональных стандартах:

1. 24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции»:

А/01.6 Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара;

А/02.6 Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов;

2. 24.078 «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий»:

А/01.6 Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований;

А/02.6 Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках;

А/03.6 Обработка и анализ результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений и составление отчетов по выполненным этапам работ.

В соответствии с ТФ А/01.6 «Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара» трудовая деятельность обученного лица будет включать в себя:

- выявление отклонений от графиков выполнения технических мероприятий, указанных в эксплуатационных и противоаварийных циркулярах, касающихся обслуживания оборудования;
- проверку безопасности условий производства работ по нарядам-допускам и распоряжениям;
- поддержание противопожарного режима в помещениях, чистоты на рабочих местах;
- проведение регистрации и технического освидетельствования оборудования и трубопроводов;
- выполнение работ при режимных и пусконаладочных испытаниях;
- выполнение оперативных распоряжений вышестоящего оперативного персонала и административно-технического руководства.

В соответствии с ТФ А/02.6 «Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов» трудовая деятельность обученного лица будет включать в себя:

- систематический контроль поддержания работоспособности оборудования систем нормальной эксплуатации;
- информирование вышестоящего руководства о неисправностях оборудования, о возгораниях, несчастных случаях, происшедших в цеховых помещениях, о замечаниях со стороны надзорных органов;
- определение объема подготовительных и ремонтных работ по цеховому оборудованию при проведении плановых ремонтов;
- проверку безопасности условий производства работ по нарядам-допускам и распоряжениям;
- осуществление контроля выполнения объемов, сроков и качества технического обслуживания и ремонтов оборудования;
- выполнение приемки оборудования из ремонта.

В соответствии с ТФ А/01.6 «Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований» трудовая деятельность обученного лица будет включать в себя:

- составление рабочих планов выполнения заданий;
- выбор методики исследования и испытаний, используемых в атомной отрасли;
- подготовка исходных данных для используемых программных кодов моделирования физических процессов в экспериментальных стендах и установках;
- наладка и регулирование экспериментальных стендов и установок;
- проведение тестовых расчетов и поверочных измерений на установках и стендах.

В соответствии с ТФ А/02.6 «Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках» трудовая деятельность обученного лица будет включать в себя:

- проведение расчетных исследований на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи;
- проведение экспериментальных измерений на установках и стендах;
- обработка результатов расчетных исследований по сертифицированным кодам;

- ведение лабораторного журнала при проведении экспериментальных работ;
- сопоставление расчетных и экспериментальных данных;
- оценка погрешностей результатов измерений.

В соответствии с ТФ А/03.6 «Обработка и анализ результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений и составление отчетов по выполненным этапам работ» трудовая деятельность обученного лица будет включать в себя:

- обработка результатов расчетных исследований, полученных с помощью сертифицированных кодов;
- обработка результатов экспериментальных исследований на стендах и установках с учетом погрешностей измерительных систем;
- первичный анализ полученных расчетных и экспериментальных данных;
- подготовка отчетов по результатам исследований.

При успешном завершении обучения слушатель программы «Ядерные паропроизводящие установки» может трудоустроиться как (возможные варианты):

- Инженер по организации эксплуатации энергетического оборудования
- Инженер-исследователь в области ядерно-энергетических технологий

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

3.1. Трудовые функции

Обучение по программе «Ядерные паропроизводящие установки» предполагает освоение соответствующих профессиональных компетенций в процессе изучения программы профессионального обучения (таблица 1).

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

Уровень квалификации	Обобщенные трудовые функции	Трудовые функции	Профессиональный стандарт
6	Эксплуатация и обслуживание оборудования и трубопроводов, основных фондов турбинного отделения АЭС	А/01.6 Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара	24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции» (рег. № 1186)
		А/02.6 Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов	
6	Проведение прикладных научных исследований в соответствии с рабочими планами по повышению эффективности и безопасности объектов исследования атомной энергии.	А/01.6 Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований	24.078 «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий» (рег. № 1132)
		А/02.6 Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	
		А/03.6 – Обработка и анализ результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений и составление отчетов по выполненным этапам работ	

3.2. Перечень планируемых результатов обучения

Обучение по программе «Ядерные паропроизводящие установки» предполагает освоение соответствующих профессиональных компетенций в процессе изучения программы профессиональной переподготовки, с приобретений соответствующих знаний умений и навыков деятельности для формирования соответствующей компетенции(-ий) (таблица 2).

В соответствии с ФГОС 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» профессиональные компетенции определяются Организацией самостоятельно на основе профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников. Формирование у слушателей профессиональных компетенций, необходимых для выполнения научно-исследовательской деятельности дает право на ведение новых видов профессиональной деятельности в соответствии с профессиональными стандартами «Специалист-теплоэнергетик атомной станции», «Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий». Выпускники могут занимать следующие профессиональные должности в соответствии с единым квалификационным справочником: инженер по организации эксплуатации энергетического оборудования, инженер по эксплуатации оборудования.

В соответствии с трудовыми функциями планируются трудовые действия, перечисленные в пункте 2 данного документа.

Для проверки представленных в табл. 2 результатов освоения предусмотрен контроль знаний в виде Промежуточного контроля и Защиты выпускной аттестационной работы по итогам обучения.

Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по программе «Ядерные паропроизводящие установки»

Код и наименование компетенции (трудовой функции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
				Промежуточный контроль	Итоговая аттестация
А/01.6 Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основы ядерной физики и термодинамики - основы электротехники, механики, гидравлики, водоподготовки - методические и нормативные правовые акты по эксплуатации оборудования и коммуникаций - нормы и правила безопасности в области использования атомной энергии в рамках трудовой функции - информационные технологии и программное обеспечение - требования охраны труда - основные положения и правила культуры безопасности 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать данные измерений параметров и результатов проверок, опробований, испытаний оборудования - применять меры для обеспечения сохранности оборудования и условий его безопасной эксплуатации - заполнять бланки, формуляры заявок на ремонт помещений - применять эффективные методы планирования рабочего времени - применять информационные технологии, оргтехнику и средства связи 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками анализа данных измерений параметров и результатов проверок, опробований, испытаний оборудования; - навыками обеспечения сохранности, ремонта и эксплуатации оборудования - навыками применения информационных технологий, оргтехники и средств связи в профессиональной области - навыками оформления технической документации и планирования рабочего времени 	Вопросы тестов по темам в Odin, Практические работы	Защита проекта

Код и наименование компетенции (трудовой функции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
				Промежуточный контроль	Итоговая аттестация
А/02.6 Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правила организации технического обслуживания и ремонта систем и оборудования АЭС - технические характеристики обслуживаемого оборудования, устройство и порядок его работы, паспортные данные и пределы безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов - основные правила обеспечения эксплуатации АЭС - требования, предъявляемые к теплоносителю, и способы поддержания параметров водно-химического режима - основные положения и правила культуры безопасности 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать техническое состояние оборудования и технологических систем - определять готовность оборудования систем нормальной эксплуатации - определять объем подготовительных и ремонтных работ - применять приемы качественной подготовки к проведению ремонтов тепломеханического оборудования - применять информационные технологии, оргтехнику и средства связи - применять меры для обеспечения сохранности оборудования и условий его безопасной эксплуатации 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками анализа технического состояния оборудования и технологических систем; - навыками применения норм эксплуатации, ремонта и сохранности оборудования - навыками применения информационных технологий, оргтехники и средств связи в профессиональной области 	Вопросы тестов по темам в Odin, Практические работы	

Код и наименование компетенции (трудовой функции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
				Промежуточный контроль	Итоговая аттестация
А/01.6 Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные тенденции развития современных судовых ЯЭУ; - классификацию, состав оборудования и систем судовых ЯЭУ; - основные методы расчета и проектирования оборудования и систем судовых ЯЭУ - регламент проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формулировать цели и задачи научно-исследовательских работ в обоснование проектных решений; - производить литературный поиск необходимых научно-технических материалов по тематике исследований - выбирать методы и оборудование для проведения научных исследований; - осуществлять подготовку исходных данных для выполнения научных исследований 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методиками проектирования оборудования и систем судовых ЯЭУ; - навыками разработки технической документации с применением современного программного обеспечения и информационных технологий 	Вопросы тестов по темам в Odin, Практические работы	Защита проекта

Код и наименование компетенции (трудовой функции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
				Промежуточный контроль	Итоговая аттестация
А/02.6 Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - цели и задачи проводимых исследований; - математические методы и программные средства для проведения экспериментальных или расчетных исследований судовых ЯЭУ; - принцип действия и режимы работы основного оборудования и систем судовых ЯЭУ 	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - составлять план проведения экспериментальных или расчетных исследований для решения научных и производственных задач при проектировании судовых ЯЭУ; - подобрать и обосновать математические методы и программные средства для проведения экспериментальных или расчетных исследований судовых ЯЭУ 	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками проведения экспериментальных или теоретических исследований при проектировании оборудования и систем судовых ЯЭУ - навыками применения математических методов и программных средств для проведения экспериментальных или расчетных исследований судовых ЯЭУ 	Вопросы тестов по темам в Odin, Практические работы	

Код и наименование компетенции (трудовой функции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
				Промежуточный контроль	Итоговая аттестация
А/03.6 – Обработка и анализ результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений и составление отчетов по выполненным этапам работ	Знать: - методы средства обработки и сравнительного анализа результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений; - способы оценки научно-технического уровня полученных результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений.	Уметь: - подобрать и обосновать современные методы средства обработки и сравнительного анализа результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений	Владеть: - навыками применения современного программного обеспечения для обработки и сравнительного анализа результатов расчетных исследований и экспериментальных измерений - навыками составления отчетов по выполненной работе с использованием современного программного обеспечения	Вопросы тестов по темам в Odin, Практические работы	

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ПО УЧЕБНОМУ ПЛАНУ

4.1 Распределение трудоемкости программы по видам работ

Общая трудоемкость программы «Ядерные паропроизводящие установки» составляет 256 часов с соответствующим распределением часов по видам работ (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час
Формат изучения программы	с использованием элементов электронного обучения
Общая трудоёмкость программы по учебному плану	256
1. Контактная работа:	180
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	156
Дистанционные занятия лекционного типа (Л)	46
Дистанционные занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практические занятия и др.)	110
1.2. Внеаудиторная, в том числе	24
контактная работа на итоговом контроле	24
2. Самостоятельная работа (СРС)	76
реферат/эссе (подготовка)	-
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)	-
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	76

4.2. Учебный план программы «Ядерные паропроизводящие установки»

№ п/п	Наименование раздела (модуля)	Общая трудоемкость	Форма контроля
1.	Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ	24	Тестовые задания, Зачет
2.	Атомные энергетические установки судов ледового плавания	26	Тестовые задания, Зачет
3.	Обеспечение безопасности судовых ядерных энергетических установок	24	Тестовые задания, Зачет
4.	Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ	90	Тестовые задания, Практические работы, Экзамен
5.	Парогенераторы и теплообменники	58	Тестовые задания, Практические работы, Экзамен
6.	Итоговая аттестация	34	Защита проекта
7.	Итого:	256	

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ)
УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

**Дополнительная профессиональная программа профессиональной переподготовки
«Ядерные паропроизводящие установки»**

Категория слушателей: – лица, имеющие среднее профессиональное образование

Срок обучения: – 3,5-5 мес.

Форма обучения: очно-заочная с применением дистанционных технологий

№ /п	Наименование дисциплин (модулей, курсов), разделов, тем	Срок освоения / трудоемкость		Контактные часы, в.т.ч. с применением ДОТ						СРС, ч. ДОТ	Формы контроля
				лекции		лабораторные работы		практические и семинарские занятия			
		Всего , ч.	из них с ДОТ, ч / (%)	Всего, о, ч	из них с ДОТ, ч	Всего, ч	из них с ДОТ, ч	Всего, ч	из них с ДОТ, ч		
Модуль 1. Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ)											
1.1	Тема 1.1: Эволюция гражданских судовых РУ. Общие характеристики и принципиальная схема РУ РИТМ-200.	7	3/42,8	2				2		3	
1.2	Тема 1.2: Система первого контура: основной контур циркуляции теплоносителя первого контура, система компенсации давления, система очистки и расхолаживания. Назначение,	7	3/42,8	2				2		3	

	характеристики, состав оборудования, режимы работы, правила эксплуатации и хранения.										
1.3	Тема 1.3: Конструкция и состав активной зоны реактора.	5	2/40	1				2		2	
1.4	Тема 1.4: Исполнительные механизмы приводов СУЗ. Конструкция, характеристики, правила эксплуатации.	5	2/40	1				2		2	
	Итого по модулю 1.	24	10/41	6				8		10	Зачёт
Модуль 2. Атомные энергетические установки судов ледового плавания											
2.1	Тема 2.1: Контролируемая ядерная реакция	2	0,5/25	0,5				1		0,5	
2.2	Тема 2.2: Классификация ядерных реакторов	2	0,5/25	0,5				1		0,5	
2.3	Тема 2.3: Парогенерирующий блок	2	0,5/25	0,5				1		0,5	
2.4	Тема 2.4: Корпус реактора, крышка реактора, их соединение и уплотнение	2	0,5/25	0,5				1		0,5	
2.5	Тема 2.5: Внутрикорпусное устройство реактора	3	1,5/50	0,5				1		1,5	

2.6	Тема 2.6: Парогенератор	3	1,5/50	0,5				1		1,5	
2.7	Тема 2.7: Циркуляционный насос первого контура	3	1,5/50	0,5				1		1,5	
2.8	Тема 2.8: Теплообменник 1-3 контура	3	0	1				2		0	
2.9	Тема 2.9: Ионообменный фильтр	3	0	1				2		0	
2.10	Тема 2.10: Система компенсации давления теплоносителя 1 контура	3	1,5/50	0,5				1		1,5	
	Итого по 2 модулю	26	8/30	6				12		8	зачет
Модуль 3. Обеспечение безопасности судовых ядерных энергетических установок											
3.1	Тема 3.1: Основные принципы обеспечения безопасности	4	2/50	1				1		2	
3.2	Тема 3.2: Основные принципы безопасности	4	2/50	1				1		2	
3.3	Тема 3.3: Нормы безопасности	4	2/50	1				1		2	
3.4	Тема 3.4: Системы безопасности судовых	4	2/50	1				1		2	

	ядерных энергетических установок										
3.5	Тема 3.5: Обоснование безопасности судовых ядерных энергетических установок	4	1/25	1				2		1	
3.6	Тема 3.6: Вероятностный анализ безопасности судовых ядерных энергетических установок	4	1/25	1				2		1	
	Итого по 3 модулю	24	10/41	6				8		10	зачет
	Промежуточная аттестация	1						1			зачет
Модуль 4. Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ											
4.1	Тема 4.1: Основные положения, термины и определения курса тепломассообмена	3	1/33	1				1		1	
4.2	Тема 4.2: Теплопроводность в твердых телах	4	2/50	1				1		2	
4.3	Тема 4.3: Конвективный теплообмен	4	2/50	1				1		2	
4.4	Тема 4.4: Теплопередача и пути её интенсификации	3	1/33	1				1		1	

4.5	Тема 4.5: Теплоизоляционные покрытия	3	1/33	1				1		1	
4.6	Тема 4.6: Лучистый теплообмен	3	1/33	1				1		1	
4.7	Тема 4.7: Теплообмен при фазовых превращениях	3	1/33	1				1		1	
4.8	Тема 4.8: Основы расчета теплообменных аппаратов	3	1/33	1				1		1	
4.9	Тема 4.9: Основы гидравлики	3	1/33	1				1		1	
4.10	Тема 4.10: Ядерный реактор как источник тепла	2	1/50	0,5				0,5		1	
4.11	Тема 4.11: Основные характеристики ядер	4	2/50	1				1		2	
4.12	Тема 4.12: Взаимодействие нейтронного излучения с веществом	2	2/50	0,5				0,5		1	
4.13	Тема 4.13: Диффузия нейтронов	2	1/50	0,5				0,5		1	
4.14	Тема 4.14: Замедление нейтронов	2	1/50	0,5				0,5		1	
4.15	Тема 4.15: Коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде и в среде конечных размеров	4	2/50	1				1		2	

4.16	Тема 4.16: Критические размеры гомогенного реактора	3	1/33	1				1		1	
	Итого по 4 модулю	48	20/41	14				14		20	экзамен
Модуль 5. Парогенераторы и теплообменники											
5.1	Тема 5.1: Принципиальные схемы генерации пара в ЯЭУ и классификация парогенераторов (ПГ) и теплообменников (ТО)	4	2/50	1				1		2	
5.2	Тема 5.2: Теплообменные аппараты	4	2/50	1				1		2	
5.3	Тема 5.3: Параметры пара, вырабатываемого ПГ ЯЭУ	5	2/40	2				1		2	
5.4	Тема 5.4: Выбор теплоносителя первого контура ЯЭУ	5	2/40	2				1		2	
5.5	Тема 5.5: Конструкция и характеристики ПГ горизонтального типа	5	2/40	2				1		2	
5.6	Тема 5.6: Конструктивные схемы вертикальных ПГ	5	2/40	2				1		2	
5.7	Тема 5.7: Конструкционные материалы ПГ ЯЭУ	6	2/50	2				1		3	

5.8	Тема 5.8: Конструкция ПГ ЯЭУ. Основы конструкторского расчета	6	3/50	2				1		3	
	Итого по 5 модулю	40	18/45	14				8		18	экзамен
	Стажировка	60	0/0					60		0	зачет
	Итоговая аттестация	33	10/30					23		10	Защита проекта
	Итого	256	76/29,6	46				134		76	

4.4. Календарный учебный график

Календарный учебный график для освоения программы «Ядерные паропроизводящие установки» составляется индивидуально для каждой группы слушателей. Календарный учебный график представлен в форме расписания занятий при наборе группы на обучение. Сроки реализации программы: 3 мес. Ориентировочный календарный учебный график представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Календарный учебный график

Недели	Разделы	Преподаватели
1	Модуль 1. Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ	Новиков Д.И.
2-3	Модуль 2. Атомные энергетические установки судов ледового плавания	Демарев И.В.
4-5	Модуль 3. Обеспечение безопасности судовых ядерных энергетических установок	Былов И.А.
6-8	Модуль 4. Нейтронно-физические и тепломассообменные процессы в ЯЭУ	Самойлов А.М.
9-11	Модуль 5. Парогенераторы и теплообменники	Хохлов В.Н.
12-13	Стажировка	Сотрудники ОКБМ
14	Итоговая аттестация	Новиков Д.И., Демарев И.В., Былов И.А., Самойлов А.М., Хохлов В.Н., Андреев В.В., Тарасова Н.П.

5. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ

Преподавательский состав, обеспечивающий образовательный процесс, обладает высшим образованием в области соответствующих разделов программы профессиональной переподготовки и стажем преподавания по изучаемой тематике не менее 1 года и (или) практической работы в областях знаний, предусмотренных разделами данной программы, не менее 5 (пяти) лет (таблица 6).

Таблица 6 – Кадровое обеспечение программы

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Образование (вуз, год окончания, специальность)	Должность, ученая степень, звание. Стаж работы в данной или аналогичной должности, лет	Перечень основных научных и учебно-методических публикаций
Профессорско-преподавательский состав программы				
1.	Андреев Вячеслав Викторович	Горьковский политехнический институт (1989), Физико-энергетические установки	Профессор, д.т.н., профессор, стаж 32 года	Более 370 публикаций, в т.ч. Scopus, Web of Science, BAK

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Образование (вуз, год окончания, специальность)	Должность, ученая степень, звание. Стаж работы в данной или аналогичной должности, лет	Перечень основных научных и учебно- методических публикаций
2.	Былов Игорь Александрович	Высшее военно- морское инженерное училище им. Ф.Э. Дзержинского, (1986), Физико-энергетические установки	Доцент, к.т.н., стаж 5 лет	18 публикаций, в т.ч. Scopus, Web of Science, ВАК
3.	Демарев Иван Вячеславович	ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (2023), Ядерные реакторы и материалы	Ассистент, стаж 2 года	4 публикации ВАК
4.	Новиков Денис Ильич	ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (2021), Ядерные физика и технологии	Аспирант НГТУ, 4 год обучения, стаж 4 года	Более 50 публикаций, в т.ч. ВАК
5.	Самойлов Александр Максимович	ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (2023), Ядерные физика и технологии	Ассистент, стаж 2 года	Более 50 публикаций, в т.ч. ВАК
6.	Тарасова Наталья Павловна	Горьковский политехнический институт (1990), Физико-энергетические установки	Старший преподаватель, стаж 25 лет	Более 50 публикаций, в т.ч. Scopus, ВАК
7.	Хохлов Валерий Николаевич	Горьковский политехнический институт (1980), Физико-энергетические установки	Доцент, к.т.н., стаж 23 года	Более 30 публикаций, в т.ч. ВАК

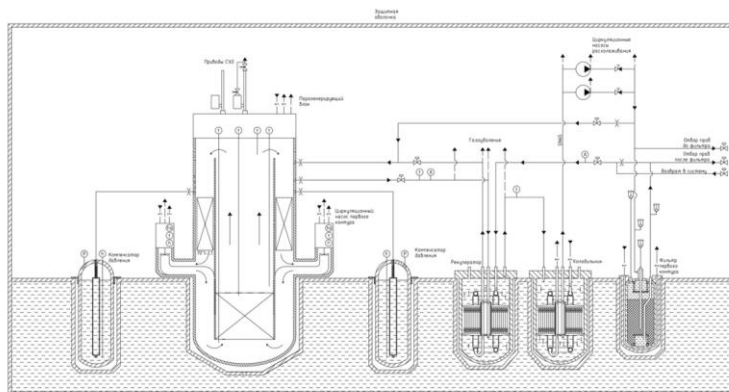
6. ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ И КЕЙСЫ, ПРЕДУСМОТРЕННЫЕ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

В ходе реализации программы рассматриваются практико-ориентированные задания по расчету и анализу нейтронно-физических и теплогидравлических параметров, конструктивных характеристик судовой ЯЭУ.

Примеры практических заданий

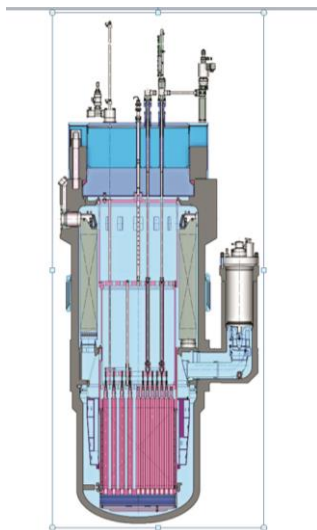
Практическая работа № 1 по модулю 1 «Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ»: Эволюция гражданских судовых РУ. Общие характеристики и принципиальная схема РУ РИТМ-200.

Краткое описание работы: назначение, принцип действия реакторной установки РИТМ-200, показать и пояснить на схеме, приведенной ниже, основные элементы принципиальной схемы реакторной установки РИТМ-200.



Практическая работа № 2 по модулю 1 «Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ»: Система первого контура: основной контур циркуляции теплоносителя первого контура, система компенсации давления, система очистки и расхолаживания. Назначение, характеристики, состав оборудования, режимы работы, правила эксплуатации и хранения.

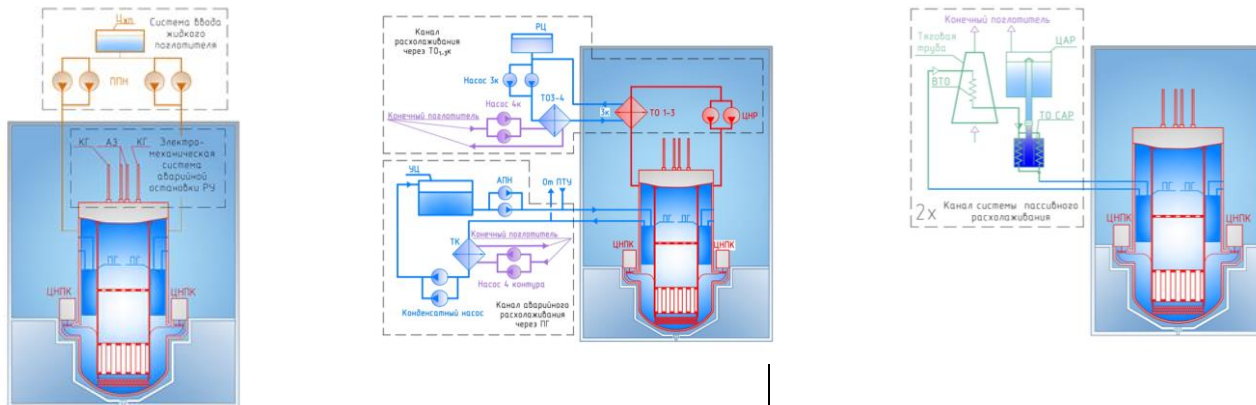
Краткое описание работы: назначение и принцип действия основного контура циркуляции, показать и пояснить на схеме, приведенной ниже, элементы основного контура циркуляции.



Практическая работа № 3 по модулю 1 «Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ»: Система первого контура: основной контур циркуляции теплоносителя первого контура, система компенсации давления, система очистки и

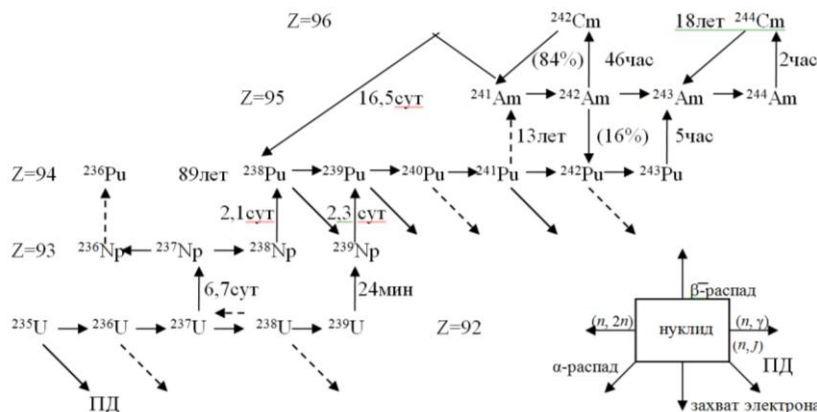
расхолаживания. Назначение, характеристики, состав оборудования, режимы работы, правила эксплуатации и хранения.

Краткое описание работы: назначение, принцип действия реакторной установки РИТМ-200, показать и пояснить на схемах, приведенных ниже, основные элементы, оборудование и системы реакторной установки РИТМ-200, принципы обеспечения ее безопасности.



Практическая работа № 1 по модулю 2 «Атомные энергетические установки судов ледового плавания»: контролируемая ядерная реакция.

Краткое описание работы: показать и пояснить на схеме, приведенной ниже процессы образования важнейших нуклидов в уран-плутониевом цикле.

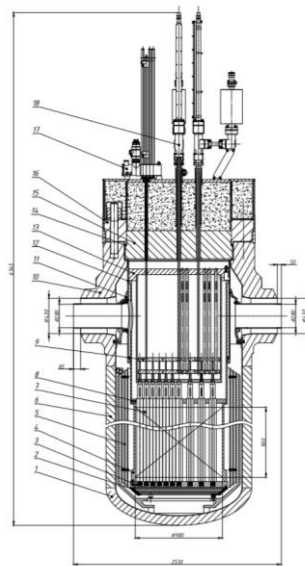


Практическая работа № 2 по модулю 2 «Атомные энергетические установки судов ледового плавания»: классификация ядерных реакторов.

Краткое описание работы: перечислить основные классы ядерных реакторов, особенности их конструкции и эксплуатации, область применения, достоинства, недостатки.

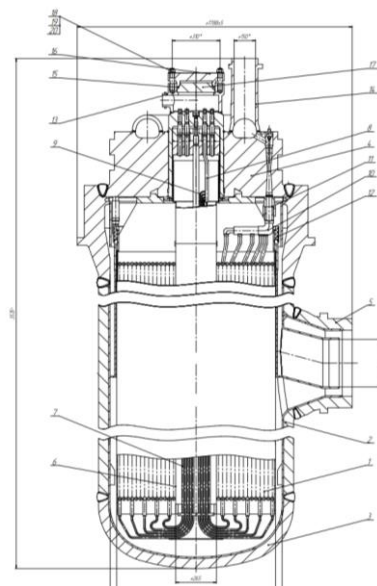
Практическая работа № 3 по модулю 2 «Атомные энергетические установки судов ледового плавания»: корпус реактора, крышка реактора, их соединение и уплотнение.

Краткое описание работы: показать на приведенном рисунке элементы конструкции корпуса и крышки реактора, способ их соединения и уплотнения. Показать схему движения теплоносителя.



Практическая работа № 4 по модулю 2 «Атомные энергетические установки судов ледового плавания»: корпус реактора, крышка реактора, их соединение и уплотнение.

Краткое описание работы: показать на приведенной схеме элементы конструкции парогенератора.



Практическая работа № 1 по модулю 3 «Обеспечение безопасности судовых ядерных энергетических установок»: основные принципы обеспечения безопасности.

Краткое описание работы: перечислите основные барьеры безопасности и покажите их на рисунке

среды. Определить величину коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции около тел простой формы (труба, пластина и т.д.)

Практическая работа № 3 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: определение толщины многослойной теплоизоляции.

Краткое описание работы: определить требуемую толщину двухслойной теплоизоляции (и каждого из слоев отдельно), выполненной в виде слоя футеровки и теплоизоляционного покрытия. Толщины определяются на основании требований по температуре применения теплоизоляционного покрытия.

Практическая работа № 4 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: определение коэффициента теплопередачи для простого теплообменника коаксиального типа (труба в трубе).

Краткое описание работы: рассчитать коэффициент теплопередачи для теплообменника типа «труба в трубе». В качестве обменивающихся теплом сред принимаются вода и воздух с заданными параметрами. Расчетом показать, каким образом можно интенсифицировать процесс теплопередачи.

Практическая работа № 5 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: расчёт теплообменника.

Краткое описание работы: определить требуемую величину поверхности теплообмена для кожухотрубного теплообменника типа «труба в трубе» и конечную температуру рабочего тела по известным: расходам рабочего тела и теплоносителя, начальным температурам рабочего тела и теплоносителя, конечной температуре теплоносителя и давлениям обеих сред. Потерями давления пренебречь.

Практическая работа № 6 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: построение гидравлической характеристики простого трубопровода.

Краткое описание работы: построить гидравлическую характеристику простого трубопровода конечной длины с местным сопротивлением в диапазоне чисел Рейнольдса от 0 до начала автомодельной области.

Практическая работа № 7 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: определение ядерных концентраций материалов активной зоны.

Краткое описание работы: рассчитать ядерную концентрацию элементов, входящих в состав гомогенной активной зоны реактора по известной геометрии тепловыделяющих сборок и составу активной зоны.

Практическая работа № 8 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: расчет макроскопического сечения взаимодействия.

Краткое описание работы: для предыдущей задачи произвести расчёт макроскопических сечений взаимодействия. Микроскопические сечения, требуемые для расчета, принимаются в соответствии с табличными данными.

Практическая работа № 9 по модулю 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»: расчёт коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде.

Краткое описание работы: произвести расчет коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде по формуле четырех сомножителей.

Практическая работа № 1 по модулю 5 «Парогенераторы и теплообменники»: расчет температурных напоров

Краткое описание работы: на основании характеристик танкера и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет температурных напоров и построить график температурных напоров.

1. Введение

Проектируемый парогенератор (ПГ) входит в состав ядерной энергетической установки (ЯЭУ) (всего 4 ПГ), тепловая схема которой рассчитана применительно к использованию на танкере со следующими основными характеристиками [1]:

1. Мощность на винтах $N_e = 35$ МВт.
2. Начальные параметры пара (на выходе из ПГ):
давление $p_{пе} = 3,2$ Мпа, температура $t_{пе} = 315$ °С.
3. Давление пара в конденсаторе $p_x = 5$ кПа.
4. Три ступени регенеративного подогрева:
- Условно-смесительная
- Смесительная (деаэратор)
- Поверхностная
5. Давление в деаэраторе $p_d = 0,255$ Мпа.

В качестве основного прототипа принят ПГ-28с.

2. Принцип работы ПГ-28с.

Теплоноситель 1 контура (вода высокой чистоты под давлением) подается в ПГ через внутренний канал главного патрубка, по кольцевому зазору между корпусом и разделительной обечайкой поднимается в верхнюю полость ПГ, затем опускается вниз, омывая снаружи трубную систему и отдавая тепло теплоносителю 2 контура. После трубной системы среда 1 контура по кольцевому зазору между корпусом и обечайкой змеевиков поднимается вверх и через кольцевой канал главного патрубка отводится из ПГ.

Питательная вода через патрубок Ду65 подается в питательную камеру, раздается по 20 коллекторам дроссельных пакетов, по дроссельным трубам $6 \times 1,5$ мм и питательным трубам $10 \times 1,5$ мм и поступает в трубы $22 \times 2,5$ мм. В трубах $22 \times 2,5$ мм питательная вода нагревается, испаряется, затем в виде перегретого пара из паросборных коллекторов секций поступает в торовый коллектор крышки и через патрубок Ду150 отводится из ПГ.

3. Краткое описание конструкций и принцип работы

3.1. Парогенератор ПГ-28с – вертикальный рекуперативный теплообменник со змеевиковой теплопередающей поверхностью из титановых сплавов и принудительной циркуляцией рабочих сред.

Движение рабочих сред – противоточное:

- теплоноситель 1 контура (вода под давлением) движется в межтрубном пространстве сверху вниз;
- теплоноситель 2 контура (питательная вода – пароводяная смесь – перегретый пар) движется внутри труб снизу вверх.

По типу циркуляции теплоносителя 2 контура парогенератор ПГ-28с – прямоточный.

В режимах расхолаживания РУ циркуляция теплоносителя 1 контура – принудительная и естественная при принудительной или естественной подаче питательной воды в ПГ.

3.2. ПГ-28с состоит из:

- прочно плотного корпуса с главным патрубком типа «труба в трубе» для подвода-отвода теплоносителя 1 контура и узлами крепления ПГ на баке МВЗ;
- внутреннего устройства, включающего крышку ПГ с узлами подвода-отвода рабочего тела 2 контура и трубную систему змеевикового типа с дроссельными пакетами.

3.3. Трубная система выполнена в виде сборки 15 цилиндрических многозаходных змеевиков из труб $22 \times 2,5$ мм. Количество труб $22 \times 2,5$ мм в трубной системе – 87. Дистанционирование змеевиков производится с помощью дистанционирующих полос, устанавливаемых при навивке змеевиков групповым методом. Снаружи змеевики окружены цилиндрической обечайкой.

Для удаления газа из верхней части трубной системы и повышения теплоотвода в ПГ при аварийной разгерметизации 1 контура («большая неотсекаемая течь») в наружной обечайке трубой системы выполнены 8 отверстий диаметром 5 мм, равномерно расположенных по окружности на расстоянии 160 мм ниже оси главного патрубка.

По полости 2 контура трубная система разделена на 20 автономных секций. Дроссельные пакеты выполнены из труб $6 \times 1,5$ мм и $10 \times 1,5$ мм и предназначены для входного шайбования каждой парогенерирующей трубы $22 \times 2,5$ мм с целью обеспечения гидродинамически устойчивой работы ПГ по 2 контуру.

В крышке ПГ выполнены 20 вертикальных паровых каналов, объединенных в общий торовой коллектор с патрубком Ду65 для подвода питательной воды.

4. Расчет температурных напоров

Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Формула или источник	Значение		Примечания
					I контур	II контур	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Паропроизводительность	$D_{гв}$	кг/с	Из [1] D/4, D=30		12,62	
2	Температура и давление перегретого пара	$t_{гв}$ $p_{гв}$	$^{\circ}\text{C}$ МПа	Из [1] Из [1]		315 3,2	
3	Принятые значения гидравлических потерь ПГ по 2 контуру	Δp_2^T	МПа	По прототипу ПГ-28с		1	С учетом дросселирования
4	Температура и давление питательной воды	$p_{гв}$ $t_{гв}$	МПа $^{\circ}\text{C}$	$p_{гв} + \Delta p_2^T$ $t_{гв}(p_{гв}, i_{гв})$, $i_{гв} = i_{1гв}$ ($P_d = 0,141$ МПа)		4,2 110	
5	Теплофизические свойства перегретого пара	$i_{пе}$ $\rho_{пе}$ $P_{гпе}$	кДж/кг кг/м ³ -	Таблицы [2]		3026,26 12,76 1,029	
6	Теплофизические свойства питательной воды	$i_{пв}$ $\rho_{пв}$ $P_{гпв}$	кДж/кг кг/м ³ -	Таблицы [2]		464,1 952,7 1,578	
7	Принятое значение гидравлических потерь пароперегревательного участка	$\Delta p_{гв}$	МПа	По предварительным расчетам		0,1	
8	Давление насыщения	p_s	МПа	$p_{гв} + \Delta p_{гв}$		3,3	
9	Параметры воды на линии насыщения	t_s i_s' i_s'' r ρ_s' ρ_s''	$^{\circ}\text{C}$ кДж/кг кДж/кг кДж/кг кг/м ³ кг/м ³	Таблицы [2]		239,2 1033,72 2803 1812 814,49 16,51	
10	Тепловая мощность экономайзерного участка	$Q_{экон}$	кВт	$D_{гв}(i' - i_{гв})$		7188,5	
11	Тепловая мощность испарительного участка	$Q_{исп}$	кВт	$D_{гв}(i'' - i')$		22866,99	
12	Тепловая мощность перегревательного участка	$Q_{гв}$	кВт	$D_{гв}(i_{гв} - i'')$		2817,49	
13	Средняя температура греющего водяного теплоносителя	\bar{T}	$^{\circ}\text{C}$	$0,5(T_{гв} + T_{ох})$	315		
14	Средняя теплоемкость греющего водяного теплоносителя	\bar{c}_p	кДж/кг $^{\circ}\text{C}$	Давление в I контуре 18 МПа.	5,96		

15	Массовый расход теплоносителя I контура	G	кг/с	$\frac{Q_{\text{экон}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{теп}}}{\bar{c}_p \cdot \Delta T_i}, \Delta T_i = 20^\circ\text{C}$	183,9		
16	Температура теплоносителя на входе в испарительный участок	$T_{\text{исп}}$	$^\circ\text{C}$	$T_{\text{ex}} - \frac{Q_{\text{теп}}}{\bar{c}_p G}$	327,4		
17	Температура теплоносителя на входе в экономайзерный участок	$T_{\text{экон}}$	$^\circ\text{C}$	$T_{\text{исп}} - \frac{Q_{\text{исп}}}{\bar{c}_p G}$	306,6		
18	Среднелогарифмический напор экономайзерного участка	$\overline{\Delta t_{\text{экон}}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\text{ex}} - \Delta t_{\text{исп}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{ex}}}{\Delta t_{\text{исп}}}\right)}$ $\Delta t_{\text{ex}} = T_{\text{ex}} - t_{\text{теп}}$ $\Delta t_{\text{исп}} = T_{\text{экон}} - t_s$	118,27		
19	То же для испарительного участка	$\overline{\Delta t_{\text{исп}}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\text{ex}} - \Delta t_{\text{исп}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{ex}}}{\Delta t_{\text{исп}}}\right)}$ $\Delta t_{\text{ex}} = T_{\text{ex}} - t_s$ $\Delta t_{\text{исп}} = T_{\text{экон}} - t_s$	77,33		

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8
20	То же для пароперегревательного участка	$\overline{\Delta t_{\text{теп}}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\text{ex}} - \Delta t_{\text{исп}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{ex}}}{\Delta t_{\text{исп}}}\right)}$ $\Delta t_{\text{ex}} = T_{\text{ex}} - t_s$ $\Delta t_{\text{исп}} = T_{\text{экон}} - t_s$	41,33		
21	Принятое значение $x_{\text{кр}}$ на испарительном участке	$x_{\text{кр}}$	-	В соответствии с [3].		0,5	
22	Мощность испарительного участка с пузырьковым кипением	$Q_{\text{исп}}^{\text{пуз}}$	кВт	$x_{\text{кр}} Q_{\text{исп}}$	11433,49		
23	Мощность испарительного участка с ухудшенной теплоотдачей	$Q_{\text{исп}}^{\text{ухудш}}$	кВт	$Q_{\text{исп}} - Q_{\text{исп}}^{\text{пуз}}$	11433,49		
24	Температура теплоносителя на границе участков	$T_1^{\text{пуз}}$	$^\circ\text{C}$	$0,5(T_{\text{исп}} + T_{\text{экон}})$	316,99		
25	Соответствующие температурные напоры	$\overline{\Delta t_{\text{исп}}^{\text{пуз}}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\text{ex}} - \Delta t_{\text{исп}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{ex}}}{\Delta t_{\text{исп}}}\right)}$ $\Delta t_{\text{ex}} = T_1^{\text{пуз}} - t_s$ $\Delta t_{\text{исп}} = T_{\text{экон}} - t_s$	72,45		
		$\overline{\Delta t_{\text{исп}}^{\text{ухудш}}}$	$^\circ\text{C}$	$\frac{\Delta t_{\text{ex}} - \Delta t_{\text{исп}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{ex}}}{\Delta t_{\text{исп}}}\right)}$ $\Delta t_{\text{ex}} = T_{\text{исп}} - t_s$ $\Delta t_{\text{исп}} = T_1^{\text{пуз}} - t_s$	82,90		

По рассчитанным температурам построим график температурных напоров

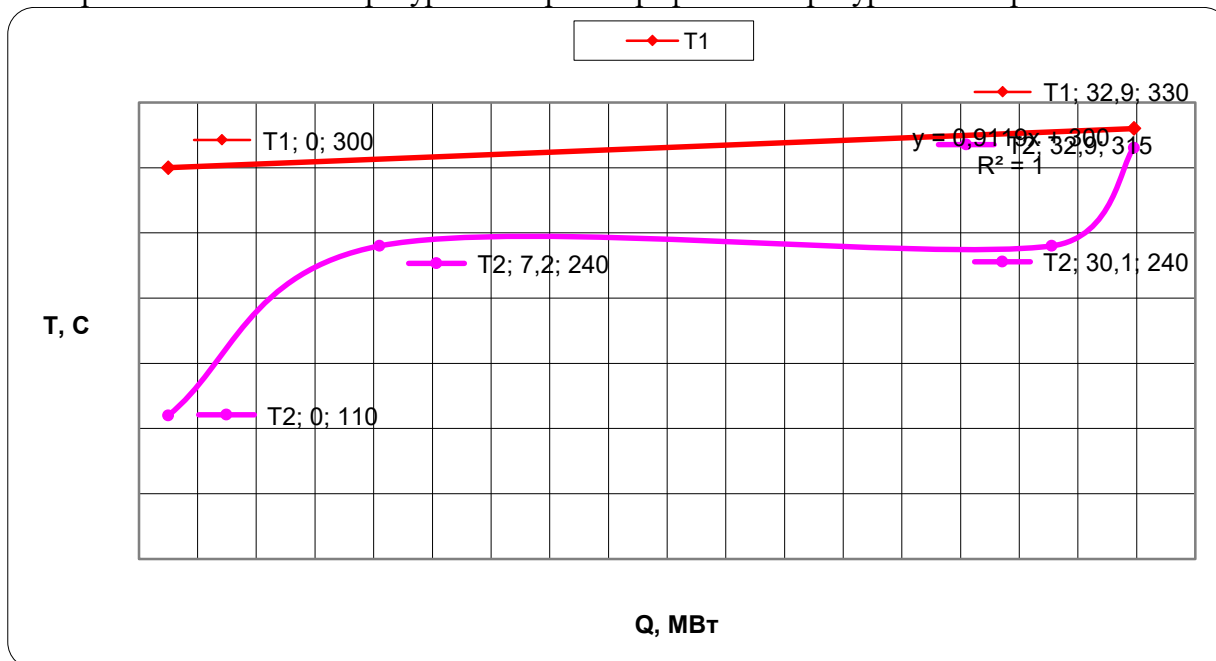


Рис. 1. График температурных напоров

Практическая работа № 2 по модулю 5 «Парогенераторы и теплообменники»: расчет конструктивных характеристик

Краткое описание работы: на основании характеристик танкера и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести выбор и расчет конструктивных характеристик ПГ.

1. Введение

Проектируемый парогенератор (ПГ) входит в состав ядерной энергетической установки (ЯЭУ) (всего 4 ПГ), тепловая схема которой рассчитана применительно к использованию на танкере со следующими основными характеристиками [1]:

6. Мощность на винтах $N_e = 35$ МВт.
7. Начальные параметры пара (на выходе из ПГ):
давление $p_{пе} = 3,2$ Мпа, температура $t_{пе} = 315$ °С.
8. Давление пара в конденсаторе $p_x = 5$ кПа.
9. Три ступени регенеративного подогрева:
 - Условно-смесительная
 - Смесительная (деаэратор)
 - Поверхностная
10. Давление в деаэраторе $p_d = 0,255$ Мпа.

В качестве основного прототипа принят ПГ-28с.

2. Принцип работы ПГ-28с.

Теплоноситель 1 контура (вода высокой чистоты под давлением) подается в ПГ через внутренний канал главного патрубка, по кольцевому зазору между корпусом и разделительной обечайкой поднимается в верхнюю полость ПГ, затем опускается вниз, омывая снаружи трубную систему и отдавая тепло теплоносителю 2 контура. После трубной системы среда 1 контура по кольцевому зазору между корпусом и обечайкой змеевиков поднимается вверх и через кольцевой канал главного патрубка отводится из ПГ.

Питательная вода через патрубок Ду65 подается в питательную камеру, раздается по 20 коллекторам дроссельных пакетов, по дроссельным трубам $6 \times 1,5$ мм и питательным трубам $10 \times 1,5$ мм и поступает в трубы $22 \times 2,5$ мм. В трубах $22 \times 2,5$ мм питательная вода нагревается, испаряется, затем в виде перегретого пара из паросборных коллекторов секций поступает в торовый коллектор крышки и через патрубок Ду150 отводится из ПГ.

3. Краткое описание конструкций и принцип работы

3.1. Парогенератор ПГ-28с – вертикальный рекуперативный теплообменник со змеевиковой теплопередающей поверхностью из титановых сплавов и принудительной циркуляцией рабочих сред.

Движение рабочих сред – противоточное:

- теплоноситель 1 контура (вода под давлением) движется в межтрубном пространстве сверху вниз;
- теплоноситель 2 контура (питательная вода – пароводяная смесь – перегретый пар) движется внутри труб снизу вверх.

По типу циркуляции теплоносителя 2 контура парогенератор ПГ-28с – прямоточный.

В режимах расхолаживания РУ циркуляция теплоносителя 1 контура – принудительная и естественная при принудительной или естественной подаче питательной воды в ПГ.

3.2. ПГ-28с состоит из:

- прочно плотного корпуса с главным патрубком типа «труба в трубе» для подвода-отвода теплоносителя 1 контура и узлами крепления ПГ на баке МВЗ;
- внутреннего устройства, включающего крышку ПГ с узлами подвода-отвода рабочего тела 2 контура и трубную систему змеевикового типа с дроссельными пакетами.

3.3. Трубная система выполнена в виде сборки 15 цилиндрических многозаходных змеевиков из труб $22 \times 2,5$ мм. Количество труб $22 \times 2,5$ мм в трубной системе – 87. Дистанционирование змеевиков производится с помощью дистанционирующих полос, устанавливаемых при навивке змеевиков групповым методом. Снаружи змеевики окружены цилиндрической обечайкой.

Для удаления газа из верхней части трубной системы и повышения теплоотвода в ПГ при аварийной разгерметизации 1 контура («большая неотсекаемая течь») в наружной обечайке трубной системы выполнены 8 отверстий диаметром 5 мм, равномерно расположенных по окружности на расстоянии 160 мм ниже оси главного патрубка.

По полости 2 контура трубная система разделена на 20 автономных секций. Дроссельные пакеты выполнены из труб $6 \times 1,5$ мм и $10 \times 1,5$ мм и предназначены для входного шайбования каждой парогенерирующей трубы $22 \times 2,5$ мм с целью обеспечения гидродинамически устойчивой работы ПГ по 2 контуру.

В крышке ПГ выполнены 20 вертикальных паровых каналов, объединенных в общий торовый коллектор с патрубком Ду65 для подвода питательной воды.

4. Конструктивные характеристики

Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Формула или источник	Значение		Примечания
					I контур	II контур	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Наружный диаметр парогенерирующих трубок	$d_{нар}$	м	Принятый по прототипу ПГ-28с размер трубок $22 \times 2,5$		0,022	
2	Внутренний диаметр парогенерирующих трубок	$d_{вн}$	м	$d_{нар} - 2 \cdot 0,0025$		0,017	
3	Поперечный шаг навивки змеевиков	S_1	м	По прототипу ПГ-28с		0,027	
4	Продольный шаг навивки змеевиков	S_2	м	По прототипу ПГ-28с		0,027	
5	Скорость перегретого пара в трубах	$w_{пе}$	м/с	По прототипу ПГ-28с, при допустимой ([4], с245) $[w_{пе}] = 50 \frac{м}{с}$		50	
6	Плотность перегретого пара	$\rho_{пе}$	кг/м ³	Таблица 1.		12,76	
7	Количество параллельно включенных трубок	n	шт.	$\frac{D_{не}}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot w_{пе} \cdot \rho_{пе}}$		87	
8	Количество цилиндрических змеевиков	z	шт.	По прототипу ПГ-28с		15	
9	Наружный диаметр центральной трубы	$D_{пр}$	м	По прототипу ПГ-28с	0,265		
10	Внутренний диаметр обечайки трубной системы	$D_{вн}$	м	$D_{пр} + 2zS_1$	1,020		
11	Площадь проходного сечения по I контуру	f_1	м ²	$0,785(D_{вн}^2 - D_{пр}^2) - \pi \frac{D_{вн} + D_{пр}}{2} z d_{нар}$	0,096		

Значения эквивалентных диаметров:

1 контур – $d_{нар}$ (при поперечном обтекании), 2 контур – $d_{вн}$.

Высота цилиндрической навивки определяется общей площадью поверхности теплопередачи

$$F_{пе} = F_{экон} + F_{исп}^{пуз} + F_{исп}^{ухуди} + F_{пе}, \quad (1)$$

Расчет слагаемых входящих в (1) сведен в таблицы.

Практическая работа № 3 по модулю 5 «Парогенераторы и теплообменники»

Краткое описание работы: на основании характеристик танкера и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет площадей поверхности теплопередачи экономайзерного участка.

1. Введение

Проектируемый парогенератор (ПГ) входит в состав ядерной энергетической установки (ЯЭУ) (всего 4 ПГ), тепловая схема которой рассчитана применительно к использованию на танкере со следующими основными характеристиками [1]:

11. Мощность на винтах $N_e = 35$ МВт.
12. Начальные параметры пара (на выходе из ПГ):
давление $p_{пе} = 3,2$ Мпа, температура $t_{пе} = 315$ °С.
13. Давление пара в конденсаторе $p_x = 5$ кПа.
14. Три ступени регенеративного подогрева:
- Условно-смесительная
- Смесительная (деаэратор)
- Поверхностная
15. Давление в деаэраторе $p_d = 0,255$ Мпа.

В качестве основного прототипа принят ПГ-28с.

2. Принцип работы ПГ-28с.

Теплоноситель 1 контура (вода высокой чистоты под давлением) подается в ПГ через внутренний канал главного патрубка, по кольцевому зазору между корпусом и разделительной обечайкой поднимается в верхнюю полость ПГ, затем опускается вниз, омывая снаружи трубную систему и отдавая тепло теплоносителю 2 контура. После трубной системы среда 1 контура по кольцевому зазору между корпусом и обечайкой змеевиков поднимается вверх и через кольцевой канал главного патрубка отводится из ПГ.

Питательная вода через патрубок Ду65 подается в питательную камеру, раздается по 20 коллекторам дроссельных пакетов, по дроссельным трубам $6 \times 1,5$ мм и питательным трубам $10 \times 1,5$ мм и поступает в трубы $22 \times 2,5$ мм. В трубах $22 \times 2,5$ мм питательная вода нагревается, испаряется, затем в виде перегретого пара из паросборных коллекторов секций поступает в торовый коллектор крышки и через патрубок Ду150 отводится из ПГ.

3. Краткое описание конструкций и принцип работы

3.1. Парогенератор ПГ-28с – вертикальный рекуперативный теплообменник со змеевиковой теплопередающей поверхностью из титановых сплавов и принудительной циркуляцией рабочих сред.

Движение рабочих сред – противоточное:

- теплоноситель 1 контура (вода под давлением) движется в межтрубном пространстве сверху вниз;
- теплоноситель 2 контура (питательная вода – пароводяная смесь – перегретый пар) движется внутри труб снизу вверх.

По типу циркуляции теплоносителя 2 контура парогенератор ПГ-28с – прямоточный.

В режимах расхолаживания РУ циркуляция теплоносителя 1 контура – принудительная и естественная при принудительной или естественной подаче питательной воды в ПГ.

3.2. ПГ-28с состоит из:

- прочно плотного корпуса с главным патрубком типа «труба в трубе» для подвода-отвода теплоносителя 1 контура и узлами крепления ПГ на баке МВЗ;
- внутреннего устройства, включающего крышку ПГ с узлами подвода-отвода рабочего тела 2 контура и трубную систему змеевикового типа с дроссельными пакетами.

3.3. Трубная система выполнена в виде сборки 15 цилиндрических многозаходных змеевиков из труб $22 \times 2,5$ мм. Количество труб $22 \times 2,5$ мм в трубной системе – 87. Дистанционирование змеевиков производится с помощью дистанционирующих полос, устанавливаемых при навивке змеевиков групповым методом. Снаружи змеевики окружены цилиндрической обечайкой.

Для удаления газа из верхней части трубной системы и повышения теплоотвода в ПГ при аварийной разгерметизации 1 контура («большая неотсекаемая течь») в наружной обечайке трубой системы выполнены 8 отверстий диаметром 5 мм, равномерно расположенных по окружности на расстоянии 160 мм ниже оси главного патрубка.

По полости 2 контура трубная система разделена на 20 автономных секций. Дроссельные пакеты выполнены из труб $6 \times 1,5$ мм и $10 \times 1,5$ мм и предназначены для входного шайбования каждой парогенерирующей трубы $22 \times 2,5$ мм с целью обеспечения гидродинамически устойчивой работы ПГ по 2 контуру.

В крышке ПГ выполнены 20 вертикальных паровых каналов, объединенных в общий торовый коллектор с патрубком Ду65 для подвода питательной воды.

4. Расчет площади поверхности теплопередачи экономайзерного участка

Таблица 1.

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Формула или источник	Значение	
					I контур	II контур
1	2	3	4	5	6	7
1	Расчетная мощность участка	$Q_{экон}$	кВт	Таблица 1	7188,5	
2	Среднелогарифмический напор экономайзерного участка	$\overline{\Delta t_{экон}}$	$^{\circ}\text{C}$	Таблица 1	118,27	
3	Толщина стенки трубы	$\delta_{ст}$	м	$0,5(d_{нар} - d_{вн})$		0,0025
4	Коэффициент теплопроводности материала стенки	$\lambda_{ст}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	По прототипам для титанового сплава ПТ-7М ([5], с.122)		15
5	Средняя по участку температура питательной воды	t_{φ}	$^{\circ}\text{C}$	$0,5(t_s + t_{гв})$		174,6
6	Теплофизические свойства питательной воды при средней температуре и давлении $p_{пв} = 3,8 \text{ МПа}$	$\rho_{пв}$ $\nu_{пв}$ $\lambda_{пв}$ $\text{Pr}_{пв}$	кг/м^3 $\text{м}^2/\text{с}$ $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ -	Таблицы [2]		894,83 $1,74 \cdot 10^{-7}$ 0,678 1,005
7	Скорость течения питательной воды внутри трубок	$w_{гв}$	м/с	$\frac{D_{пе}}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot n \cdot \rho}$		0,715
8	Средняя по участку температура греющего теплоносителя	T_{φ}	$^{\circ}\text{C}$	$0,5(T_{вх} + T_{экон})$	303,3	
9	Теплофизические свойства греющего теплоносителя при средней температуре и давлении $p_1 = 18 \text{ МПа}$	ρ_1 ν_1 λ_1 Pr_1	кг/м^3 $\text{м}^2/\text{с}$ $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ -	Таблицы [2]	724,5 $1,2 \cdot 10^{-7}$ 0,561 0,885	
10	Скорость обтекания трубчатки	w_t	м/с	$\frac{G}{\rho_t f_1}$	2,65	
11	Число Рейнольдса	$\text{Re} \cdot 10^{-6}$	-	$\frac{wd_{эжв}}{\nu}$	0,477	0,0698

12	Коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке при поперечном обтекании	α_1	$\frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$	$0,41 \frac{\lambda}{d_{нар}} Re^{0,6} Pr^{0,33}$	$2,54 \cdot 10^4$	
13	Коэффициент теплоотдачи от стенки к питательной воде	α_2	$\frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$	$0,023 \frac{\lambda}{d_{вн}} Re^{0,8} Pr^{0,43}$		$6,89 \cdot 10^3$
14	Термическое сопротивление теплопередачи	$R_{экон}$	$\frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$	$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	
15	Коэффициент теплопередачи	$K_{экон}$	$\frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$	$\frac{1}{R_{экон}}$	2848,97	
16	Площадь поверхности теплопередачи	$F_{экон}$	M^2	$\frac{Q_{экон}}{K_{экон} \Delta t_{экон}}$	21	

39. ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В ходе реализации программы по результатам ее освоения слушатели программы выполняют проект, при защите которого предъявляются критерии оценивания, показанные в таблице 9.

Таблица 9 – Критерии оценивания результата обучения по программе

Код и наименование трудовых функций	Критерии оценивания результатов обучения по программе			
	Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ТФ А/01.6 ТФ А/02.6 ТФ А/03.6	Изложение учебного материала бессистемное, неполное, не усвоены основные положения физики ядерных реакторов и процессов теплообмена, фрагментарные знания состава, назначения и принципов действия систем и основного оборудования ЯЭУ, отсутствует понимание основных принципов, методов и средств проведения расчетных и экспериментальных исследований, что препятствует усвоению последующего материала	Частично усвоены основные положения физики ядерных реакторов и процессов теплообмена, частичное знание состава, назначения и принципов действия систем и основного оборудования ЯЭУ, частичное понимание основных принципов, методов и средств проведения расчетных и экспериментальных исследований. Допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя. Затруднения при проведении анализа и оценки результатов расчетных и экспериментальных исследований.	Усвоены основные положения физики ядерных реакторов и процессов теплообмена, знает состав, назначение и принципы действия систем и основного оборудования ЯЭУ, понимает основные принципы, методы и средства проведения расчетных и экспериментальных исследований. Допускаются отдельные несущественные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Представляет основные задачи профессиональной деятельности, имеет навык в постановке целей и выбора оптимальных способов их достижения. Имеет глубокие знания теоретического материала и навыки практического применения полученных знаний при проведении расчетных и экспериментальных исследований; изложение полученных знаний полное, системное; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые при собеседовании.

39. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда:

1. Кузнецов В.А. Судовые ядерные энергетические установки. Конструкция и особенности эксплуатации: Учебник для вузов / В.А. Кузнецов. – Л. : Судостроение, 1989. – 252 с.
2. Шатров М.Г. Транспортная энергетика : Учебник для вузов / М.Г. Шатров [и др.]. – М. : Академия, 2014. – 269 с.
3. Африкантов И.И. Судовые атомные паропроизводительные установки (основы проектирования) / И.И. Африкантов, Ф.М. Митенков; под ред. Н.М. Синева. – Л. : Судостроение, 1965. – 376 с.
4. Шаманов Н.П. Судовые ядерные паропроизводящие установки / Н.П. Шаманов, Н.Н. Пейч, А.Н. Дядик. – Л. : Судостроение, 1990. – 368 с.
5. Деев В.И. Основы расчета судовых ЯЭУ: Учеб.пособие / В.И. Деев, Н.В. Щукин, А.Л. Черезов; Под общей редакцией проф. В.И. Деева. – М. : НИЯУ МИФИ, 2012 – 256 с.
6. Саркисов А.А. Инженерные основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов: учебное пособие для вузов / А.А. Саркисов, Л.Б. Гусев, Р.И. Калинин; под ред. Акад. РАН А.А. Саркисова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2011. – 549 с.
7. Проскуряков К.Н. Ядерные энергетические установки: учебное пособие для вузов / К.Н. Проскуряков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 445 с.
8. Савельев И.В. Курс общей физики: В 3-х т. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев. – 13-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2005. – 320 с.
9. Ручкин Ю.Н. Судовые энергетические установки и их элементы: Учеб. Пособие / Ю.Н. Ручкин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2008 – 158 с.
10. Артёмов Г.А. Судовые энергетические установки / Г.А. Артёмов [и др.] – Л.:Судостроение, 1987.– 480 с.
11. Ракобольская И.В. Ядерная физика / И.В. Ракобольская. – М. : Московский университет, 1971. – 206 с.
12. Плотников П.Г. Ядерная физика : Учебное пособие / П.Г. Плотников – М : Лаборатория знаний, 2014 – 495 с.
13. Мухин И.В. Экспериментальная ядерная физика : Учебное пособие. В 3 томах. Том 3. / И.В. Мухин. – М. : Лань, 2021. – 352 с.
14. Сухарев Ю.П. Физика ядерных реакторов деления : Учеб. Пособие / Ю.П. Сухарев; под ред. С.М. Дмитриева. – Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2012. – 316 с.
15. Основы теории и метода расчета ядерных энергетических реакторов : Учеб.пособие / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать [и др.]. – 2-е изд., перераб. И доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
16. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы : Учеб.для вузов / А.Н. Климов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
17. Власичев Г.Н. Физика ядерных реакторов : Учеб.пособие / Г.Н.Власичев. – Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2008. – 106 с.
18. Дмитриев С.М. Краткий курс тепломассобмена : Учеб.пособие / С.М. Дмитриев, А.Е. Хробостов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2008. – 144 с.
19. Петухов Б.С. Теплообмен в ядерных энергетических установках : Учеб.пособие / Б.Н. Петухов [и др.]. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 548 с.
20. Кириллов П.Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках / П.Л. Кириллов, Г.П. Богословская. 2-е изд., перераб. – М. : ИздАТ, 2008. – 256 с.
21. Кудинов В.А. Техническая термодинамика и теплопередача : Учебник для бакалавров / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.Ф. Стефанюк. – 2-е изд., перераб и доп.– М. : Юрайт, 2013. – 566 с.

22. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – 2-е изд., стер.– М. : Энергия, 1977. – 344 с.
23. Исаченко В.П. Теплопередача : Учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – 4-е изд., перераб и доп.– М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.
24. Аношкин Ю.И. Теплообменные процессы в ЯЭУ: Учеб.пособие / Ю.И. Аношкин, А.В. Дунцев; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2015. – 138 с.
25. Аношкин Ю.И. Расчет тепловой схемы ПТУ судовой ядерной энергетической установки: Учеб.пособие / Ю.И. Аношкин; НГТУ. – Н.Новгород, 2004. – 68 с.
26. Лапшин Р.М. Теплогидродинамические процессы генерации пара в ЯЭУ : Учеб.пособие / Р.М. Лапшин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2012. – 99 с.

39. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ

Научно-техническая библиотека НГТУ:

<https://www.nntu.ru/structure/view/podrazdeleniya/nauchno-tehnicheskaya-biblioteka/resursy>

Электронный каталог библиотеки: <https://library.nntu.ru/megapro/web>

Перечень информационных справочных систем:

1. «Консультант студента» [В Интернете]. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/>
2. «Лань» [В Интернете]. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>
3. «Юрайт» [В Интернете]. Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>

Учебные аудитории для проведения занятий по программе, оснащены оборудованием и техническими средствами обучения

В таблице 10 перечислены:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;
- помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые должны оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в систему <https://odin.study/connect>.

Таблица 10 – Оснащенность аудиторий и помещений для проведения лекций, практических занятий и самостоятельной работы слушателей

№	Наименование помещений для проведения занятий	Оснащенность помещений для проведения занятий
1	Ауд. № 5201 Мультимедийная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации; ул Минина, д. 28Л	Оснащенность оборудованием и техническими средствами обучения: Доска меловая. Ноутбук HP Intel® Core™ i3-5005U CPU @ 2.00GHz 2.00 GHz 8 Gb; Мультимедийный проектор стационарный потолочный Epson EB-X500; Экран. Программное обеспечение: Microsoft Windows 10 (подписка DreamSpark Premium, договор № 0509/KMP от 15.10.18) Dr.Web (с/н GMN9-DSLH-G4U1-LW6H от 11.05.2023)

		MS Office 2010 MS Open License, 60853088, Academic Adobe Acrobat Reader DC-Russian (Проприетарное ПО) 7-zip (Свободное ПО, GNU LGPL) OpenOffice.org 2.3.0 Professional, Sun Microsystems Inc. (свободное ПО) Google Chrome, версия 49.0.2623.87 (свободное ПО)
2	Ауд. № 5214 Информационно-образовательный центр для проведения лекционных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы; ул Минина, д. 28Л	Рабочее место – 28 Оснащенность оборудованием и техническими средствами обучения: Доска меловая; ПЭВМ – 14 шт. IRU на базе Intel™ Core™ i5 11400 2,6 GHz, 16 Гб ОЗУ, 480 SSD, РФ; Программное обеспечение: Microsoft Windows 10 (подписка DreamSpark Premium, договор № 0509/KMP от 15.10.18) Dr.Web (с/н GMN9-DSLH-G4U1-LW6H от 11.05.2023) Astra Linux (Orel) 2.12.432; P7 Офис (с/н 5260001439) Visual Studio 2010 (подписка MSDN AA Developer Original Membership, ID: 700493608, бессрочная); Adobe Acrobat Reader DC, версия 2015.010.20060, //get.adobe.com/reader, бесплатное ПО; Google Chrome, версия 49.0.2623.87, бесплатное ПО; MATLAB, версия R2008a, бесплатное ПО. Логос.ПреПост 5.3.21, Логос АэроГидро, ScientificView

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ПРОГРАММЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению программы

Программа реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися, включая проведение текущего контроля успеваемости, самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная, а также в электронной информационно-образовательной среде Odin.

При преподавании программы «Ядерные паропроизводящие установки», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

На лекциях, практических занятиях приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах,

что позволяет слушателям проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием современных информационных технологий, например, «Контур.Толк».

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится с учетом текущей успеваемости по выполненным практическим занятиям и (или) тестированию.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы программы. Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала.

Проводятся индивидуальные и групповые занятия с использованием отечественной платформы для видеоконференцсвязи «Контур.Толк».

Весь методический материал представлен в среде Odin.

10.3. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой программе. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной ранее.

Весь методический материал представлен в среде Odin.

10.4. Методические рекомендации по практической части программы

Для решения практических работ могут использоваться специализированные программы (например, Excel, Компас 3D – бесплатная версия для студентов). Весь методический материал по практическому курсу представлен в среде Odin.

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

11.1. Итоговая аттестация

Итоговая аттестация слушателей по Программе проводится в форме защиты выпускной аттестационной работы. Оценка выставляется по пятибалльной шкале. Итоговая аттестация проводится на основе принципов объективности и независимости оценки

качества подготовки слушателей. К итоговой аттестации по Программе допускаются слушатели, полностью выполнившие учебный план, не имеющие академической задолженности.

Выпускная аттестационная работа имеет следующую структуру:

1. **Введение**, в котором раскрывают актуальность темы (проблемы) и подчеркивают, что она имеет важное теоретическое и прикладное значение, формулируют цель и основные задачи работы, конкретизируют объект и предмет работы;

2. **Обзор по теме исследования**

3. **Основная часть работы**. Содержание основной части работы должно в полном объеме раскрывать тему, названия глав и параграфов. Оптимальной является такая структура работы, из которой не может быть изъят ни один ее элемент.

4. **Заключение**. В заключении работы автор должен подвести итоги и сформулировать основные результаты работы.

Защита проекта проводится с использованием электронных дистанционных технологий, слушатель докладывает основные положения проекта, отвечает на вопросы аттестационной комиссии.

После успешного завершения обучения по программе «Ядерные паропроизводящие установки» слушателю выдается диплом о профессиональной переподготовке с указанием нового вида профессиональной деятельности в области (сфере) использования ядерной энергетики и теплофизики.

Обучающемуся, не прошедшему итоговой аттестации или получившему на итоговой аттестации неудовлетворительные результаты, а также Обучающемуся, освоившему часть образовательной программы выдается справка об обучении или о периоде обучения.

11.2. Промежуточный контроль

Для оценки на промежуточном контроле могут быть задействованы следующие вопросы (или аналогичные им), используемые в тестах:

1) В чём сущность процесса теплопроводности?

- передача тепла через твёрдые предметы
- передача тепла в жидкости и газах
- передача тепла электро-магнитными волнами
- передача тепла в идеальном вакууме

2) Что такое температура?

- параметр только идеальных тел
- энергия гамма-квантов
- мера энергии хаотического движения молекул
- энергия связи атомов в кристаллической решётке

6) В чём сущность конвективного теплообмена?

- передача тепла через твёрдые предметы
- передача тепла в жидкости и газах
- передача тепла электро-магнитными волнами
- передача тепла от поверхности тела к жидкой среде

7) Какой бывает конвекция?

- только свободной
- только вынужденной
- свободной и вынужденной
- свободной, вынужденной, стационарной

8) Свободная конвекция обусловлена ...

- разностью плотностей частиц жидкости в гравитационном поле
- действием внешних сил
- наличием у частиц жидкости более одной степени свободы
- равенством плотности частиц жидкости в гравитационном поле

9) Вынужденная конвекция обусловлена ...

- разностью плотностей частиц жидкости в гравитационном поле
- действием внешних сил
- наличием у частиц жидкости только одной степени свободы
- наличием у частиц жидкости более одной степени свободы

10) Ламинарный режим течения характеризуется ...

- хаотичным движением частиц жидкости
- примерно одинаковой скоростью частиц по всему сечению канала
- слоистым движением частиц жидкости
- отсутствием «прилипшего» подслоя

11) С помощью чего происходит распространение теплоты при тепловом излучении?

- электромагнитных волн
- межмолекулярного взаимодействия
- вакуума
- упругих волн

12) Что такое конденсация?

- переход пара в жидкое или твердое состояние
- переход жидкости в газовое состояние
- процесс превращения жидкости в твердое состояние
- переход металлов в сверхпроводящее состояние

13) Пограничным слоем называется

- область течения вязкой теплопроводной жидкости, характеризующаяся малой толщиной и малым градиентом величины
- вязкий подслой
- область течения вязкой теплопроводной жидкости, характеризующаяся малой толщиной и большим градиентом величины
- область течения вязкой теплопроводной жидкости, характеризующаяся большой толщиной и большим градиентом величины

14). Какие теплообменники называются рекуперативными?

- В котором жидкости разделены стенкой
- В котором жидкости смешиваются
- В котором жидкости не смешиваются
- В котором поверхность теплообмена поочередно омывается холодной и горячей средой

15). К какому типу теплообменных аппаратов относятся башенные охладители (градирни), скрубберы и т.д.

- рекуперативного типа
- регенеративного типа
- с промежуточным теплоносителем
- смешительного типа

16). По какому закону изменяется вдоль поверхности нагрева температурный напор

- линейному
- квадратичному
- экспоненциальному
- по Бесселю

17) Единицей измерения коэффициента теплопередачи является:

- Вт
- Вт/м*к
- Вт/м
- Вт/м²*К

18). Коэффициент теплопередачи определяется как

- количество теплоты которое переходит в единицу времени от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности при разности температур между теплоносителями в 1 градус
- количество теплоты которое переходит в единицу времени от менее нагретого к более нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности при разности температур между теплоносителями в 1 градус
- количество теплоты которое переходит в единицу времени от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через 1 м² теплообменной поверхности
- количество теплоты которое переходит в единицу времени от более нагретого к менее нагретому теплоносителю при разности температур между теплоносителями в 1 градус

19). Термическим сопротивлением теплопередачи называется величина

- обратная величине коэффициента теплопередачи
- обратная величине коэффициента теплоотдачи
- равная величине коэффициента теплопередачи
- обратная величине коэффициента теплопроводности

20) В чём измеряется тепловой поток Q?

- Вт
- Дж
- м/сек
- Вт/сек

21) В чём измеряется коэффициент теплопроводности λ ?

- Вт
- Вт/м
- Вт/(м*К)
- Вт/К

22) формула для определения критерия Нусельта имеет вид:

- $Nu = \alpha \cdot d / \lambda$
- $Nu = \alpha / \lambda$
- $Nu = -\lambda \text{grad}(t)$
- $Nu = \lambda / (\alpha \cdot d)$

23) формула для определения критерия Рейнольдса имеет вид:

- $Re = \alpha \cdot d / \lambda$
- $Re = \omega \cdot d / \nu$
- $Re = -\lambda \text{grad}(t)$
- $Re = \omega^2 \cdot d$

24) Формула для определения гидравлического диаметра имеет вид:

- $dr = 4S/\Pi$
- $dr = \frac{\sum_i d_i}{i}$
- $dr = S/\Pi$
- $dr = 4\Pi/S$

25) В чем измеряется массовый расход G ?

- m^3/c
- $кг/с$
- $Дж/кг$
- $Дж/м^2 кг$

26). Какие теплообменники называются регенеративными?

- В котором жидкости разделены стенкой
- В котором жидкости смешиваются
- В котором жидкости не смешиваются
- В котором поверхность теплообмена поочередно омывается холодной и горячей средой

27). Теплообменным аппаратом называют

- Устройство в котором осуществляется процесс передачи теплоты от одного теплоносителя (среды) к другому
- Устройство в котором осуществляется процесс теплоотдачи от одного теплоносителя (среды) к другому
- Устройство в котором осуществляется процесс теплопроводности от одного теплоносителя (среды) к другому
- Устройство для осуществления теплообмена от стенки к жидкости

28). Какие теплообменные аппараты называются поверхностными

- Рекуперативные
- Смесительные
- с промежуточным теплоносителем
- рекуперативные и регенеративные

29). Каким образом происходит теплообмен в смесительных аппаратах

- При передаче тепла от стенки к жидкости
- Путем непосредственного соприкосновения и смешения горячей и холодной жидкостей
- Путем непосредственного соприкосновения теплоносителя и стенки аппарата
- При передаче тепла от жидкости к стенке

30) Турбулентный режим течения характеризуется ...

- хаотичным движением частиц жидкости
- значительным изменением скорости частиц по всему сечению канала
- слоистым движением частиц жидкости
- отсутствием «прилипшего» подслоя

31) Что характеризует критерий Нуссельта?

- отношение сил вязкостного трения к силам инерции в движущемся потоке
- теплообмен на границе стенка-жидкость
- отношение выталкивающей силы и сил вязкости
- скорость течения среды

32) Что характеризует критерий Рейнольдса?

- отношение сил вязкостного трения к силам инерции в движущемся потоке
- теплообмен на границе стенка-жидкость
- отношение выталкивающей силы и сил вязкости
- скорость течения среды

33). К простым схемам движения теплоносителя относятся

- прямоток
- противоток
- перекрестный ток
- все выше перечисленное

34). Какая схема движения более выгодна в современных теплообменниках

- прямоток
- противоток
- равнозначно выгодны
- нет верного ответа

35). Теплообменник при замене прямотока на противоток получается

- больше по габаритам
- меньше по габаритам
- замена прямотока на противоток не влияет на габариты
- нет верного ответа

36) В чём измеряется коэффициент теплоотдачи?

- $Вт/(м^2 \cdot К)$
- $Вт/м$
- $Вт/(м \cdot К)$
- $Вт/К$

37). Какая основная цель конструктивного расчета теплообменного устройства?

- определение температурного напора
- определение расхода
- определение площади теплообменной поверхности
- определение коэффициента теплоотдачи

38). Теплообменники в котором жидкости разделены стенкой называются?

- рекуперативными
- регенеративными
- смесительными
- прямоточными

39). Теплообменник в котором поверхность теплообмена поочередно омывается холодной и горячей средой?

- рекуперативным
- регенеративным
- смесительным
- прямоточным

Приложение А. Рабочее содержание модулей
Рабочая программа модуля 1 «Особенности конструктивного исполнения и эксплуатации основного оборудования судовых ЯЭУ»

Краткое описание модуля: в модуле рассматриваются основы эксплуатации судовых ядерных установок типа РИТМ-200.

Содержание теоретических разделов

Тема 1.1. Лекция № 1. Эволюция гражданских судовых РУ. Общие характеристики и принципиальная схема РУ РИТМ-200

Краткая расшифровка: О судовых реакторных установках. Эволюция гражданских судовых реакторных установок. Реакторная установка ОК-150. Реакторная установка ОК-900. Реакторная установка ОК-900А. Реакторные установки КЛТ-40, КЛТ-40М. Реакторная установка РИТМ-200. Общие характеристики. Прогресс судовых реакторных установок. Системы реакторной установки РИТМ-200.

Тема 1.2. Лекция № 2. Система первого контура: основной контур циркуляции теплоносителя первого контура, система компенсации давления, система очистки и расхолаживания. Назначение, характеристики, состав оборудования, режимы работы, правила эксплуатации и хранения.

Краткая расшифровка: Система первого контура (Назначение. Состав системы первого контура. Принципиальная схема). Система компенсации давления (Назначение. Варианты исполнений, выбор основных параметров. Состав). Система очистки и расхолаживания (Назначение. Состав. Режимы работы) Эксплуатация системы первого контура. Режим хранения.

Тема 1.3. Лекция № 3. Конструкция и состав активной зоны реактора.

Краткая расшифровка: Назначение активной зоны. Требования к материалам активной зоны. Канальная активная зона (Конструкция тепловыделяющей сборки. Особенности) Кассетная активная зона (Конструкция тепловыделяющей сборки. Особенности). Конструкция отдельных элементов. Профилирование активных зон.

Тема 1.4. Лекция № 4. Исполнительные механизмы приводов СУЗ. Конструкция, характеристики, правила эксплуатации.

Краткая расшифровка: Назначение приводов СУЗ, варианты исполнений. Привод АЗ (Назначение. Конструкция. Требования и эксплуатация). Привод КГ (Назначение. Конструкция. Требования и эксплуатация).

Самостоятельная работа

Изучение дополнительного материала. Прохождение тестирования.

Фонд оценочных средств

Приведен в п. 12 дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки».

Промежуточная аттестация

Промежуточные аттестации представлены тестированием в Odin. Каждый тест состоит из 15 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается 1 баллом. Итоговая оценка за тест выставляется по пятибалльной шкале:

- «3» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 50 % вопросов;
- «4» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 70 % вопросов;
- «5» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 85 % вопросов.

Рабочая программа модуля 2 «Атомные энергетические установки судов ледового плавания»

Краткое описание модуля: в модуле рассматриваются физические основы цепной реакции деления, вопросы управления и безопасности ядерных реакторов, конструкция, назначение и особенности эксплуатации основного оборудования судовых ядерных энергетических установок.

Содержание теоретических разделов

Тема 2.1. Лекция № 1. Контролируемая ядерная реакция.

Краткая расшифровка: основы цепной реакции деления и краткое введение в логику управления и обеспечения безопасности ядерных реакторов.

Тема 2.2. Лекция № 2. Классификация ядерных реакторов.

Краткая расшифровка: типы ядерных реакторов, их классификация, особенности эксплуатации.

Тема 2.3. Лекция № 3. Парогенерирующий блок.

Краткая расшифровка: основные элементы ПГБ, принципы их компоновки, назначение.

Тема 2.4. Лекция № 4. Корпус реактора, крышка реактора, их соединение и уплотнение.

Краткая расшифровка: устройство, назначение и принципы конструирования корпуса и крышки ядерного реактора, а также варианты их соединения и уплотнения.

Тема 2.5. Лекция № 5. Внутрикорпусное устройство реактора.

Краткая расшифровка: схема, назначение элементов и принципы конструирования.

Тема 2.6. Лекция № 6. Парогенератор.

Краткая расшифровка: классификация, устройство, эксплуатация и основные конструктивные особенности парогенераторов различных типов.

Тема 2.7. Лекция № 7. Циркуляционный насос первого контура.

Краткая расшифровка: классификация, устройство, эксплуатация и основные конструктивные особенности насосов различных типов.

Тема 2.8. Лекция № 8. Теплообменник 1-3 контура.

Краткая расшифровка: устройство и эксплуатация при разных режимах работы реактора.

Тема 2.9. Лекция № 9. Ионообменный фильтр.

Краткая расшифровка: устройство, принцип работы, эксплуатационные особенности и назначение ионообменных фильтров.

Тема 2.10. Лекция № 10. Система компенсации давления теплоносителя 1 контура.

Краткая расшифровка: разновидности систем компенсации давления и особенности их использования.

Самостоятельная работа

Изучение дополнительного материала. Прохождение тестирования.

Фонд оценочных средств

Приведен в п. 12 дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки».

Промежуточная аттестация

Промежуточные аттестации представлены тестированием в Odin. Каждый тест состоит из 15 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается 1 баллом. Итоговая оценка за тест выставляется по пятибалльной шкале:

«3» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 50 % вопросов;

«4» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 70 % вопросов;

«5» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 85 % вопросов.

Рабочая программа модуля 3 «Обеспечение безопасности судовых ядерных энергетических установок»

Краткое описание модуля: в модуле 3 разбираются основные принципы обеспечения безопасности судовых ядерных энергетических установок. Рассматриваются принципы глубоководной защиты, общие технические принципы безопасности.. Дается понятие о принципах ответственного управления, включая вопросы культуры безопасности . Рассматриваются классификация систем и элементов судовых ЯЭУ, основных принципах проектирования систем безопасности; приводится описание защитных, локализирующих, управляющих и обеспечивающих систем безопасности судовых ЯЭУ. Рассматриваются общие положения и требования к проведению обоснования безопасности судовых ЯЭУ. Дается понимание об общих положениях детерминистского анализа безопасности; рассматриваются вопросы анализа проектных и запроектных аварий. Рассматриваются основные положения вероятностного анализа безопасности. Дается понятие об уровнях ВАБ; приводятся основные этапы проведения ВАБ 1 уровня, а также особенности выполнения ВАБ 2 и 3 уровней.

Содержание теоретических разделов

Лекция №1. Основные принципы обеспечения безопасности

Краткая расшифровка: в лекции приводится характеристика проблемы обеспечения безопасности. Дается общее понятие о целях безопасности; приводятся этапы формирования современной философии безопасности. Дается понятие о нормах безопасности.

Лекция №2. Основные принципы безопасности

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются принципы глубоководной защиты, общие технические принципы безопасности.. Дается понятие о принципах ответственного управления, включая вопросы культуры безопасности

Лекция №3. Нормы безопасности

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается краткое содержание основных нормативных документов Ростехнадзора и Российского морского регистра судоходства по безопасности судовых ядерных энергетических установок. Приводится общая характеристика нормативных документов МАГАТЭ по безопасности и их требований

Лекция №4. Системы безопасности судовых ядерных энергетических установок

Краткая расшифровка: В лекции рассматривается классификация систем и элементов судовых ЯЭУ. Дается понятие об основных принципах проектирования систем безопасности; приводится описание защитных, локализирующих, управляющих и обеспечивающих систем безопасности судовых ЯЭУ.

Т Лекция №5. Обоснование безопасности судовых ядерных энергетических установок

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются общие положения и требования к проведению обоснования безопасности судовых ЯЭУ. Дается понимание об общих положениях детерминистского анализа безопасности; рассматриваются вопросы анализа проектных и запроектных аварий.

Лекция №6. Вероятностный анализ безопасности судовых ядерных энергетических установок

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные положения вероятностного анализа безопасности. Дается понятие об уровнях ВАБ; приводятся основные этапы проведения ВАБ 1 уровня, а также особенности выполнения ВАБ 2 и 3 уровней

Самостоятельная работа

Изучение дополнительного материала. Прохождение тестирования.

Фонд оценочных средств

Приведен в п. 12 дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки».

Промежуточная аттестация

Промежуточные аттестации представлены тестированием в Odin. Каждый тест состоит из 15 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается 1 баллом. Итоговая оценка за тест выставляется по пятибалльной шкале:

«3» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 50 % вопросов;

«4» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 70 % вопросов;

«5» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 85 % вопросов.

Рабочая программа модуля 4 «Нейтронно-физические и тепломассобменные процессы в ЯЭУ»

Краткое описание модуля: в модуле № 4 разбираются основы теплогидравлики и нейтронно-физических расчетов ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Рассматриваются основные механизмы переноса тепла в ЯЭУ (теплопроводность, конвективный теплообмен, излучение, теплообмен при фазовых переходах), а также параметры, определяющие интенсивность этих процессов; рассматриваются основные положения расчета и проектирования теплообменного оборудования ЯЭУ. Рассматриваются основные ядерные реакции в активных зонах реакторов, приводится информация о нейтронно-физических величинах, определяющих протекание ядерных реакций; рассматривается механизм транспорта нейтронов внутри замедляющих и поглощающих сред; даются общие представления о расчете активной зоны ядерного реактора в гомогенном приближении.

Содержание теоретических разделов

Тема 4.1. Лекция №1. Основные положения, термины и определения курса тепломассообмена

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные термины и определения, необходимые для основания курса. Дается общее представление о распространении тепла, вводятся основные законы распространения тепла (закон Фурье). Дается представление об основных теплофизических характеристиках различных материалов (коэффициент теплопроводности, теплоемкость, энтальпия и т.д.).

Тема 4.2. Лекция №2. Теплопроводность в твердых телах

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается вывод дифференциального уравнения теплопроводности, рассматривается его физический смысл. Дается представления об условиях однозначности (граничных условиях) для задач теплопроводности. Решение уравнения теплопроводности для простейших случаев (плоская стенка, труба и т.д.).

Тема 4.3. Лекция №3. Конвективный теплообмен

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные положения конвективного переноса тепла. Рассматриваются критерии подобия, определяющие интенсивность отвода тепла при конвекции. Вводится понятие коэффициента теплоотдачи. Рассматриваются расчетные соотношения для определения коэффициента теплоотдачи в простейших случаях (течение в трубе, обтекание пластины и т.д.).

Тема 4.4. Лекция №4. Теплопередача и пути её интенсификации

Краткая расшифровка: В лекции рассматривается перенос тепла от одной среды через стенку к другой среде. Вводится понятие термического сопротивления. Приводится качественный и количественный анализ путей интенсификации теплопередачи.

Тема 4.5. Лекция №5. Теплоизоляционные покрытия

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные положения подбора теплоизоляционного покрытия для теплообменного оборудования ЯЭУ, особое внимание уделяется вопросам, касающимся требований, предъявляемых к теплоизоляции. Вводится понятие критической толщины теплоизоляции.

Тема 4.6. Лекция №6. Лучистый теплообмен

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные положения переноса тепла посредством лучистого теплообмена. Рассматривается лучистый теплообмен в наиболее распространенных системах тел (лучистый теплообмен между плоскими пластинами, цилиндрическими телами). Рассмотрены способы уменьшения лучистого теплового потока в теплообменных системах.

Тема 4.7. Лекция №7. Теплообмен при фазовых превращениях

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются теплообменные процессы, возникающие при наличии фазовых переходов (кипение, конденсация и т.д.). Вводятся понятия кризисов теплообмена и величин, их определяющих (критическая плотность теплового потока, граничное паросодержание).

Тема 4.8. Лекция №8. Основы расчета теплообменных аппаратов

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается классификация теплообменных аппаратов, приводятся основные технические характеристики теплообменных аппаратов, рассматриваются основы проведения расчетов теплообменного аппарата.

Тема 4.9. Лекция №9. Основы гидравлики

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основы проведения гидравлического расчета основного технологического оборудования ЯЭУ, рассмотрены основные цели проведения гидравлического расчета. Рассматриваются вопросы работы циркуляторов на гидравлическую сеть, а также вопросы регулирования работы циркуляторов на гидравлическую сеть, рассматриваются преимущества и недостатки способов регулирования работы циркуляторов на гидравлическую сеть. Рассматриваются физические основы реализации естественной циркуляции теплоносителей.

Тема 4.10. Лекция №10. Ядерный реактор как источник тепла

Краткая расшифровка: В лекции рассматриваются вопросы генерации тепла в активной зоне ядерного реактора, подробно рассмотрен механизм взаимосвязи теплогидравлических характеристик реактора с нейтронно-физическими.

Тема 4.11. Лекция №11. Основные характеристики ядер

Краткая расшифровка: В лекции приводится информация об основных аспектах физики ядра. Рассматриваются наиболее распространенные ядерные реакции.

Тема 4.12. Лекция №12. Взаимодействие нейтронного излучения с веществом

Краткая расшифровка: в лекции приводится информация об основных аспектах взаимодействия нейтронов различных энергий с веществом. Вводятся основные понятия и физические величины, определяющие вероятностные процессы взаимодействия нейтронов с веществом.

Тема 4.13. Лекция №13. Диффузия нейтронов

Краткая расшифровка: в лекции приводятся основы диффузии моноэнергетических нейтронов. Выводится дифференциальное уравнение диффузии.

Тема 4.14. Лекция №14. Замедление нейтронов

Краткая расшифровка: в лекции приводятся основные понятия и определения, необходимые для описания физики процесса замедления нейтронов. Вводятся характеристики, позволяющие оценить эффективность среды с точки зрения замедления нейтронов.

Тема 4.15. Лекция №15. Коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде и в среде конечных размеров

Краткая расшифровка: в лекции вводится понятие коэффициента размножения нейтронов и величин, которыми он может быть оценочно определен. Рассмотрены случаи бесконечной среды и среды конечных размеров (учитывающей утечку нейтронов).

Тема 4.16. Лекция №16. Критические размеры гомогенного реактора

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается методика расчета гомогенного реактора для определения размеров активной зоны.

Содержание практических разделов

Практическая работа № 1. Распределение температуры по толщине простых тел.

Краткое описание работы: в зависимости от граничных условий получить распределение температуры по толщине тела простой геометрической формы (пластина, цилиндрическая стенка и т.д.).

Практическая работа № 2. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной и свободной конвекции.

Краткое описание работы: определить величину коэффициента теплоотдачи внутри канала простой формы (труба, продольно омываемый пучок труб в кожухе и т.д.) при вынужденном течении среды. Определить величину коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции около тел простой формы (труба, пластина и т.д.)

Практическая работа № 3. Определение толщины многослойной теплоизоляции.

Краткое описание работы: Определить требуемую толщину двухслойной теплоизоляции (и каждого из слоев отдельно), выполненной в виде слоя футеровки и теплоизоляционного покрытия. Толщины определяются на основании требований по температуре применения теплоизоляционного покрытия.

Практическая работа № 4. Определение коэффициента теплопередачи для простого теплообменника коаксиального типа (труба в трубе).

Краткое описание работы: рассчитать коэффициент теплопередачи для теплообменника типа «труба в трубе». В качестве обменивающихся теплом сред принимаются вода и воздух с заданными параметрами. Расчетом показать, каким образом можно интенсифицировать процесс теплопередачи.

Практическая работа № 5. Расчёт теплообменника.

Краткое описание работы: определить требуемую величину поверхности теплообмена для кожухотрубного теплообменника типа «труба в трубе» и конечную температуру рабочего тела по известным: расходам рабочего тела и теплоносителя, начальным температурам рабочего тела и теплоносителя, конечной температуре теплоносителя и давлениям обеих сред. Потерями давления пренебречь.

Практическая работа № 6. Построение гидравлической характеристики простого трубопровода.

Краткое описание работы: построить гидравлическую характеристику простого трубопровода конечной длины с местным сопротивлением в диапазоне чисел Рейнольдса от 0 до начала автомодельной области.

Практическая работа № 7. Определение ядерных концентраций материалов активной зоны.

Краткое описание работы: рассчитать ядерную концентрацию элементов, входящих в состав гомогенной активной зоны реактора по известной геометрии тепловыделяющих сборок и составу активной зоны.

Практическая работа № 8. Расчет макроскопического сечения взаимодействия.

Краткое описание работы: для предыдущей задачи произвести расчёт макроскопических сечений взаимодействия. Микроскопические сечения, требуемые для расчета, принимаются в соответствии с табличными данными.

Практическая работа № 9. Расчёт коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде.

Краткое описание работы: произвести расчет коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде по формуле четырех сомножителей.

Самостоятельная работа

Изучение дополнительного материала. Прохождение тестирования.

Фонд оценочных средств

Приведен в п. 12 дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки».

Промежуточная аттестация

Промежуточные аттестации представлены тестированием в Odin. Каждый тест состоит из 15 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается 1 баллом. Итоговая оценка за тест выставляется по пятибалльной шкале:

«3» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 50 % вопросов;

«4» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 70 % вопросов;

«5» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 85 % вопросов.

Рабочая программа модуля 5 «Парогенераторы и теплообменники»

Краткое описание модуля: в модуле № 5 рассматриваются принципиальные схемы генерации пара, классификация, конструкция, принцип работы и материалы, из которых изготавливаются парогенераторы (ПГ) и теплообменники (ТО) ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Рассматриваются тепловой, гидравлический и прочностной расчеты ПГ ЯЭУ.

Содержание теоретических разделов

Тема 5.1. Лекция №1. Принципиальные схемы генерации пара в ЯЭУ и классификация парогенераторов (ПГ) и теплообменников (ТО).

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются место и роль ПГ в технологии производства электроэнергии, принципиальные схемы генерации пара на ЯЭУ, требования к ПГ ЯЭУ, типы теплообменных аппаратов, удовлетворяющих требованиям к ПГ.

Тема 5.2. Лекция №2. Теплообменные аппараты.

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные характеристики ПГ, тепловые и конструктивные схемы ПГ с различными теплоносителями.

Тема 5.3. Лекция №3. Параметры пара, вырабатываемого ПГ ЯЭУ.

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается влияние конструктивной и теплотехнической схемы ПГ на параметры пара, связь параметров пара с параметрами теплоносителя.

Тема 5.4. Лекция №4. Выбор теплоносителя первого контура ЯЭУ.

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются основные принципы выбора теплоносителя первого контура ЯЭУ.

Тема 5.5. Лекция №5. Конструкция и характеристики ПГ горизонтального типа.

Краткая расшифровка: в лекции рассматривается развитие конструкций и характеристики ПГВ-1 – ПГВ-4, ПГВ-1000, конструкция и характеристики ПГВ-1000М, конструкция и характеристики ПГВ-1000МКП.

Тема 5.6. Лекция №6. Конструктивные схемы вертикальных ПГ.

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются вертикальные парогенераторы насыщенного пара, вертикальные парогенераторы перегретого пара, парогенераторы для АЭС малой и средней энергетики, сравнение вертикальных и горизонтальных ПГ.

Тема 5.7. Лекция №7. Конструкционные материалы ПГ ЯЭУ.

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются выбор материалов и требования к ним, классификация и маркировка сталей, материалы для конструктивных элементов ПГ.

Тема 5.8. Лекция №8. Конструкция ПГ ЯЭУ. Основы конструкторского расчета .

Краткая расшифровка: в лекции рассматриваются тепловой расчет, гидравлический расчет, прочностной расчет ПГ

Содержание практических разделов

Практическая работа № 1. Расчет температурных напоров.

Краткое описание работы: на основании характеристик судовой ядерной энергетической установки и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет температурных напоров и построить график температурных напоров.

Практическая работа № 2. Расчет конструктивных характеристик ПГ.

Краткое описание работы: на основании характеристик судовой ядерной энергетической установки и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести выбор и расчет конструктивных характеристик ПГ.

Практическая работа № 3. Расчет площади поверхности теплопередачи экономайзерного участка.

Краткое описание работы: на основании характеристик судовой ядерной энергетической установки и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет площади поверхности теплопередачи экономайзерного участка.

Практическая работа № 4. Расчет площади поверхности теплопередачи участка ухудшенного теплообмена.

Краткое описание работы: на основании характеристик судовой ядерной энергетической установки и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет площади поверхности теплопередачи участка ухудшенного теплообмена.

Практическая работа № 5. Расчет площади поверхности теплопередачи пароперегревательного участка.

Краткое описание работы: на основании характеристик судовой ядерной энергетической установки и принятого прототипа парогенератора (ПГ) произвести расчет площади поверхности теплопередачи пароперегревательного участка.

Практическая работа № 6. Расчет высоты активной части парогенератора.

Краткое описание работы: произвести расчет высоты активной части парогенератора судовой ядерной энергетической установки.

Практическая работа № 7. Определение гидравлических потерь 1-2 контура.

Краткое описание работы: рассчитать гидравлические потери 1-2 контура.

Практическая работа № 8. Расчет на прочность.

Краткое описание работы: произвести расчет на прочность парогенератора, выбрать материалы и толщины стенок корпуса, крышки, днища парогенератора, материал, размеры и расположение шпилек.

Практическая работа № 9. Оценка стоимости парогенератора.

Краткое описание работы: произвести расчет стоимости оборудования, капиталовложения (прямые, дополнительные, на сооружение и монтаж ПГ, ежегодные амортизационные отчисления, расчетные затраты на изготовление и эксплуатацию ПГ.

Стажировка

Стажировка проходит на базе ОКБМ имени И.И. Африкантова

Самостоятельная работа

Изучение дополнительного материала. Прохождение тестирования.

Фонд оценочных средств

Приведен в п. 12 дополнительной профессиональной программы профессиональной переподготовки «Ядерные паропроизводящие установки».

Промежуточная аттестация

Промежуточные аттестации представлены тестированием в Odin. Каждый тест состоит из 15 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается 1 баллом. Итоговая оценка за тест выставляется по пятибалльной шкале:

«3» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 50 % вопросов;

«4» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 70 % вопросов;

«5» - слушатель ответил правильно не менее, чем на 85 % вопросов.