



Н.П. Местников, Г.И. Давыдов

МАЛАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»



Якутск

2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирское отделение Российской академии наук
Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Физико-технический институт
Кафедра «Электроснабжение»

Н.П. Местников, Г.И. Давыдов

МАЛАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности
в условиях Севера»

Якутск
2022

УДК 621.039

ББК 31.47

М53

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

Н.С. Бурянина, д.т.н., профессор кафедры ЭС ФТИ СВФУ, г. Якутск,

Л.Р. Гайнуллина, к.т.н., доцент кафедры ВИЭ КГЭУ, г. Казань

Местников, Н.П.

Малая атомная энергетика в условиях Севера [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» / Н.П. Местников, Г.И. Давыдов. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск

ISBN 978-5-7513-3298-3

Учебное пособие содержит теоретический материал и описание по выполнению практических заданий по дисциплине «Общая энергетика» и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» с ориентацией на методы и принципы развития малой атомной энергетики в климатических условиях Севера. При разработке учебного пособия применялись стандарты и нормы ГОСТ Р 58786-2019, ГОСТ 23082-78, ГОСТ 24722-81 и ГОСТ Р МЭК 60880-2010.

Предназначено для студентов по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Энергообеспечение предприятий») и начинающих специалистов отраслевых организаций в сфере энергетики.

УДК 621.039

ББК 31.47

ISBN 978-5-7513-3298-3

© Местников Н.П., Давыдов Г.И., 2022

© Северо-Восточный федеральный университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	9
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	11
УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В	
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ.....	14
ГЛАВА 1. ИСТОКИ ЭНЕРГИИ АТОМА.....	26
1.1. Что такое атомная энергия?.....	26
1.2. Открытие процесса деления ядер урана.....	26
1.3. Процесс цепной реакции.....	28
1.4. Развитие атомной энергетики.....	30
1.5. Направления применения энергии атома	33
1.6. Рекомендуемые видеоматериалы.....	34
1.7. Контрольные вопросы	34
ГЛАВА 2. АТОМНЫЕ РЕАКТОРЫ	36
2.1. Что такое атомный реактор?	36
2.2. Классификация атомных реакторов	38
2.3. Классификация атомных реакторов по стандартам	
МАГАТЭ	40
2.4. Виды атомных реакторов	41
2.5. Описание функционирования тепловой схемы АЭС с	
реактором типа РБМК-1000	41

2.6. Описание атомного реактора малой мощности «РИТМ 200».....	47
2.7. Рекомендуемые видеоматериалы.....	51
2.8. Контрольные вопросы	52
ГЛАВА 3. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	53
3.1. Что такое атомная электростанция?	53
3.2. Система безопасности АЭС	56
3.3. Преимущества и недостатки атомных электростанций	61
3.4. Классификация атомных электростанций.....	61
3.5. Технологические схемы производства электроэнергии в атомных электростанциях.....	62
3.5.1. Технологические схемы производства электроэнергии в одноконтурных АЭС.....	62
3.5.2. Технологические схемы производства электроэнергии в двухконтурных АЭС.....	64
3.6. Атомные электростанции малой мощности (малые модульные реакторы).....	65
3.7. Преимущества малых модульных реакторов.....	68
3.8. Обзорная информация по атомным электростанциям малой мощности	69
3.9. Рекомендуемые видеоматериалы.....	73
3.10. Контрольные вопросы	73
КЕЙС-ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	74

Кейс-задачи «Малая атомная энергетика для добывающей промышленности»	74
Кейс-задачи «Малая атомная энергетика для электроснабжения населенных пунктов»	84
Кейс-задачи «Выбор вида атомных реакторов».....	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	99
Приложение А. ОБЩАЯ СХЕМА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	101
Приложение В. УСТРОЙСТВО АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	102
Приложение С. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС	103
Приложение Д. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕШЕНИЮ КЕЙС-ЗАДАЧИ	104

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие предназначено в целях изучения дисциплины «Общая энергетика» и факультатива «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера» и адресовано студентам 2-4 курсов, которые обучаются по направлению подготовки бакалавров по специальностям 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очного и заочного форм обучения в соответствии с требованиями и условиями ФГОС 3+++. Оно может быть использовано в курсе изучения основ функционирования атомной энергетики в рамках магистратуры и аспирантуры. В пособии соблюдены преемственность высшего образования к основам атомной энергетики, реализовано требование профессионально ориентированного обучения в области общей энергетики.

Основной целью курса является повышение исходного уровня владения студентами основ функционирования объектов атомной энергетики, а также овладение ими необходимым и достаточным уровнем теоретических и практических компетенций для решения специализированных задач в области атомной энергетики с применением определенных закономерностей и методов.

При составлении учебного пособия автор исходил из концепции взаимосвязанного обучения основным видам технологических и инновационных проектов. Данный подход предопределил структуру и содержание пособия.

Учебное пособие направлено на формирование у студентов навыков и компетенций по разработке, оформлению технологических проектов в сфере атомной энергетики с учетом климатических особенностей Севера.

Специализированное оформление пособия, разнообразие иллюстративного материала и обозримое построение дисциплины способствуют повышению мотивации студентов. Некоторые графические интерпретации в пособии играют роль стимула в рамках изучения данной дисциплины. В пособие включен терминологический словарь в области атомной энергетики.

Цель дисциплины – формирование у студента навыков и компетенций в области общей энергетики.

Задачами дисциплины являются:

- формирование представления у обучающихся о теоретических основах атомной энергетики.
- формирование представления у обучающихся о структуре атомной энергетики.

- развитие у обучающихся практических умений и навыков в области значения объектов атомной энергетики.
- формирование у обучающихся профессиональной готовности к овладению технологиями атомной энергетики.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать: понятийный аппарат в области атомной энергетики знания в целом; структуру и этапы развития атомной энергетики; жизненный цикл работы объектов атомной энергетики; структуру функционирования объектов атомной энергетики.

2) Уметь: проводить сбор и анализ информации в области атомной энергетики, в том числе, с использованием интернет-ресурсов; осуществлять планирование проекта в области атомной энергетики; осуществлять электроэнергетическую и технико-экономическую оценку работы объектов атомной энергетики.

3) Владеть: современными средствами сбора информации; технологиями атомной энергетики; методами оценки проектов области атомной энергетики.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках реализации требований и условий Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС 3++) и Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" от 29.12.2012 N 273-ФЗ высшими учебными заведениями (далее – ВУЗ) активно производятся процедуры обучения студентов по различным направлениям бакалавриата, магистратуры, аспирантуры и специалитета.

Однако необходимо отметить, что в условиях усиления степени цифровой трансформации с учетом направлений развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и постоянной актуализации Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и Федерального закона "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ (последняя редакция) внутри предприятий в сфере энергетики и ЖКХ необходимо обеспечение взаимной интеграции ВУЗов и энергетических компаний в целях получения высококвалифицированных специалистов, владеющие необходимыми навыками, которые являются актуальными и востребованными в настоящий момент.

Кроме того, необходимо особо отметить, что, к сожалению, в большинстве ВУЗов России фактически отсутствуют учебные факультативы, направленные обучение студентов к компетенциям и навыкам основ атомной энергетики в условиях значительного тренда развития технологий по данному направлению.

В случае несоответствия навыков и компетенций, полученные студентом во время обучения в ВУЗе, потенциальные работодатели вынуждены обеспечить переобучение молодого специалиста к новым компетенциям в сфере общей энергетики, где потребуется до 6 месяцев в зависимости от интеллектуального уровня молодого специалиста, что и является катализатором медленного функционирования предприятия, неприемлемое для предприятий и организаций. Вследствие данной тенденции потенциальные работодатели вынуждены нанимать на рабочую деятельность специалистов со стажем работы от 2 лет.

В связи с этим решением данной проблемной точки является разработка учебного пособия на основании требований и условий рабочих программ дисциплины «Общая энергетики» и факультатива «Основы

энергосбережения и ресурсоэффективности в условиях Севера», которое разработано в соответствии с условиями и требованиями существующего уровня развития технологий в сфере атомной энергетики.

Авторы учебного пособия выражают свою благодарность за ценные замечания и советы своим научным руководителям и наставникам:

- Н.С. Буряниной, доктору технических наук, профессору кафедры «Электроснабжение» ФТИ СВФУ имени М.К. Аммосова.

- Нуруллину Э.Г., доктору технических наук, профессору кафедры «Машины и оборудования в агробизнесе» Института механизации и технического сервиса Казанского государственного аграрного университета.

- Гайнуллиной Л.Р., кандидату технических наук, доценту, заведующему кафедрой «Возобновляемые источники энергии» Института электроэнергетики Казанского государственного энергетического университета.



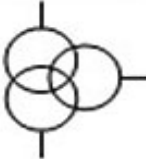

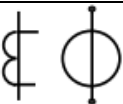
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ






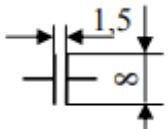




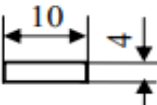
№	Сокращенное название	Определение
1.	ФЗ	Федеральный закон
2.	СП	Свод правил
3.	СанПин	Санитарные нормы и правила
4.	СНиП	Строительные нормы и правила
5.	МинЖКХиЭ	Министерство жилищно-коммунального хозяйства и энергетики
6.	ДККЭиАР	Департамент коммунального комплекса, энергоэффективности и административной работы
7.	ДЭФ	Департамент экономики, финансов, имущества и информатизации
8.	ДЭ	Департамент энергетики, жилищной политики и оперативного контроля
9.	Центр ЖКХ	ГАУ РС(Я) «Центр развития жилищно-коммунального хозяйства и повышения энергоэффективности»
10.	Минстрой	Министерство строительства
11.	Справка	Справочная информация об определенном вопросе в зависимости от запроса руководства
12.	ВОС	Водоочистные сооружения
13.	КОС	Канализационно-очистные сооружения
14.	Указ 204 / Нацпроекты	Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»
15.	ТЗ	Техническое задание
16.	ПЗ	Пояснительная записка
17.	НПА	Нормативно-правовой акт
18.	ГИП	Главный инженер проекта
19.	ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
20.	ЗУ	Земельный участок
21.	ДЖКХ	Департамент ЖКХ и энергетики
22.	ПО	Программное обеспечение

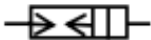
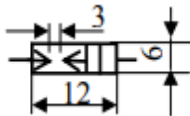


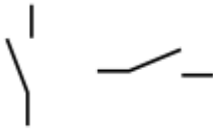
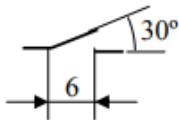
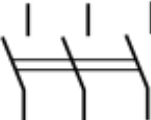

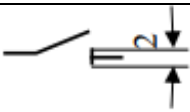
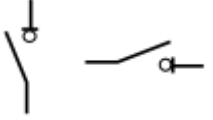
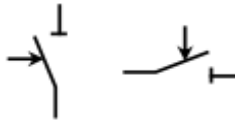
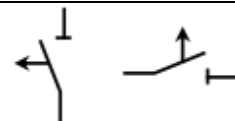
23.	КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности
24.	УМП	Учебно-методическое пособие
25.	ТЭО	Технико-экономическое обоснование
26.	БП	Бизнес-план
27.	ПС	Подстанция
28.	ЭС	Электроснабжение
29.	ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
30.	АРМ	Автоматизированные рабочие места
31.	ПК	Персональный компьютер
32.	ЛЭП	Линия электропередачи
33.	СН	Собственные нужды
34.	ВН	Высокое напряжение
35.	НН	Низкое напряжение
36.	ТЭР	Технико-экономический расчет
37.	ИЭИ	Инженерно-экологические изыскания
38.	ИГМИ	Инженерно-гидрометеорологические изыскания
39.	ИГИ	Инженерно-геодезические изыскания
40.	НИР	Научно-исследовательская работа
41.	САПР	Система автоматизированного проектирования
42.	ЗРУ	Закрытая распределительная установка
43.	ОРУ	Открытая распределительная установка
44.	РУ	Распределительная установка
45.	ГПП	Главная понизительная подстанция
46.	СМР	Строительно-монтажные работы
47.	ТУ	Технические условия
48.	НТД	Нормативно-техническая документация
49.	ПД	Проектная документация
50.	ПОС	Проект организации строительства
51.	ППР	Проект производства работ
52.	СДТУ	Средства диспетчерского и технологического управления

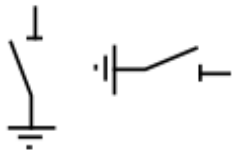

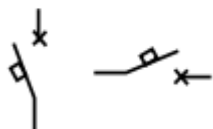
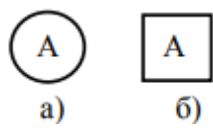
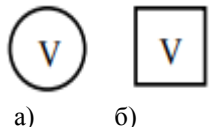
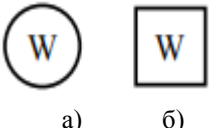
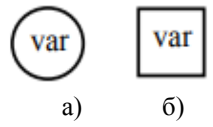
53.	ДЭС	Дизельная электростанция
54.	ДГУ	Дизель-генераторная установка
55.	э/э	Электрическая энергия
56.	о.е.	Относительные единицы
57.	ПКА	Понятийно-категориальный аппарат
58.	Рекреация	Комплекс оздоровительных мероприятий, осуществляемых с целью восстановления нормального самочувствия и работоспособности здорового, но утомленного человека
59.	АЭС	Атомная электростанция
60.	МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
61.	ВВЭР	Водо-водяной энергетический реактор
62.	РУ	Реакторная установка
63.	ЯТЦ	Ядерный топливный цикл
64.	АСКРО	Автоматическая система контроля радиационной обстановки
65.	ММР	Малые модульные реакторы
66.	АСММ	Атомная станция малой мощности
67.	ТВЭЛ	Тепловыделяющие элементы
68.	РБМК	Реактор большой мощности канальный
69.	АТЭЦ	Атомная тепловая электроцентраль

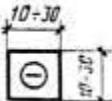

УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ


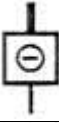

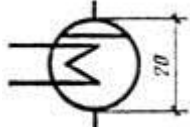
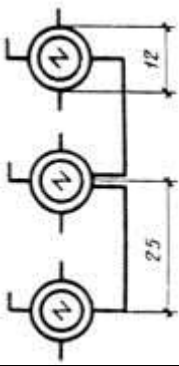
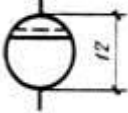
Наименование	Обозначение		Размеры в мм / Примечание
	Графическое	Буквенное	
Двухобмоточный силовой трансформатор		Т	Диаметр – 10, длина стрелки – 20, угол наклона – 45°
Автотрансформатор		АТ	-
Трехобмоточный силовой трансформатор		Т	-
Силовой трехфазный двухобмоточный с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН)		Т	-
Трансформатор тока		ТА	Диаметр окружности – 10, радиус дуг – 2,5.

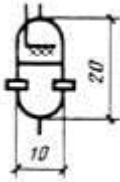
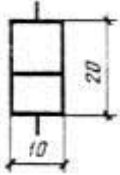
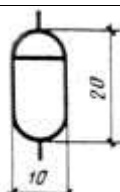
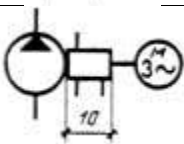
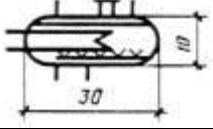
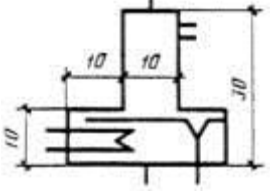
Трансформатор напряжения		TV	Диаметр окружности – 10, расстояние между центрами окружностей – 6
Кабельная линия		КЛ	-
Токоограничивающий реактор		LR	Диаметр – 12 мм
Сдвоенный реактор		LR	-
Батарея конденсаторная силовая		CB	
Генератор		Г (G)	Диаметр окружности – 10. Для основных элементов схемы размеры увеличивать в 2 раза.
Синхронный компенсатор		GS	-
Электродвигатель		М	-
Ограничитель перенапряжения		ОПН (FV)	

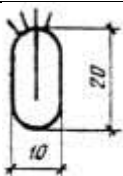
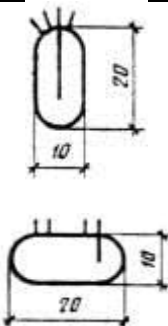
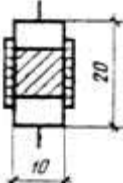

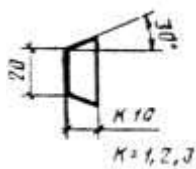

Разрядник вентиль- ный		FV	
Разрядник трубчатый		FV	-
Плавкий предохра- нитель		FU	-
Рубильник		QS или SA	
Рубильник, выключа- тель низко- вольтный трехполюс- ный		-	-
Разъедини- тель		QS	
Выключа- тель нагрузки		QW	-
Короткоза- мыкатель		QN	-
Отделитель односто- роннего действия		QR	



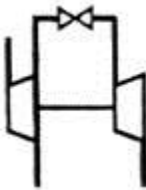




Заземляющий нож		QSG	
Заземление		-	-
Автоматический выключатель		QF	-
Амперметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PA	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Вольтметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PV	Диаметр – 10; квадрат 10×10
Ваттметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PW	-
Варметр: А – показывающий Б – регистрирующий		PVA	-

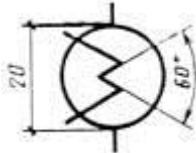
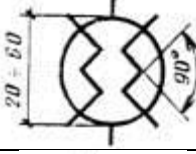
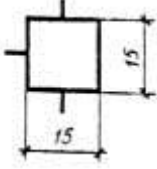
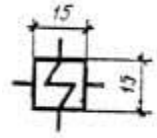
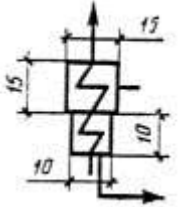
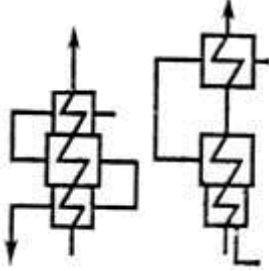
Счетчик активной энергии		PI	-
Счетчик реактивной энергии		PK	-
Линия проводки		Л	-
Реактор ядерный		Р	-
Ядерное топливо		-	Ядерное топливо обозначают символом с указанием концентрации в процентах, который помещают слева от обозначения, например, 3 % U_{235}
Замедлитель		З	Замедлитель обозначают символом, который помещают справа от обозначения, например, графит
Реактор		Р	Реактор с обозначением числа петель (например, трехпетельный)
Реактор с зоной воспроизводства		Р	-

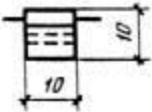
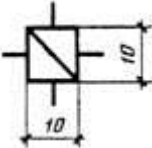
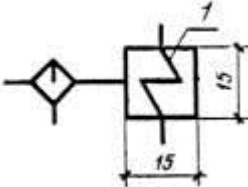
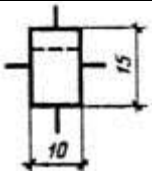
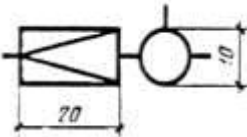
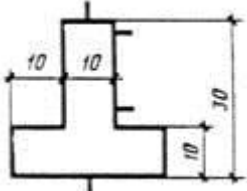

Реактор, охлаждаемый водой под давлением		Р	-
Реактор, охлаждаемый кипящей водой		Р	-
Реактор трехпелетельный		Р	Реактор трехпелетельный на природном уране (U_{238}) с тяжелой водой (D_{20}), в качестве замедлителя охлаждаемый газом (CO_2)
Парогенератор реактора ВВЭР		ПГ	-
Парогенератор модульный реактора БН		ПГ	-
Сепаратор реактора РБМК		-	-


Компенсатор давления теплоносителя ядерного реактора (паровой)		К	-
Компенсатор давления теплоносителя ядерного реактора (газовый)		К	-
Гидроемкость		Г	-
Насос ГЦН		Н	-
Барботер		Б	-
Деаэра-тор I кон-тура		Д1	-

Деаэратор II контура		Д2	-
Монжюс		М	-
Аппарат контакт- ный		-	-
Спринклер		-	-
Турбина		Т	-
Турбина паровая		Т	Турбина паровая. Цилиндр турбины однопоточный

Турбина паровая		T	Турбина паровая с нерегулируемым отбором пара
Турбина паровая		T	Турбина паровая с промежуточным перегревом
Турбина паровая		T	Турбина паровая с одним регулируемым отбором пара
Турбина паровая		T	Турбина паровая двухпоточная Цилиндр турбины двухпоточный
Турбина газовая		T	Турбина газовая, например, на горючем газе
Турбина воздушная		T	-
Турбина гидравлическая		T	-

Конденсатор поверхностный		К	-
Конденсатор		К	Конденсатор поверхностный двухпоточный
Теплообменник смешивающий		-	-
Подогреватель поверхностный (общее обозначение)		П	-
Подогреватель с поверхностью нагрева для переохлаждения конденсата		П	-
Подогреватель с поверхностью нагрева парохладителя и парохладителя конденсата		-	-

Сепаратор-сборник		-	-
Испаритель турбоустановки		-	-
Сепаратор-пароперегреватель		-	Сепаратор-пароперегреватель промежуточный (СПП) одноступенчатый* * Если сепаратор многоступенчатый, поз. 1 повторяют в зависимости от числа ступеней
Колонка разделительная		-	Колонка разделительная (сепаратор-расширитель)
Редукционно-охладительная установка (РОУ)		-	-
Деаэратор		-	Деаэратор (рабочее давление деаэратора проставляется в контурах бака)
Потребитель тепла		-	-

Турбонасос		ТН	-
------------	---	----	---

Примененные нормативно-технические акты:

1. ГОСТ 2.722-68 Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
2. ГОСТ 2.780-68 Обозначения условные графические. Элементы гидравлических и пневматических сетей.
3. ГОСТ 2.782-68 Обозначения условные графические. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.
4. ГОСТ 2.745-68 Обозначения условные графические в схемах. Электронагреватели, устройства и установки электротермические.

ГЛАВА 1. ИСТОКИ ЭНЕРГИИ АТОМА

Атомная энергетика является одним из основных направлений развития традиционных источников энергии. В настоящее время количество атомных электростанций постоянно увеличивается в целях уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу, увеличения надежности электроснабжения и усиления энергетической безопасности страны или региона.

В данной главе рассматриваются истоки развития атомной энергии с приведением конкретных закономерностей, схем и графических интерпретаций и т.д.

1.1. Что такое атомная энергия?

Атомная энергия – отрасль народного хозяйства, использующая энергию цепной ядерной реакции как источник энергии; особая форма энергии, использующая ядерную реакцию для вращения генераторов и получения электроэнергии.

Двадцатый век прошел под знаком освоения энергии нового вида, заключенной в ядрах атомов, и стал веком ядерной физики. Эта энергия многократно превышает энергию топлива, применявшуюся человечеством в течение всей его истории.

Уже к середине 1939 года ученые мира располагали важными теоретическими и экспериментальными открытиями в области ядерной физики, что позволило выдвинуть обширную программу исследований в этом направлении. Оказалось, что атом урана можно расщепить на две части. При этом освобождается огромное количество энергии. Кроме того, в процессе расщепления выделяются нейтроны, которые в свою очередь могут расщепить другие атомы урана и вызвать цепную ядерную реакцию. Ядерная реакция деления урана весьма эффективна и далеко превосходит самые бурные химические реакции. Сравним атом урана и молекулу взрывчатого вещества – тринитротолуола (тротила). При распаде молекулы тротила выделяется 10 электронвольт энергии, а при распаде ядра урана – 200 млн. электрон-вольт, т. е. в 20 млн. раз больше.

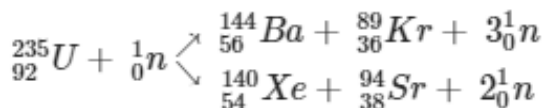
1.2. Открытие процесса деления ядер урана

Деление ядер урана было открыто в 1938 г. немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом. Им удалось установить, что при бомбардировке ядер урана нейтронами образуются элементы средней части периодической системы: барий, криптон и др. Правильное толкование этому факту дали австрийский физик Л. Мейтнер и английский

физик О. Фриш. Ученые объяснили появление данных элементов распадом ядер урана, захватившего нейтрон, на две примерно равные части. Это явление получило название деления ядер, а образующиеся ядра — осколков деления.

После захвата ядром ${}_{92}^{235}\text{U}$ нейтрона образуется промежуточное ядро ${}_{92}^{236}\text{U}^*$, которое находится в возбужденном состоянии. При этом энергия нейтрона равномерно распределяется между всеми нуклонами, а само промежуточное ядро деформируется и начинает колебаться. Если возбуждение невелико, то ядро (рис. 1.1б), освобождаясь от излишка энергии путем испускания γ -кванта или нейтрона, возвращается в устойчивое состояние. Если же энергия возбуждения достаточно велика, то деформация ядра при колебаниях может быть настолько большой, что в нем образуется перетяжка (рис. 1.1в), аналогичная перетяжке между двумя частями раздваивающейся капли жидкости. Ядерные силы, действующие в узкой перетяжке, уже не могут противостоять значительной кулоновской силе отталкивания частей ядра. Перетяжка разрывается, и ядро распадается на два "осколка" (рис. 1.1г), которые разлетаются в противоположные стороны.

В настоящее время известны около 100 различных изотопов с массовыми числами примерно от 90 до 145, возникающих при делении этого ядра. Две типичные реакции деления этого ядра имеют вид:



Обратите внимание, что в результате деления ядра, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, способные вызвать реакции деления других ядер. Продуктами деления ядер урана-235 могут быть и другие изотопы бария, ксенона, стронция, рубидия и т. д.

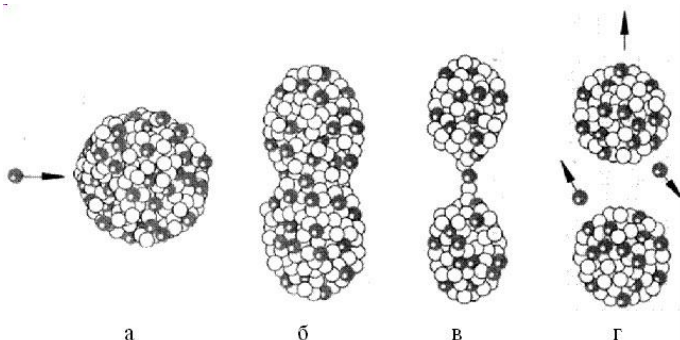


Рисунок 1.1 – Процесс деления ядер урана

При делении ядер тяжелых атомов (${}^{235}_{92}\text{U}$) выделяется очень большая энергия — около 200 МэВ при делении каждого ядра. Около 80 % этой энергии выделяется в виде кинетической энергии осколков; остальные 20 % приходятся на энергию радиоактивного излучения осколков и кинетическую энергию мгновенных нейтронов.

Оценку выделяющей при делении ядра энергии можно сделать с помощью удельной энергии связи нуклонов в ядре. Удельная энергия связи нуклонов в ядрах с массовым числом $A \approx 240$ порядка 7,6 МэВ/нуклон, в то время как в ядрах с массовыми числами $A = 90 - 145$ удельная энергия примерно равна 8,5 МэВ/нуклон. Следовательно, при делении ядра урана освобождается энергия порядка 0,9 МэВ/нуклон или приблизительно 210 МэВ на один атом урана. При полном делении всех ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется такая же энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

1.3. Процесс цепной реакции

Цепная реакция — ядерная реакция, в которой частицы, вызывающие реакцию, образуются как продукты этой реакции.

При делении ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется цепной реакцией. Схема развития цепной реакции деления ядер урана представлена на рис. 1.2.

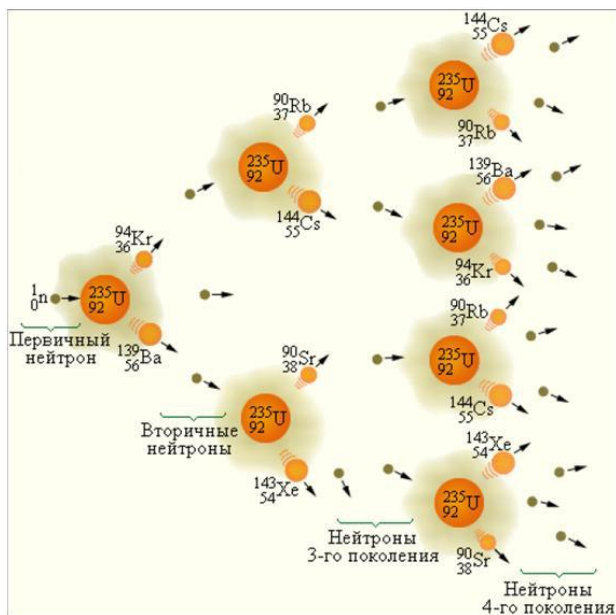
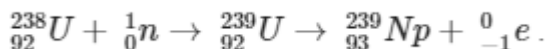


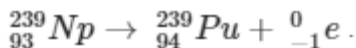
Рисунок 1.2 – Общая схема развития цепной реакции деления ядер урана

Уран встречается в природе в виде двух изотопов – $^{238}_{92}\text{U}$ (99,3%) и $^{235}_{92}\text{U}$ (0,7%). При бомбардировке нейтронами ядра обоих изотопов могут расщепляться на два осколка. При этом реакция деления $^{235}_{92}\text{U}$ наиболее интенсивно идет на медленных (тепловых) нейтронах, в то время как ядра $^{238}_{92}\text{U}$ вступают в реакцию деления только с быстрыми нейтронами с энергией порядка 1 МэВ. Иначе энергия возбуждения образовавшихся ядер $^{239}_{92}\text{U}$ оказывается недостаточной для деления, и тогда вместо деления происходят ядерные реакции:



Изотоп урана $^{238}_{92}\text{U}$ β -радиоактивен, период полураспада 23 мин.

Изотоп нептуния $^{239}_{93}\text{Np}$ тоже радиоактивен, период полураспада около 2 дней.



Изотоп плутония ${}_{94}^{239}\text{Np}$ относительно стабилен, период полураспада 24000 лет. Важнейшее свойство плутония состоит в том, что он делится под влиянием нейтронов так же, как ${}_{92}^{235}\text{U}$. Поэтому с помощью ${}_{94}^{239}\text{Np}$ может быть осуществлена цепная реакция.

Рассмотренная выше схема цепной реакции представляет собой идеальный случай. В реальных условиях не все образующиеся при делении нейтроны участвуют в делении других ядер. Часть их захватывается неделящимися ядрами посторонних атомов, другие вылетают из урана наружу (утечка нейтронов). Поэтому цепная реакция деления тяжелых ядер возникает не всегда и не при любой массе урана.¹

Альберт Эйнштейн установил связь между энергией и массой в своем уравнении по выражению 1.1:

$$E = m \cdot C^2 \quad (1.1)$$

где C – скорость света, $3 \cdot 10^8$ м/с; m – масса ядра, кг.

1.4. Развитие атомной энергетики

Данные открытия произвели в научном мире сенсацию: в истории человечества не было научного события, более значительного по своим последствиям, чем проникновение в мир атома и овладение его энергией. Ученые понимали, что главное ее предназначение – производство электроэнергии и применение в других мирных направлениях. С вводом в эксплуатацию в СССР в 1954 г. первой в мире промышленной атомной электростанции мощностью 5 МВт в г. Обнинске началась эра атомной энергетики. Источником производства электроэнергии стало расщепление ядер урана.

На рис. 1.3 представлен график роста установленных мощностей выработки электроэнергии от атомных электростанций в мире.

¹ История открытия деления урана. [Электронный ресурс]: режим доступа:

http://www.physbook.ru/index.php/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0 (дата обращения: 28.02.2022)

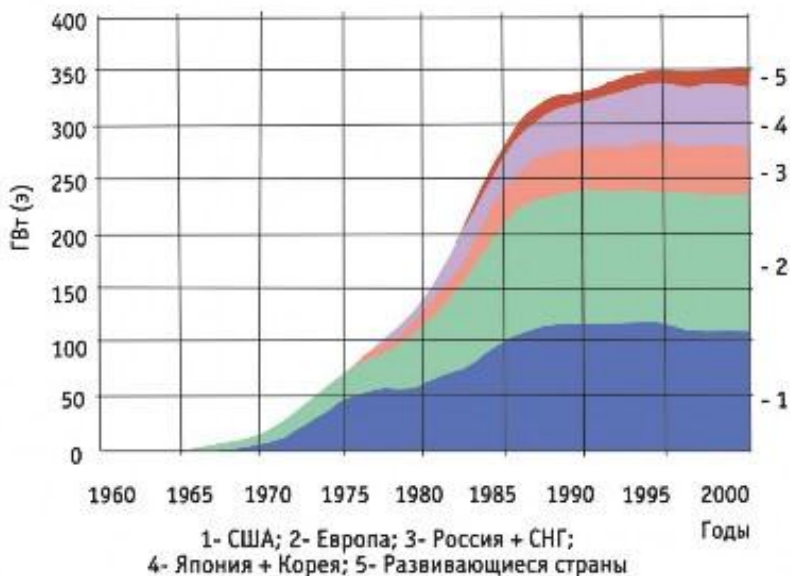


Рисунок 1.3 – График роста установленных мощностей выработки электроэнергии от атомных электростанций в мире

Опыт эксплуатации первых АЭС показал реальность и надежность ядерно-энергетической технологии для промышленного производства электроэнергии. Развитые индустриальные страны приступили к проектированию и строительству АЭС с реакторами разных типов. К 1964 г. суммарная мощность АЭС в мире выросла до 5 млн. кВт.

С этого времени началось стремительное развитие атомной энергетики, которая, внося все более значимый вклад в общее производство электроэнергии в мире, стала новой многообещающей энергетической альтернативой. Начался бум заказов на строительство АЭС в США, позднее в Западной Европе, Японии, СССР. Темпы роста атомной энергетики достигли около 30% в год. Уже к 1986 г. в мире работали на АЭС 365 энергоблоков суммарной установленной мощностью 253 млн.кВт. Практически за 20 лет мощность АЭС увеличилась в 50 раз. Строительство АЭС велось в 30 странах мира (рис.1.3).

К тому времени широкую известность получили исследования Римского клуба – авторитетного сообщества ученых с мировыми именами. Выводы авторов исследований сводились к неизбежности достаточно близкого истощения природных запасов органических энергетических ресурсов, в том числе нефти, ключевых для мировой экономики,

их резкого подорожания в ближайшей перспективе. С учетом этого атомная энергетика пришлось как нельзя более ко времени. Потенциальные запасы ядерного топлива (2.8 U , 2.5 U , 2.2 Th) на длительную перспективу решали жизненно важную проблему топливообеспечения при различных сценариях развития атомной энергетики.

Условия развития атомной энергетики были крайне благоприятны, причем экономические показатели АЭС также вселяли оптимизм, АЭС уже могли успешно конкурировать с ТЭС.

Атомная энергетика позволяла уменьшить потребление органического топлива и резко сократить выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду от ТЭС.

Развитие атомной энергетики базировалось на сформировавшемся энергетическом секторе военно-промышленного комплекса – достаточно хорошо освоенных промышленных реакторах и реакторах для подводных лодок с использованием уже созданного для этих целей ядерного топливного цикла (ЯТЦ), приобретенных знаниях и значительном опыте. Атомная энергетика, имевшая огромную государственную поддержку, успешно вписалась в существующую энергетическую систему с учетом присущих этой системе правил и требований.

Проблема энергетической безопасности, обострившаяся в 70-е годы XX в. в связи с энергетическим кризисом, вызванным резким повышением цен на нефть, зависимостью ее поставки от политической обстановки, заставила многие страны пересмотреть свои энергетические программы. Развитие атомной энергетики, уменьшая потребление органического топлива, снижает энергетическую зависимость стран, не имеющих или имеющих ограниченные собственные топливно-энергетические ресурсы, от их ввоза и укрепляет энергетическую безопасность этих стран.

В процессе быстрого развития атомной энергетики из двух основных типов энергетических ядерных реакторов – на тепловых и быстрых нейтронах – наибольшее распространение в мире получили реакторы на тепловых нейтронах.

Разработанные разными странами типы и конструкции реакторов с разными замедлителями и теплоносителями стали основой национальной ядерной энергетики. Так, в США основными стали водо-водяные реакторы под давлением и кипящие реакторы, в Канаде – тяжеловодные реакторы на природном уране, в бывшем СССР – водо-водяные реакторы под давлением (ВВЭР) и уранографитовые кипящие реакторы (РБМК), росла единичная мощность реакторов. Так, реактор РБМК-

1000 электрической мощностью 1000 МВт был установлен на Ленинградской АЭС в 1973 г. Мощность крупных АЭС, например Запорожской АЭС (Украина), достигла 6000 МВт.²

1.5. Направления применения энергии атома

В настоящее время из всех источников ядерной энергии наибольшее практическое применение имеет энергия, выделяющаяся при делении тяжелых ядер. В условиях дефицита энергетических ресурсов ядерная энергетика на реакторах деления считается наиболее перспективной в ближайшие десятилетия. На атомных электрических станциях ядерная энергия используется для получения тепла, используемого для выработки электроэнергии и отопления. Ядерные силовые установки решили проблему судов с неограниченным районом плавания (атомные ледоколы, атомные подводные лодки, атомные авианосцы).

Энергия деления ядер урана или плутония применяется в ядерном и термоядерном оружии (как пускатель термоядерной реакции и как источник дополнительной энергии при делении ядер нейтронами, возникающими в термоядерных реакциях).

Существовали экспериментальные ядерные ракетные двигатели, но испытывались они исключительно на Земле и в контролируемых условиях, по причине опасности радиоактивного загрязнения в случае аварии.

Атомные электростанции в 2012 году производили 13 % мировой электроэнергии и 5,7 % общего мирового производства энергии³. Согласно отчету Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), на 2013 год насчитывается 436 действующих ядерных энергетических (то есть производящих утилизируемую электрическую и/или тепловую энергию) реакторов в 31 стране мира.⁴ Кроме того, на разных стадиях сооружения находится еще 73 энергетических ядерных реакторов в 15 странах.

² 16.2. Энергия атома. [Электронный ресурс]: режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-2/part-4/section-16/16-2> (дата обращения: 28.02.2022)

³ World Nuclear Association. Another drop in nuclear generation Архивная копия от 1 ноября 2012 на Wayback Machine World Nuclear News, 05 May 2010.

⁴ World Nuclear Power Reactors 2007-08 and Uranium Requirements. World Nuclear Association (9 июня 2008). Дата обращения: 21 июня 2008. Архивировано 3 марта 2008 года.

Энергия термоядерного синтеза применяется в водородной бомбе. Проблема управляемого термоядерного синтеза пока не решена, однако в случае решения этой проблемы он станет практически неограниченным источником дешевой энергии.

Многие нуклиды могут самопроизвольно распадаться с течением времени. Энергия, выделяемая при радиоактивном распаде, используется в долгоживущих источниках тепла и бета-гальванических элементах. Автоматические межпланетные станции типа «Пионер» и «Вояджер», а также марсоходы и другие межпланетные миссии используют радиоизотопные термоэлектрические генераторы. Изотопный источник тепла использовали советские лунные миссии «Луноход-1» и «Луноход-2», проходившие с 17 ноября 1970 года по 14 сентября 1971 года, вторая миссия Лунохода состоялась в январе 1973 года.

1.6. Рекомендуемые видеоматериалы

- Вечная энергия. Замкнутый ядерный топливный цикл. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=OD1lIGKxIOI>.

- Атомная энергия. История. (Redroom). [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=t1riU0nB3v4>.

- Атомная энергия. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=u094HaL9ggw>.

- Ядерные реакции. Простой и понятный советский научный фильм. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=wFzRhHvUrJQ>.

- Что и как: как работает КТ и МРТ и чем отличается? [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=hKao2Ac_Flw.

- Как работает рентгеновский аппарат? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=dHDSJ3nNvo0>.

- Атомная бомба. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=vO_cOQxzZ_4.

1.7. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите о происхождении энергии атома.
2. Как происходит процесс цепной реакции?
3. Приведите пример о практическом применении атомной энергии.
4. Как развивалась атомная энергетика?

5. Что такое атомная энергия?
6. По каким закономерностям происходит цепная реакция ядер урана?
7. Перечислите направления практического применения энергии атома.
8. В соответствии с какими нормативно-техническими актами отображаются условно-графические обозначения элементов объектов атомной энергетики?
9. Что такое КТ и МРТ?
10. Расскажите о принципах функционирования объектов атомной энергетики.

ГЛАВА 2. АТОМНЫЕ РЕАКТОРЫ

В предыдущей главе была представлена информация о принципах применения энергии атома для получения электроэнергии посредством эксплуатации атомных электростанций. Представлены основные принципы функционирования и преимущества применения атомных электростанций малой мощности.

В данной главе представлена информация о принципах функционирования атомных реакторов с описанием элементов и графических интерпретаций.

2.1. Что такое атомный реактор?

Атомный реактор – это установка, в которой осуществляется самоподдерживающаяся управляемая цепная ядерная реакция деления. Ядерные реакторы используются в атомной энергетике и в исследовательских целях.

Основная часть реактора – его активная зона, где происходит деление ядер и выделяется ядерная энергия. Активная зона, имеющая обычно форму цилиндра объемом от долей литра до многих кубометров, содержит делящееся вещество (ядерное топливо) в количестве, превышающем критическую массу.

Ядерное топливо (уран, плутоний) размещается, как правило, внутри тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), количество которых в активной зоне может достигать десятков тысяч. ТВЭЛы сгруппированы в пакеты по несколько десятков или сотен штук.

Активная зона - центральная часть реактора, в которой протекает самоподдерживающаяся цепная реакция деления и выделяется энергия.

Отражатель - материал, предназначенный для уменьшения утечки нейтронов из реактора. В реакторах на тепловых нейтронах он выполняется из тех же материалов, что и замедлитель. В быстрых реакторах в качестве отражателя - экрана используются материалы (Th-232 или U-238), которые при взаимодействии с нейтронами образуют делящиеся нуклиды.

Активная зона в большинстве случаев представляет собой совокупность ТВЭЛов погруженных в замедляющую среду (замедлитель) – вещество, за счет упругих соударений с атомами которого энергия нейтронов, вызывающих и сопровождающих деление, снижается до энергий теплового равновесия со средой. Данные «тепловые» нейтроны обладают повышенной способностью вызывать деление. В качестве замедлителя обычно используется вода (в том числе и тяжелая, D₂O) и

графит.

На рис. 2.1 представлена общая схема атомного реактора.

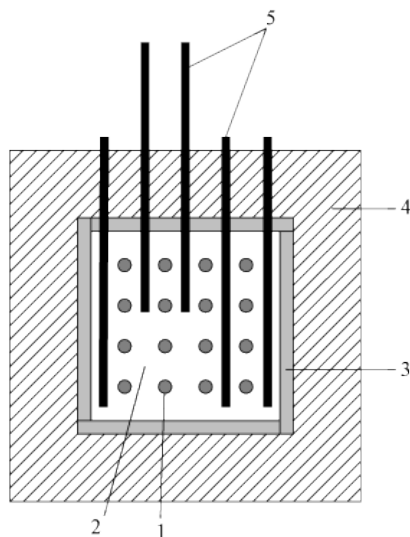


Рисунок 2.1 – Общая схема атомного реактора:

- 1 - ядерное топливо, 2 - замедлитель, 3 - отражатель нейтронов,
4 - защита, 5 - регулирующие стержни

Активную зону реактора окружает отражатель из материалов, способных хорошо рассеивать нейтроны. Этот слой возвращает вылетающие из активной зоны нейтроны обратно в эту зону, повышая скорость протекания цепной реакции и снижая критическую массу. Вокруг отражателя размещают радиационную биологическую защиту из бетона и других материалов для снижения излучения за пределами реактора до допустимого уровня.

В активной зоне в результате деления освобождается в виде тепла огромная энергия. Она выводится из активной зоны с помощью газа, воды или другого вещества (теплоносителя), которое постоянно прокачивается через активную зону, омывая ТВЭЛы. Это тепло может быть использовано для создания горячего пара, вращающего турбину электростанции.

Для управления скоростью протекания цепной реакции деления применяют регулирующие стержни из материалов, сильно поглощающих нейтроны. Введение их в активную зону снижает скорость цепной реакции и при необходимости полностью останавливает ее, несмотря на

то, что масса ядерного топлива превышает критическую. По мере извлечения регулирующих стержней из активной зоны поглощение нейтронов уменьшается, и цепная реакция может быть доведена до стадии самоподдерживающейся.

Первый реактор был пущен в США в 1942 г. В Европе первый реактор был пущен в 1946 г. в СССР.

2.2. Классификация атомных реакторов

По назначению:

- Энергетические (основное требование к экономичности термодинамического цикла).
- Исследовательские (пучки нейтронов с определенной энергией).
- Транспортные (компактность, маневренность).
- Промышленные (для наработки плутония, низкотемпературные, работают в форсированном режиме);
- Многоцелевые (например, для выработки электроэнергии и опреснения морской воды)

Требования к энергетическим реакторам определяются прежде всего экономичностью термодинамического цикла и в связи с этим стремлением к повышению его параметров. Двух- и многоцелевые реакторы, например для выработки электроэнергии и опреснения морской воды, должны сочетать в себе требования той и другой направленности.

По виду замедлителя:

- Легководные (наиболее компактны).
- Графитовые (в расчете на единицу мощности имеют наибольшие размеры).
- Тяжеловодные (несколько меньших размеров по сравнению с графитовыми).

Наиболее компактны реакторы с обычной водой в качестве замедлителя. Графитовые реакторы в расчете на единицу мощности имеют наибольшие размеры. Несколько меньшими размерами обладают тяжеловодные реакторы. Это обусловлено замедляющими свойствами замедлителя и связано с пробегом нейтронов при замедлении. Наилучшей замедляющей способностью обладает обычная вода, наихудшей — графит. Примерно в обратном порядке можно расставить указанные замедлители в отношении коэффициента замедления, исключая тяжелую воду, обладающую наивысшим коэффициентом замедления. Именно в тяжеловодных реакторах можно получить критическую массу на природном уране с большим запасом реактивности. С заметно

большими ограничениями можно сконструировать реактор на природном уране с графитовым замедлителем. При использовании легководного замедлителя требуется только обогащенный уран, так как вода не только хорошо замедляет нейтроны, но и заметно поглощает их. В качестве замедлителя можно использовать бериллий. Но из-за его высокой стоимости и токсичности он применяется только в специальных реакторах и чаще в качестве отражателя.

По виду теплового носителя:

- Легководные (наиболее распространенные).
- Газоохлаждаемые (также широко распространены).
- Тяжеловодные (редко применяемые и только там, где замедлитель тоже тяжелая вода).

- Жидкометаллические (в реакторах на быстрых нейтронах).

Наиболее распространенный теплоноситель — обычная вода. Тяжелая вода из-за ее высокой стоимости в качестве теплоносителя используется редко и только в реакторах, в которых она может быть и замедлителем. Заметное распространение получил газовый теплоноситель. Это единственно возможный теплоноситель в высокотемпературных реакторах. Расплавленные металлы получили применение в реакторах на быстрых нейтронах.

По энергетическому спектру нейтронов:

- На тепловых нейтронах (наиболее освоенные, требуют наименьшей удельной загрузки ядерного топлива по делящемуся изотопу).

- На быстрых нейтронах (так называемые «быстрые реакторы» предназначены также и для воспроизводства ядерного топлива).

- На промежуточных нейтронах (только в специальных исследовательских установках).

По конструкционному исполнению:

- Корпусные.
- Канальные.
- Реакторы бассейнового типа.

В корпусных реакторах давление теплоносителя несет корпус, в канальных — каждый отдельный канал. Это определяется возможностью непосредственного контакта теплоносителя и замедлителя. Там, где это невозможно, теплоноситель протекает в специальных каналах, в которых размещаются ТВС. Стенки каналов рассчитываются на полное давление теплоносителя и предотвращают контакт его с замедлителем.

По топливу классификация реакторов весьма разнообразна: по обогащению (на природном и обогащенном уране), по агрегатному состоянию топлива (на металлическом природном уране, легированном

уране, керамическом топливе, расплавах), по воспроизводящему материалу (с уран-плутониевым или ториевым циклом). Наибольшее распространение пока получили реакторы с твердым керамическим топливом и уран-плутониевым циклом.

По спектру нейтронов:

- Реактор на тепловых (медленных) нейтронах («тепловой реактор»).
- Реактор на быстрых нейтронах («быстрый реактор»).
- Реактор на промежуточных нейтронах.
- Реактор со смешанным спектром.

2.3. Классификация атомных реакторов по стандартам МАГАТЭ

Международное агентство по атомной энергии использует следующую классификацию основных типов энергетических ядерных реакторов в соответствии с применяемыми в них материалами теплоносителя и замедлителя:

- *PWR (pressurized water reactor)* — реактор с водой под давлением, в котором легкая вода является и теплоносителем и замедлителем (например ВВЭР);

- *BWR (boiling water reactor)* — кипящий реактор, в котором, в отличие от PWR, образование пара, подаваемого на турбины, происходит непосредственно в реакторе;

- *FBR (fast breeder reactor)* — реактор-размножитель на быстрых нейтронах, не требующий наличия замедлителя;

- *GCR (gas-cooled reactor)* — газоохлаждаемый реактор. В качестве замедлителя используется как правило графит;

- *LWGR (light water graphite reactor)* — графито-водный реактор, например РБМК;

- *PHWR (pressurised heavy water reactor)* — тяжеловодный реактор;

- *HTGR (high-temperature gas-cooled)* — высокотемпературный газоохлаждаемый реактор;

- *HWGCR (heavy-water-moderated, gas-cooled reactor)* — газоохлаждаемый реактор с тяжеловодным замедлителем;

- *HWLWR (heavy-water-moderated, boiling light-water-cooled reactor)* — кипящий реактор с замедлителем из тяжелой воды;

- *PBMR (pebble bed modular reactor)* — модульный реактор с шаровыми ТВЭлами;

- *SGHWR (Steam-Generating Heavy-Water Reactor)* — кипящий

тяжеловодный реактор.

Наиболее распространенными в мире являются водо-водяные - ВВЭР (около 62 %) и кипящие (20 %) реакторы.

2.4. Виды атомных реакторов

Атомные электростанции классифицируются в соответствии с установленными на них реакторами:

1. Реакторы на тепловых нейтронах, использующие специальные замедлители для увеличения вероятности поглощения нейтрона ядрами атомов топлива.

1.1. Реакторы на легкой воде.

1.2. Графитовые реакторы.

1.3. Реакторы на тяжелой воде.

2. Реакторы на быстрых нейтронах.

3. Субкритические реакторы, использующие внешние источники нейтронов.

4. Термоядерные реакторы.

2.5. Описание функционирования тепловой схемы АЭС с реактором типа РБМК-1000

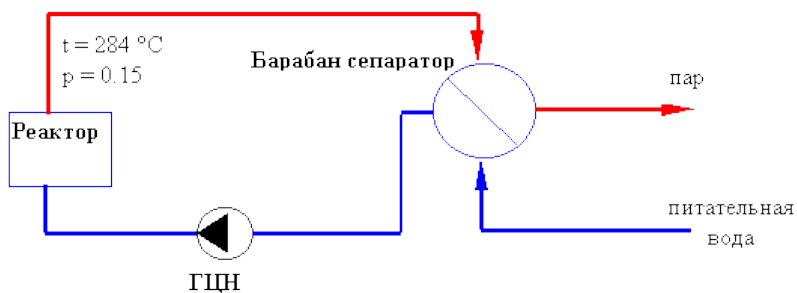
Рассмотрим работу реакторной установки РБМК-1000, используя определения и понятия, введенные ранее. Реакторная установка РБМК- 1000 является одноконтурной по теплоносителю, поскольку вода пройдя реактор, нагревшись и частично испарившись, в виде пара поступает в турбину и совершив работу снова возвращается в реактор. Но в тепловой схеме можно выделить два тепловых контура, со своими источниками и потребителями тепловой энергии.

Источником тепловой энергии, как и на всех АЭС, является активная зона реактора. В качестве теплоносителя используется вода, которая проходя через активную зону реактора частично испаряется. На выходе из реактора вода содержит в среднем 15% пара (паросодержание $p = 0.15$). Давление воды в трактах теплоносителя 0.7 МПа (около 70 атм.) при таком давлении температура кипения воды 284 ° С. Пароводяная смесь из реактора направляется в барабан сепаратор, который в тепловом контуре, выполняет роль потребителя тепловой энергии. В барабане сепараторе из пароводяной смеси забирается пар и добавляется питательная вода, на выходе из барабана сепаратора мы получаем воду в качестве "холодного" теплоносителя, причем температура практически остается такой же.

В качестве способа теплообмена используется вынужденная кон-

векция, другими словами используется насос для прокачки теплоносителя через активную зону реактора.

На основании вышеизложенного можно изобразить тепловую схему для контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) реактора РБМК-1000 в виде рис. 2.2.



ГЦН – главный циркуляционный насос

Рисунок 2.2 – Схема КМПЦ реактора РБМК-1000

Даже такая простая схема позволяет сделать прикидочный расчет. По известной тепловой мощности реактора, и паросодержанию на выходе из реактора можно определить необходимый расход воды через реактор.

Тепловая мощность реактора: $Q = 3200\text{ МВт} = 3200 \cdot 10^6\text{ Вт}$

Удельная теплота парообразования:

$$R = 1556\text{ кДж / кг} = 1556 \cdot 10^3\text{ Дж / кг}$$

Паросодержание на выходе из реактора: $p = 0.15$,

$$Q = R \cdot p \cdot m$$

$$m = \frac{Q}{R \cdot p} = \frac{3200 \cdot 10^6}{1556 \cdot 10^3 \cdot 0.15} = 13710\text{ кг / сек}$$

На рис. 2.3 представлена схема второго теплового контура РБМК-100.

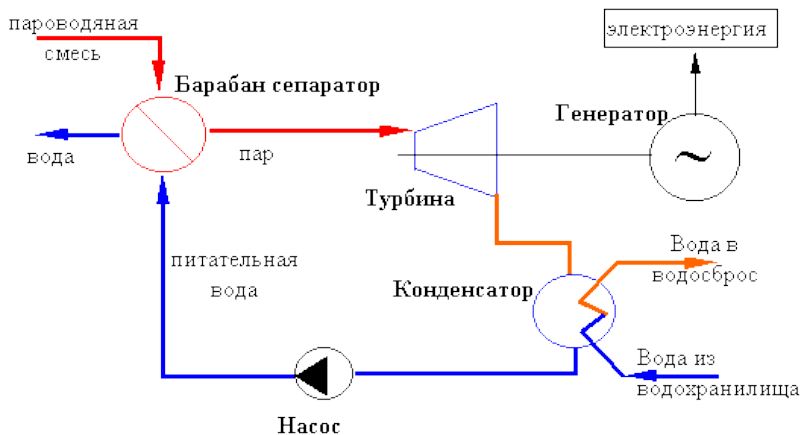


Рисунок 2.3 – Схема второго теплового контура РБМК-100

Барaban сепаратор, забирая тепловую энергию вместе с паром из первого контура, где он является потребителем, отдает ее во второй контур. Следовательно, он является источником тепловой энергии для второго теплового контура.

«Горячим» теплоносителем является пар, отделенный от пароводяной смеси в барабане сепараторе. Температура пара около 284°C давление $P = 7 \text{ МПа}$.

После барабана сепаратора, пар поступает в турбину, где он вращает ротор (происходит преобразование тепловой энергии в механическую), турбина является потребителем тепловой энергии. С ротором турбины жестко связан ротор электрического генератора, вырабатывающий электроэнергию. Параметры пара на выходе из турбины: температура - 30°C , давление $P = 0.004 \text{ МПа}$. После турбины пар необходимо перевести в жидкое состояние, то есть превратить воду, этот процесс происходит в конденсаторе. Пар в конденсаторе отдает свою тепловую энергию воде, которая поступает из пруда охладителя, конденсатор, таким образом, также является потребителем энергии. На выходе из конденсатора мы получаем воду, с параметрами близким к параметрам пара, которая является "холодным" теплоносителем для второго теплового контура. Эта вода, пройдя через несколько вспомогательных устройств, становится питательной водой и с помощью питательного насоса подается в барабан сепаратор.

Следует понимать, что выше описанная схема является, только приближением к реальной тепловой схеме. В ней отражены только ключевые элементы необходимые для понятия базовых принципов работы

энергоустановки. Такие важные элементы как деаэратор, конденсатный насос, промежуточные подогреватели, не показаны в данной схеме.

В схеме присутствуют два потребителя тепловой энергии. Первый - турбина преобразует тепловую энергию в механическую, которая в генераторе преобразуется в электрическую, таким образом совершается полезное преобразование энергии. Второй потребитель - конденсатор превращает тепловую энергию пара в тепловую энергию воды водохранилища. Как было отмечено выше тепловая мощность реактора РБМК-1000 приблизительно 3200 МВт а электрическая мощность реакторной установки 1000 МВт. 2200 МВт тратится на обогрев водохранилища и окружающей среды. Получение незамерзающего зимой водоема с большой натяжкой можно назвать полезным преобразованием энергии, однако обойтись без таких потерь тепловой энергии невозможно. В термодинамике есть теорема о предельном КПД (коэффициент полезного действия) для преобразования тепловой энергии в механическую.

Попробуем понять, не пользуясь этой теоремой, необходимость конденсатора в тепловой схеме. В турбине происходит снижение температуры и давления пара за счет совершения работы (вращение ротора), понятно что температуру и давление нельзя снижать бесконечно (трудно получить арктическую температуру, и космический вакуум без дополнительных и дорогих установок), поэтому на выходе из турбины мы получаем пар с температурой - 30°C , давлением $P - 0.004\text{ МПа}$ (0.04 атм.). Однако даже такой пар, который нельзя использовать, ни для обогрева, ни для вращения ротора турбины, содержит количество тепловой энергии почти в два раза большее чем он отдал проходя через турбину. Эта энергия передается охлаждающей воде в конденсаторе при превращении пара в воду, температура при этом остается приблизительно 30° .

На рис. 2.4 представлена схема функционирования источника тепловой энергии АЭС.

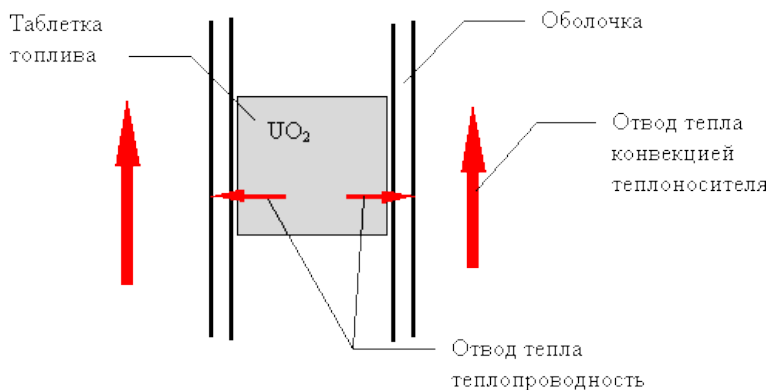


Рисунок 2.4 – Схема функционирования источника тепловой энергии АЭС

Как уже говорилось ядерная энергия высвобождается в результате деления ядер. Основным делящимся элементом, в большинстве современных энергетических реакторов, являются ядра урана, а именно изотопа с атомной массой 235 (^{235}U). Обычно топливо применяется в виде таблеток UO_2 помещенных в металлическую трубку. В реакторе РБМК трубка диаметром 13.5 мм выполнена из циркониевого сплава. Герметично заваренная заглушками трубка, с таблетками топлива называется тепловыделяющим элементом (ТВЭЛ). ТВЭЛы, в работающем реакторе, омываются потоком теплоносителя.

В результате деления, тепловая энергия выделяется в таблетке, которая нагревается. За счет теплопроводности тепловая энергия передается на оболочку. Теплоноситель омывая оболочку снимает тепловую энергию и нагревается, в РБМК теплоноситель частично испаряется.

На рис. 2.5-2.6 представлены внешние виды реакторной установки РБМК-1000.

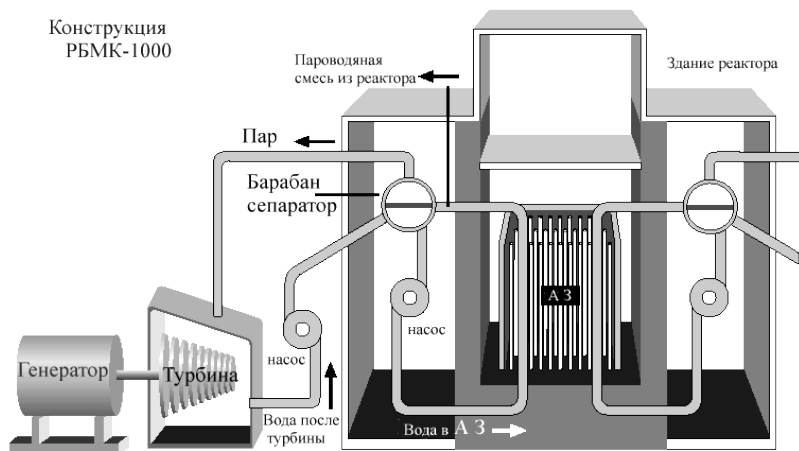


Рисунок 2.5 – Внешний вид реакторной установки РБМК-1000

Как уже упоминалось, при рассмотрении способов теплообмена, чем больше разность температур между горячей и холодной точками, тем больше тепловой поток. Однако температуру нельзя поднимать до бесконечности, максимальная температура таблетки топлива ограничена температурой плавления, для UO_2 она составляет приблизительно 1800 град С. Самая горячая точка таблетки находится в ее середине. Для оболочки твэла из циркония, максимальная температура 320-350 град С. При большей температуре его прочностные характеристики ухудшаются (повышается ползучесть). В процессе эксплуатации реактора необходимо не допускать превышение предельных температур, поскольку разрушение ТВЭЛа ведет к выходу сильно радиоактивных продуктов деления в теплоноситель и их разнос по трубопроводам.

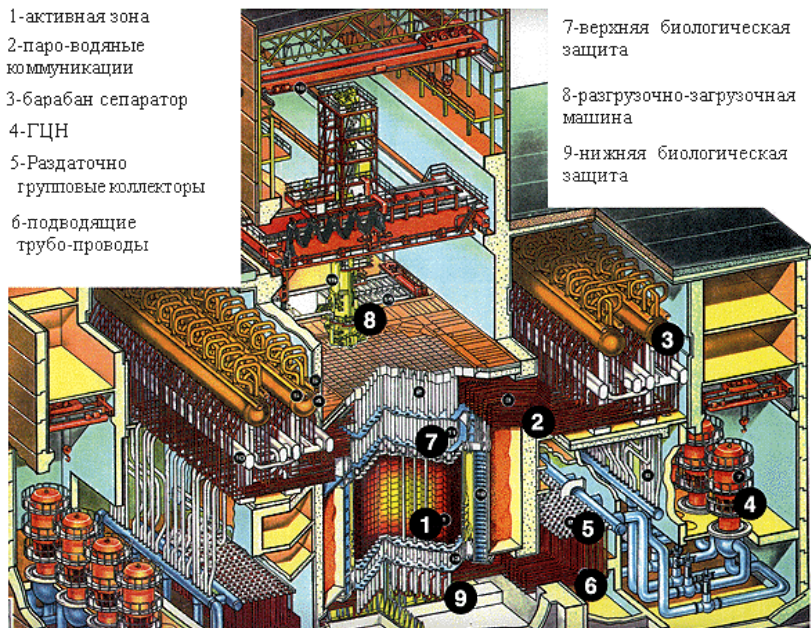


Рисунок 2.6 – Внешний вид реакторной установки РБМК-1000 внутри АЭС

2.6. Описание атомного реактора малой мощности «РИТМ 200»

РИТМ-200 — водо-водяной ядерный реактор, разработанный в ОКБМ имени И. И. Африкантова. Два таких реактора будет установлено на новом атомоходе «Арктика», который неделю назад был спущен на воду на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге. Планируется ввод в эксплуатацию АЭС малой мощности на северной части Якутии в п. Усть-Куйга на базе реакторной установки «РИТМ 200» к 2028 году.

На рис. 2.7 представлен внешний вид реакторной установки «РИТМ 200».



Рисунок 2.7 – Внешний вид реакторной установки «РИТМ 200»

Мощность одного реактора РИТМ-200 составит около 175 МВт. Поскольку в случае ледоколов говорить об электрической мощности реактора не совсем правильно (корабль во многом использует именно тепло реактора и преобразует энергию полученного пара прямо в мощность на валу), то вместо привычной электрической мощности реактора, которой обычно подразумевают в случае энергетических блоков АЭС, для реактора РИТМ-200 указывается тепловая мощность. Учитывая, что КПД современных блоков АЭС обычно составляет около 34%, тепловая мощность современного ВВЭР-1000, самого массового российского реактора в эксплуатации, составляет около 3000 МВт, при его чистой, электрической мощности чуть менее или чуть более 1000 МВт, в зависимости от поколения реактора. Таким образом, показанный на рис. 3.7 фото РИТМ-200 где-то в 17 раз меньше ВВЭР-1000 по мощности.

РИТМ-200, как и ВВЭР-1000 относится к так называемым легководным или водо-водяным реакторам под давлением, которые де-факто стали сегодня уже стандартом атомной отрасли. ВВЭР, кстати, так и расшифровывается — «водо-водяной энергетический реактор». Двойное поминание воды в названии реактора связано с тем, что наша обычная, «легкая» противая вода выступает в такого рода реакторе и замедлителем нейтронов, и основным теплоносителем, позволяя охлаждать активную зону реактора и, с другой стороны, нагревать воду второго контура, которая уже крутит турбину.

В английской транскрипции эта технология реактора называется PWR («реактор с водой под давлением») и тоже описывает его принципиальную конструкцию, просто с иной стороны, физической. Такой

подход отличает реакторы ВВЭР/PWR от другого типа легководных реакторов, так называемых «реакторах на кипящей воде» (BWR), в которых вода первого, «грязного» реакторного контура начинает кипеть еще в корпусе реактора, что во многом упрощает его конструкцию, хотя и за счет усложнения контуров управления.

В СССР, а потом и в России «кипятильники»-BWR особо не прижились, поэтому и термин «реактор с водой под давлением» стал не настолько популярным. Вот краткая, весьма упрощенная анимация действия обычного ВВЭР/PWR:

На ней легко можно понять основные этапы технологического цикла такого реактора: реактор нагревает воду первого контура, которая одновременно охлаждает его активную зону, не давая ей расплавиться и повредить конструкцию реактора, вода первого контура, циркулируя по замкнутому циклу без возможности кипения (в силу большого давления) попадает в парогенератор. В парогенераторе, который представляет из себя громадный теплообменник, происходит передача тепла от воды первого контура к воде второго контура, а уже вода второго контура, которая не имеет контакта с активной зоной реактора, крутит лопасти паровой турбины, находящейся на одном валу с электрогенератором.

На рис. 2.8 представлена схема-разрез реакторной установки «РИТМ 200».

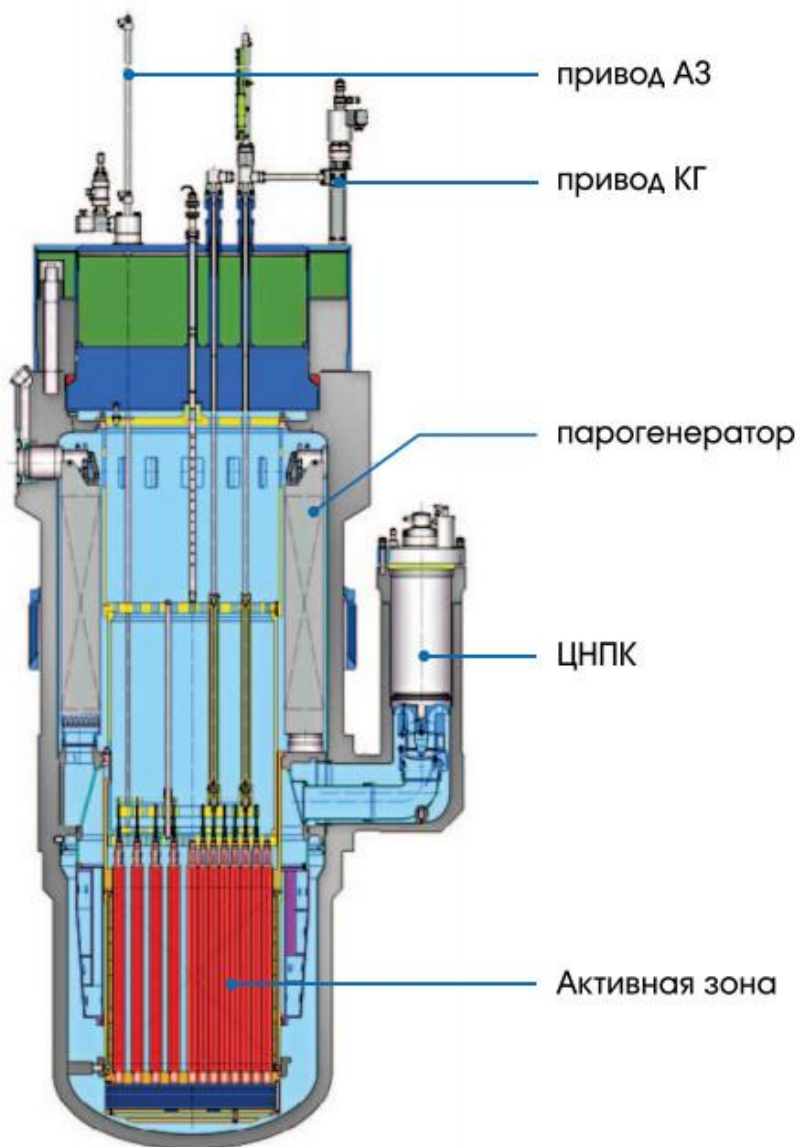


Рисунок 2.8 – Схема-разрез реакторной установки «РИТМ 200»

Параметры работы реакторной установки «РИТМ 200»:

- Период непрерывной работы — 26 000 часов.
- Срок между перегрузками — до 10 лет.
- Назначенный срок службы — не заменяемого оборудования — 40 лет, заменяемого оборудования — 20 лет.
- Назначенный ресурс — не заменяемого оборудования — 320 000 часов, заменяемого оборудования — 160 000 часов.
- Обогащение топлива — не более 20%.
- Коэффициент использования установленной мощности — 0,65.
- Рабочее давление первого контура, МПа — 15,7;
- Температура первого контура — 277 на вход, 313 на выход;
- Расход теплоносителя первого контура через АЗ (активную зону), 3250 тонн в час;
- Паро- производительность — 248 тонн в час (295 С°, 3.82 МПа)
- Размеры для двух РУ (реакторная установка) в пределах ЗО (защитной оболочки) — $6 \times 13,2 \times 15,5$ метров.
- Физический размер — 6×6 метров с полной массой около 1000 тонн. Интегрированный корпус ПГБ (паро-генерирующий блок), позволивший существенно снизить массу и габариты РУ в пределах ЗО.
- Низкообогащенная кассетная активная зона, по конструктивному исполнению аналогичная активной зоне реактора КЛТ-40С РУ ПАТЭС, обеспечивающая высокую продолжительную работу без перезарядки и выполнение требований нераспространения.
- Увеличенный ресурс и срок службы основного оборудования до заводского ремонта.
- Увеличены резервы времени для принятия решений в аварийных ситуациях.

2.7. Рекомендуемые видеоматериалы

- Проверено Арктикой. Как работает самая северная АЭС в мире. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=rP9q2V8GPc4>.
- Плавучая атомная электростанция и ее перспективы. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=jkrM1SOqN_M.
- Первая в мире плавучая АЭС прибыла в Певек. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=c9iiAt1-IJc>.
- Развитие российских судовых атомно-энергетических реакторов | РИТМ-200. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=xdsTtfcLOKU>.

• Изготовление реактора РИТМ-200 для ледокола Урал. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=US18KC9NHa0>.

• ВВЭР-1200. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=AVncAw2QQhM>.

2.8. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите об реакторной установке «РИТМ 200».
2. Укажите полную классификацию атомных реакторов по стандартам МАГАТ.
3. Укажите полную классификацию атомных реакторов по общим стандартам.
4. Какие существуют виды атомных реакторов?
5. Опишите функционирование атомного реактора «РБМК-1000».
6. Укажите преимущества реакторной установки «РИТМ 200»?
7. По какой системе работает АЭС в г. Певеке?
8. Какие существуют тренды в области АЭС малой мощности?
9. Расскажите про технологическую схему производства э/э в одноконтурных АЭС.
10. Расскажите про технологическую схему производства э/э в двухконтурных АЭС.

ГЛАВА 3. АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В предыдущей главе была представлена информация о принципах применения энергии атома и истоках данного вида энергии. Определены конкретные направления практического применения энергии атома.

В данной главе представлена информация о принципах функционирования атомной электростанции с описанием элементов и графических интерпретаций.

3.1. Что такое атомная электростанция?

Атомная электростанция (АЭС) – ядерная установка, использующая для производства электрической (и в некоторых случаях тепловой) энергии ядерный реактор (реакторы) и содержащая комплекс необходимых сооружений и оборудования.

Атомная электростанция – комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений, предназначенный для производства электрической энергии. В качестве топлива станция использует уран-235. Наличие ядерного реактора отличает АЭС от других электростанций.

На рис. 3.1 представлены три взаимных преобразования форм энергии на АЭС.

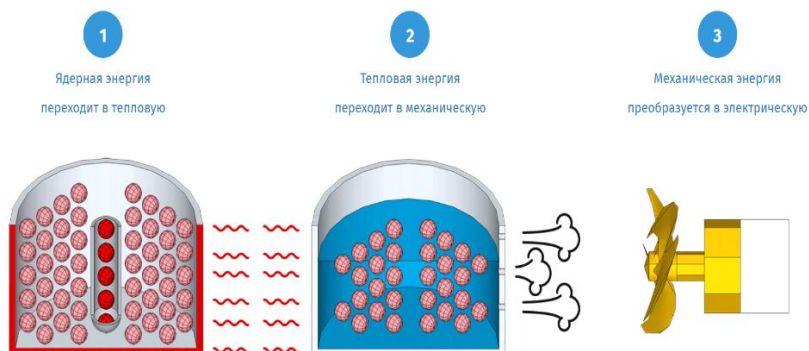


Рисунок 3.1 – Преобразования форм энергии на АЭС

Реактор

Основой АЭС является реактор – конструктивно выделенный объем, куда загружается ядерное топливо и где протекает управляемая цепная реакция. Уран-235 делится медленными (тепловыми) нейтронами. В результате выделяется огромное количество тепла.

Парогенератор

Тепло отводится из активной зоны реактора теплоносителем – жидким или газообразным веществом, проходящим через ее объем. Эта тепловая энергия используется для получения водяного пара в парогенераторе.

Электрогенератор

Механическая энергия пара направляется к турбогенератору, где она превращается в электрическую и дальше по проводам поступает к потребителям.

На рис. 3.2-3.3 представлены общие схемы функционирования атомной электростанции.⁵

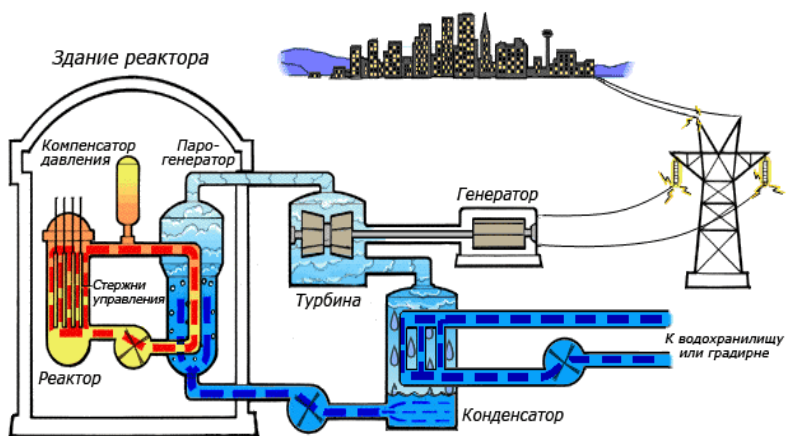


Рисунок 3.2 – Общая схема функционирования атомной электростанции

⁵ Как работает АЭС? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/powerplant/> (дата обращения: 01.03.2022).

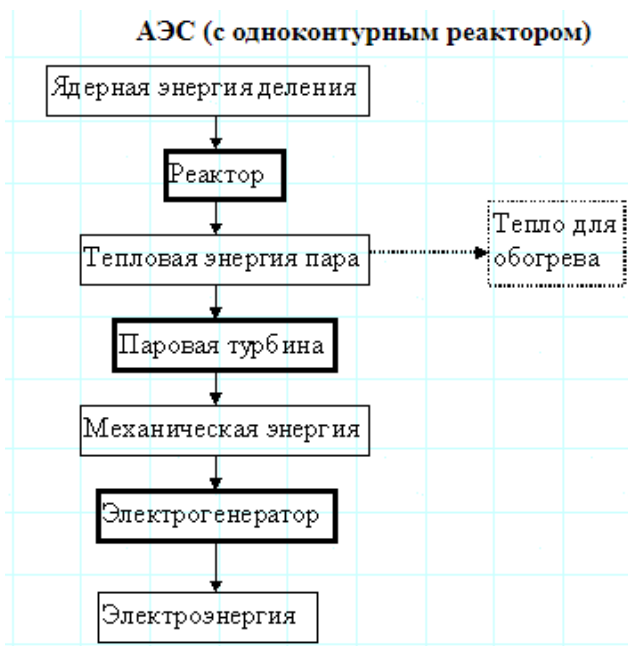


Рисунок 3.3 – Общая схема функционирования атомной электростанции

В активной зоне реактора находятся стержни с топливом (чаще всего это оксид урана). При пуске реактора создаются условия, при которых из ядер урана вылетают нейтроны. У них довольно высокая скорость, и часть из них врывается в соседние ядра. Эти ядра раскалываются на две примерно равные части, при этом появляются 2-3 новых нейтрона. Процесс повторяется. Это и есть цепная реакция (ее часто изображают, как принцип домино).

Образовавшиеся осколки деления обладают большой кинетической энергией, которая переходит в тепло при их торможении. Оно поглощается теплоносителем, который подается в активную зону циркуляционными насосами. В качестве теплоносителя обычно используется очищенная вода (в реакторах на быстрых нейтронах это жидкий металл — натрий). Для эффективности вода находится под высоким давлением (до 160 атмосфер) и нагревается до 324 градусов (это данные для реактора ВВЭР-1000). Теплоноситель, напрямую соприкасаясь с топливными сборками, становится радиоактивным. Поэтому он замкнут в первом герметичном контуре и не покидает пределов энергоблока (на схеме красно-оранжевая циркуляция).

Внутри парогенератора тоже вода, но уже меньшего давления (60 атмосфер). Она «снимает» тепло с первого контура, но не соприкасается с водой внутри него. Этого тепла достаточно, чтобы образовался пар. Пар поступает на турбину, где заставляет вращаться лопасти (это вращение и становится электричеством в генераторе). Затем пар поступает в конденсатор, где остывает и снова поступает в парогенератор. Это второй контур, который является замкнутым, но в отличие от первого контура вода/пар в нем не радиоактивны.

По своему устройству он напоминает парогенератор. Второй контур охлаждается за счет воды извне. Эта вода поступает из пруда-охладителя. Иногда пруда мало, и тогда приходится строить огромные сооружения — градирни. Их часто называют трубами, но правильнее — охладительными башнями. Из конденсатора нагретая вода подается внутрь градирни, где частично вода испаряется. За счет испарения и конденсации на стенках башни в целом вода остывает и снова попадает в конденсатор. Важно, что из градирен в атмосферу попадает только чистый пар, никаких вредных выбросов нет.

3.2. Система безопасности АЭС

Высокая степень безопасности АЭС России обеспечена множеством факторов. Основные из них — это принцип самозащищенности реакторной установки, наличие нескольких барьеров безопасности.

Системы безопасности на АЭС постоянно совершенствуются. Инженеры во всем мире учитывают аварийные ситуации на АЭС в разных странах и учитывают их в своих расчетах. Например, реакторные установки сегодня строятся исключительно в контейнентах — массивных герметичных оболочках, которые в случае аварии предотвратят выброс радиоактивных веществ в атмосферу. Это настолько крепкие конструкции, что они способны выдержать падение самолета весом в 20 т, ураганы (при скорости ветра до 56 м/с) и даже ударную волну от взрыва с давлением 30 КПа.

Применение на современных российских атомных энергоблоках активных (то есть требующих вмешательства человека и наличия источника энергоснабжения) и пассивных (не требующих вмешательства оператора и источника энергии) систем безопасности. Кроме того, на всех станциях действует культура безопасности на всех этапах жизненного цикла: от выбора площадки (обязательно только в тех местах, где отсутствуют запрещающие факторы) до вывода из эксплуатации. Во многом благодаря сочетанию этих элементов опыт стабильной эксплуатации водо-водяных реакторов ВВЭР составляет уже более 1400 реакторо-лет.

На рис. 3.4 представлена общая схема системы безопасности АЭС на примере государственной корпорации «Росатом».



Рисунок 3.4 – Общая схема системы безопасности АЭС на примере государственной корпорации «Росатом»

На всех российских станциях после аварии на Чернобыльской АЭС были проведены дополнительные исследования возможных аварийных ситуаций и путей их преодоления. Были предприняты усилия по минимизации роли человеческого фактора в кризисных ситуациях, была проведена модернизация систем безопасности на старых станциях. В результате на всех действующих станциях нашей страны есть несколько систем, которые включаются одна за другой в случае возникновения ситуации обесточивания, полностью исключая возможность такого развития событий, какое имело место в Японии.

На всех российских атомных станциях установлена автоматическая система контроля радиационной обстановки (АСКРО). Она предусматривает наличие датчиков, которые фиксируют уровень радиации вокруг радиационно опасных объектов в режиме реального времени.

Если рассматривать безопасность АЭС, получивших разрешение на продление сроков эксплуатации, то любое подобное продление – это итог масштабной работы по проверке состояния всех систем и конструктивных материалов. При продлении принимается во внимание ресурс оборудования, получают подтверждения конструкторов, которые обязаны гарантировать безопасность своего объекта сверх проектных сроков. Только при наличии таких гарантий может быть вынесено решение о продлении. На всех энергоблоках АЭС, получивших лицензию Ростехнадзора на продление срока службы сверх проектного, был выполнен комплекс работ по крупномасштабной модернизации и замене оборудования и систем АЭС, обеспечивших достижение уровня современных требований к состоянию безопасности АЭС.

Однако бесконечно продлением заниматься нельзя, потому что есть фактор старения материалов, кроме того, невозможно на старые реакторы поставить некоторые новые системы безопасности. Поэтому идет работа по строительству в Российской Федерации новых энергоблоков взамен выбывающих старых. На каждом из них стоимость систем безопасности, предотвращающих радиоактивное воздействие на население и окружающую среду при самых неблагоприятных условиях (падение тяжелого самолета, землетрясение, цунами, взрывная волна), составляет около 40% от общей стоимости сооружения. Конечная цель – гарантировать, что ни при каком сценарии не будет угрозы выхода радиоактивности за пределы площадки.

На рис. 3.5 представлена общая схема системы безопасности реакторов АЭС на примере государственной корпорации «Росатом».

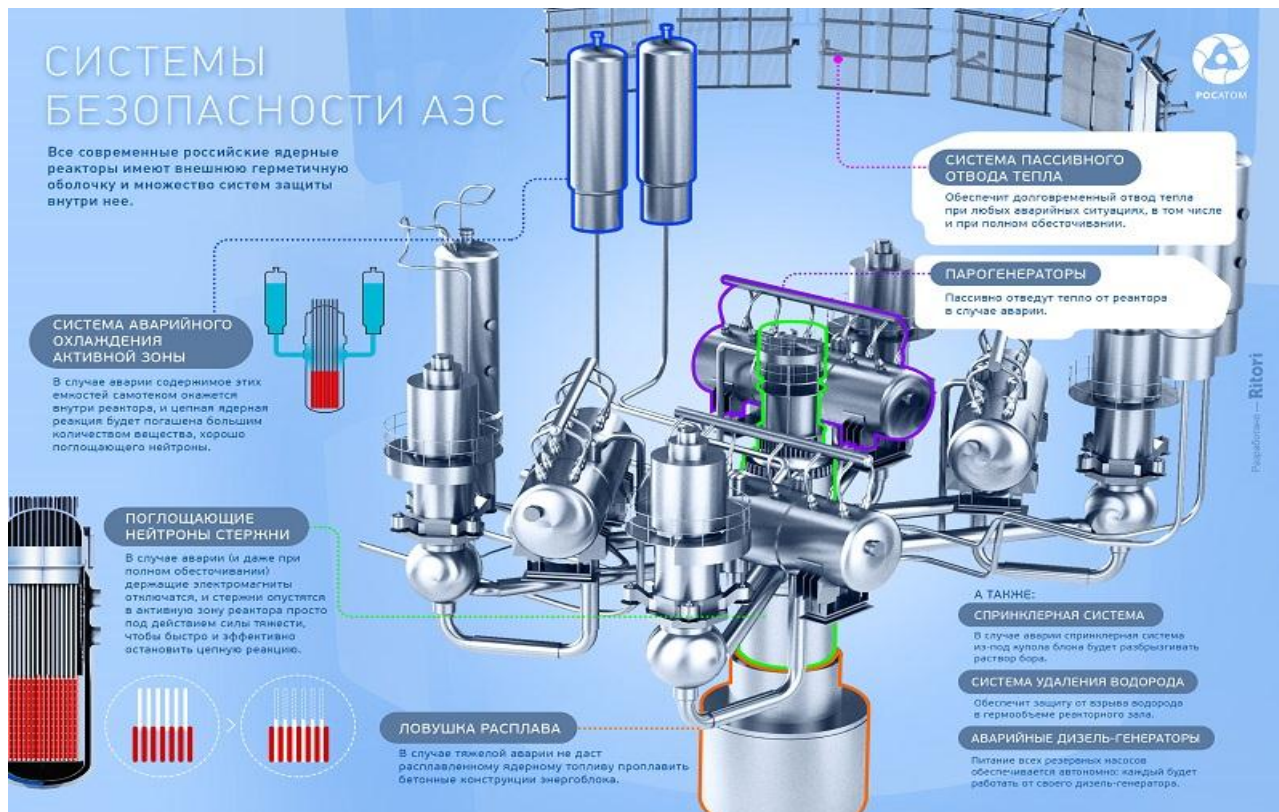


Рисунок 3.5 – Общая схема системы безопасности реакторов АЭС на примере государственной корпорации «Росатом».

3.3. Преимущества и недостатки атомных электростанций

Достоинства атомных электростанций:

1. Отсутствие вредных выбросов.
2. Выбросы радиоактивных веществ в несколько раз меньше угольной эл. станции аналогичной мощности (зола угольных ТЭС содержит процент урана и тория, достаточный для их выгодного извлечения).
3. Небольшой объем используемого топлива, возможность после его переработки использовать многократно.
4. Высокая мощность: 1 000-1 600 МВт на энергоблок.
5. Низкая себестоимость энергии, особенно тепловой.

Недостатки атомных электростанций:

1. Облученное топливо опасно, требует сложных и дорогих мер по переработке и хранению.
2. Нежелателен режим работы с переменной мощностью для реакторов, работающих на тепловых нейтронах.
3. При низкой вероятности инцидентов, последствия их крайне тяжелы
4. Большие капитальные вложения, как удельные, на 1 МВт установленной мощности для блоков мощностью менее 700—800 МВт, так и общие, необходимые для постройки станции, ее инфраструктуры, а также в случае возможной ликвидации.

3.4. Классификация атомных электростанций

По мощности генерации электроэнергии:

- Микро- мощности – до 10 МВт.
- Малой мощности – до 300 МВт.
- Высокой мощности – от 300 МВт до 700 МВт и более.

По типу реакторов:

- Реакторы на тепловых нейтронах, использующие специальные замедлители для увеличения вероятности поглощения нейтрона ядрами атомов топлива.
- Реакторы на легкой воде.
- Реакторы на тяжелой воде.
- Реакторы на быстрых нейтронах.
- Субкритические реакторы, использующие внешние источники нейтронов.

- Термоядерные реакторы.

По виду отпускаемой энергии:

- Атомные электростанции (АЭС), предназначенные для выра-

ботки электрической энергии. При этом на многих АЭС есть теплофикационные установки, предназначенные для подогрева сетевой воды, используя тепловые потери станции.

- Атомные теплоэлектроцентрали (АТЭЦ), вырабатывающие как электроэнергию, так и тепловую энергию.

3.5. Технологические схемы производства электроэнергии в атомных электростанциях

Тепловые схемы атомных электростанций зависят от типа реактора, вида теплоносителя, состава оборудования. Тепловые схемы могут быть одно-, двух- и трехконтурными.

3.5.1. Технологические схемы производства электроэнергии в одноконтурных АЭС

В одноконтурных схемах (рис. 3.6) пар вырабатывается непосредственно в атомном реакторе. Полученная пароводяная смесь (паросодержанием до 15 %) подается в барабан-сепаратор, отсепарированный насыщенный пар поступает в паровую турбину. Отрабатывший в турбине пар конденсируется, и конденсат циркуляционным насосом подается в реактор. Одноконтурная схема наиболее проста в конструктивном отношении и достаточно экономична. Однако рабочее тело на выходе из реактора становится радиоактивным, что предъявляет повышенные требования к биологической защите и затрудняет проведение контроля и ремонта оборудования.

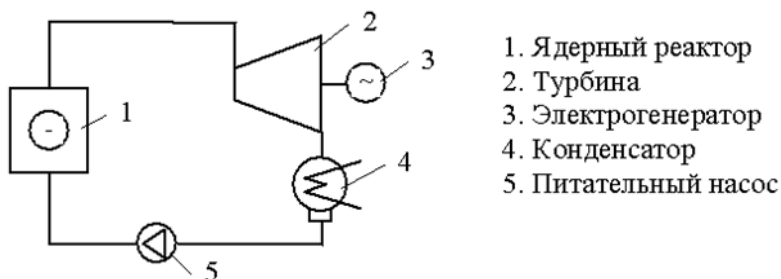


Рисунок 3.6 – Общая схема одноконтурной тепловой схемы АЭС

На рис. 3.7 представлена принципиальная схема одноконтурных АЭС, построенных в России с реакторами РБМК-1000. Одноконтурной она называется потому, что и через реактор, и через паротурбинную установку циркулирует одно и то же рабочее тело.

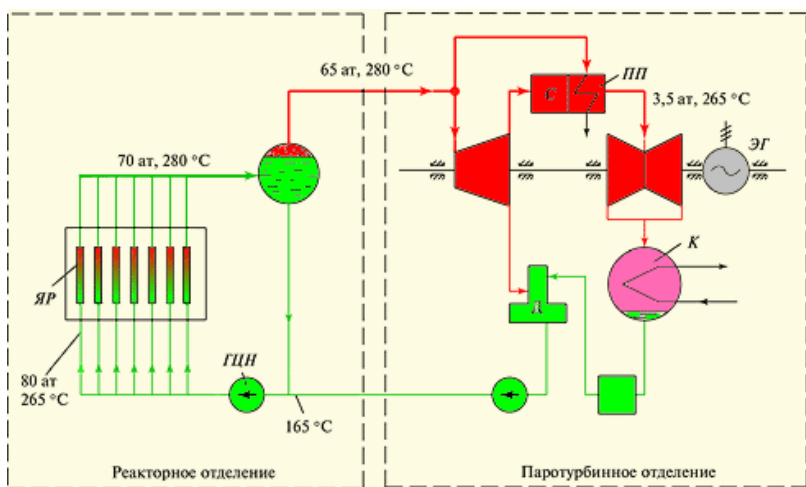


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема функционирования одноконтурной системы АЭС

Питательная вода с помощью ГЦН с параметрами 80 ат. и 265 °С из раздаточного коллектора подводится к многочисленным (в РБМК-1000 их 1693) параллельным технологическим каналам, размещенным в активной зоне реактора. На выходе из каналов пароводяная смесь с паро-содержанием 14—17 % собирается в коллекторе и подается в барабан-сепаратор (у РБМК-1000 их четыре). Барабан-сепаратор служит для разделения пара и воды. Образующийся пар с параметрами 6,4 МПа (65 ат.) и 280 °С направляется прямо в паровую турбину (реактор РБМК-1000 в номинальном режиме питает две одинаковые паровые турбины мощностью по 500 МВт каждая).

Пар, получаемый в реакторе и в сепараторе, является радиоактивным вследствие наличия растворенных в нем радиоактивных газов, причем именно паропроводы свежего пара обладают наибольшим радиоактивным излучением. Поэтому их прокладывают в специальных бетонных коридорах, служащих биологической защитой. По этой же причине пар к турбине подводится снизу, под отметкой ее обслуживания (пола машинного зала).

Пар, расширившийся в ЦВД до давления 0,35 МПа (3,5 ат.), направляется в СПП (на каждой турбине энергоблока с реактором РБМК-1000 их четыре), а из них — в ЦНД (на каждой турбине их также четыре) и в конденсаторы. Конденсатно-питательный тракт такой же,

как у обычной ТЭС. Однако многие его элементы требуют биологической защиты от радиоактивности. Это относится к конденсатоочистке и водяным емкостям конденсатора, где могут накапливаться радиоактивные продукты коррозии, подогревателям регенеративной системы, питаемым радиоактивным паром из турбины, сборникам сепарата СПП. Одним словом, и устройство, и эксплуатация одноконтурных АЭС, особенно в части машинного зала, существенно сложнее, чем двухконтурных.

Конденсат, пройдя систему регенеративного подогрева воды, приобретает температуру 165°C , смешивается с водой, идущей из барабана-сепаратора (280°C) и поступает к ГЦН, обеспечивающим питание атомного реактора.

3.5.2. Технологические схемы производства электроэнергии в двухконтурных АЭС

Водоводяные реакторы (тип ВВЭР) применяются для строительства 2-контурных схем. Как следует из названия, данная АЭС (рис. 3.8) состоит из 2 контуров. Первый контур расположен в реакторном отделении. Он включает реактор типа ВВЭР, через который с помощью ГЦИ прокачивается вода под давлением $15,7\text{ МПа}$ (160 ат.). На входе в реактор вода имеет температуру 289°C , на выходе 322°C . При давлении в 160 ат. вода может закипеть, только при температуре 346°C и, таким образом, в первом контуре двухконтурной АЭС всегда циркулирует только вода без образования пара.

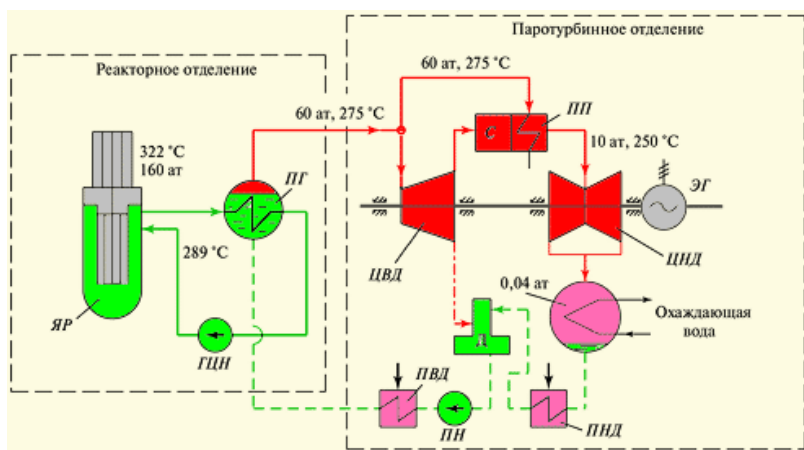


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема функционирования двухконтурной системы АЭС

Из атомного реактора вода с температурой 322 °С поступает в парогенератор. Парогенератор — это горизонтальный цилиндрический сосуд (барабан), частично заполненный питательной водой второго контура; над водой имеется паровое пространство. В воду погружены многочисленные трубы парогенератора ПГ, в которые поступает вода из ядерного реактора. Можно сказать, что парогенератор — это кипяtilьник, выпаривающий воду при повышенном давлении. С помощью питательного насоса ПН и соответствующего выбора турбины в парогенераторе создается давление существенно меньшее, чем в первом контуре (для реактора ВВЭР-1000 и турбины мощностью 1000 МВт – это давление свежего пара $p_0 = 60$ а.т.). Поэтому уже при нагреве до 275 °С вода в парогенераторе закипает вследствие нагрева ее теплоносителем, имеющим температуру 322 °С.

Таким образом, в парогенераторе, являющимся связывающим звеном первого и второго контура (но расположен-ном в реакторном отделении), генерируется сухой насыщенный пар с давлением $p_0 = 60$ а.т. и температурой $t_0 = 275$ °С (свежий пар). Если говорить строго, то этот пар — влажный, однако его влажность мала (0,5 %). И сейчас мы отмечаем первую особенность АЭС — низкие начальные параметры и влажный пар на входе в турбину.

Этот пар направляется в ЦВД паровой турбины. Здесь он расширяется до давления примерно 1 МПа (10 а.т.). Выбор этого давления обусловлен тем, что уже при этом давлении влажность пара достигает 10—12 %, и капли влаги, движущиеся с большой скоростью, приводят к интенсивной эрозии и разрывам деталей проточной части паровой турбины.

Поэтому из ЦВД пар направляется в сепаратор-пароперегреватель (СПП). В сепараторе С от пара отделяется влага, и он поступает в паро-перегреватель, где его параметры доводятся до значений 10 ат, 250 °С. Таким образом, пар на выходе из СПП является перегретым, и эти параметры выбраны такими, чтобы получить допустимую влажность в конце турбины, где угроза эрозии еще большая, чем за ЦВД.

3.6. Атомные электростанции малой мощности (малые модульные реакторы)

Атомные электростанции малой мощности – оптимальное решение для стабильного и экологически чистого энергообеспечения потребителей на отдаленных от центральных энергосетей территориях, а также для замены старых электростанций с повышенным объемом выбросов CO_2 в атмосферу.

Малые модульные реакторы (ММР) — это современные ядерные реакторы мощностью до 300 МВт (эл.) на энергоблок, что составляет примерно одну треть от генерирующей мощности традиционных ядерных энергетических реакторов. ММР, которые могут производить большое количество низкоуглеродной электроэнергии, являются:

- Малыми — они в несколько раз меньше традиционных ядерных энергетических реакторов;
- Модульными — это позволяет собирать системы и компоненты на заводе и перевозить их единым блоком на место установки;
- Реакторами — в них используется ядерное деление для выделения тепла с целью получения энергии.

На рис. 3.9 представлены внешние виды малых модульных реакторов (малых АЭС).

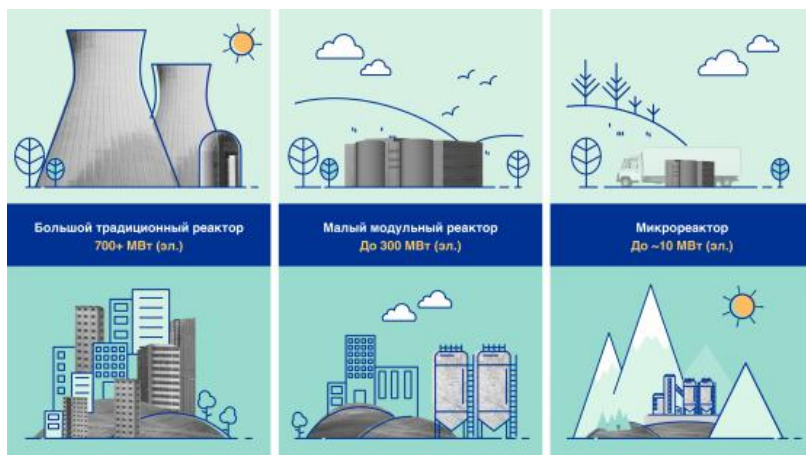


Рисунок 3.9 – Внешние виды малых модульных реакторов (малых АЭС)

Активное освоение удаленных территорий с расширением добычи золота, алмазов, редких металлов, подъемом добычи газа, угля, железной руды, развитием перерабатывающей промышленности требует решения энергетических задач. Затраты на передачу электроэнергии в сложных природно-климатических условиях и на большие расстояния могут в несколько раз превышать стоимость ее производства. Этот фактор решающим образом определяет конкурентоспособность атомных станций малой мощности (АСММ) в удаленных районах. Для таких

энергоисточников созданы реакторы нового поколения, которые превосходят действующие отечественные и зарубежные реакторы по уровню надежности и безопасности. Разработка данных установок основана на накопленном опыте АО «ОКБМ Африкантов» в части создания и эксплуатации судовых реакторов и мощном научно-техническом потенциале в области решения энергетических задач.

Основные преимущества АСММ на базе судовых технологий:

- Компактный размер, позволяющий размещение в удаленных районах и на ограниченных площадках.
- Возможность создавать необходимую мощность АСММ в зависимости от требования заказчика за счет выбора количества модулей, что снижает стоимость и сроки строительства.
- Возможность использования АСММ для опреснения морской воды (при условии установки дополнительного оборудования) и производства тепловой энергии.
- Небольшой срок строительства АСММ по сравнению с крупными энергообъектами.
- Экологически чистый вид энергии.
- Вопросы обращения с топливом, проведение квалифицированного обслуживания станции и снятия станции с эксплуатации после выработки технического ресурса осуществляется эксплуатирующей организацией с использованием референтных технологий эксплуатации судовых реакторов.
- Минимальные объемы и стоимость капитального строительства на площадке эксплуатации АС.
- Атомные станции малой мощности могут работать в режиме отслеживания нагрузки, диапазон маневрирования от 10 до 100 %.

На рис. 3.10 представлено внешнее описание РУ РИТМ 200.

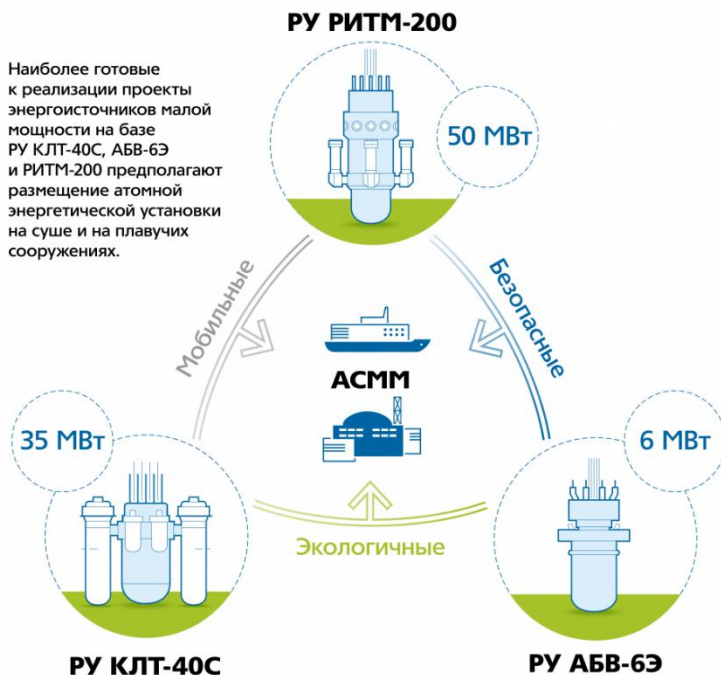


Рисунок 3.10 – Внешнее описание ПУ РИТМ 200

В условиях северных районов мероприятия строительства АЭС малой мощности дают особенно большой эффект из-за сезонности и высокой стоимости строительно-монтажных работ.

3.7. Преимущества малых модульных реакторов

Многие из преимуществ ММР связаны с их конструкцией: они небольшие и модульные. Учитывая их малую площадь, ММР можно размещать в местах, не подходящих для более крупных атомных электростанций. Сборные блоки ММР можно изготовить заранее, а затем привезти и установить на площадке, что делает их строительство более доступным по сравнению с реакторами большой мощности, которые часто проектируются специально для конкретного места, что иногда приводит к задержкам в строительстве. ММР позволяют сэкономить затраты и время строительства, и их можно разворачивать постепенно, чтобы соответствовать растущему спросу на энергию.

Одним из препятствий для расширения доступа к энергии является инфраструктура — ограниченный охват сельских районов энергосетями — и стоимость подключения к сетям для электрификации этих районов. На одну электростанцию должно приходиться не более 10% от общей установленной мощности энергосети. В районах, где нет достаточного количества линий электропередач и сетевых мощностей, ММР могут быть подключены к существующей энергосети или работать автономно (вне ее) благодаря их меньшей мощности, генерируя низкоуглеродную энергию для промышленности и населения. Это особенно актуально для микрореакторов, являющихся разновидностью ММР, предназначенных для выработки электроэнергии мощностью, как правило, до 10 МВт (эл.). Микрореакторы занимают меньшую площадь, чем другие ММР, и лучше подходят для районов, в которых экологически чистая, надежная и недорогая энергия недоступна. Кроме того, микрореакторы могут служить в качестве резервного источника питания в чрезвычайных ситуациях или использоваться вместо электрогенераторов, которые часто работают на дизельном топливе, например в сельских населенных пунктах или на удаленных предприятиях.

По сравнению с действующими реакторами предлагаемые конструкции ММР являются в целом более простыми, а концепция безопасности для ММР часто в большей степени опирается на пассивные системы и такие присущие этим реакторам внутренние характеристики безопасности, как малая мощность и низкое рабочее давление. Это означает, что для отключения систем не требуется вмешательства человека или внешней энергии или силы, поскольку пассивные системы полагаются на физические явления, такие как естественная циркуляция, конвекция, гравитация и создание повышенного давления. Благодаря этому в некоторых случаях устраняется или значительно снижается вероятность опасных радиоактивных выбросов в окружающую среду и контакта с ними населения в случае аварии.

ММР имеют сниженные требования к топливу. На электростанциях на основе ММР можно реже осуществлять перегрузку топлива: каждые 3–7 лет, в то время как на традиционных станциях она требуется каждые 1–2 года. Некоторые ММР спроектированы таким образом, что могут работать без перегрузки до 30 лет.

3.8. Обзорная информация по атомным электростанциям малой мощности

Существует большой интерес к небольшим и более простым установкам для производства тепло- и электроэнергии из атомной энергии.

Данный интерес к атомным реакторам малой и средней мощности обусловлен как стремлением снизить влияние капитальных затрат, так и обеспечить электроэнергию вдали от крупных энергосистем. Используемые технологии многочисленны и очень разнообразны.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) классифицирует малую мощность менее 300 МВт, а примерно до 700 МВт как среднюю мощность, включая многие действующие блоки 20-го века. Данные объекты были названы малыми и средними реакторами (ММР). Однако «ММР» чаще используется как аббревиатура для «малого модульного реактора», предназначенного для серийного строительства и в совокупности составляющего большую атомную электростанцию. Предлагается подкатегория микро-реакторов — vSMR — для блоков мощностью менее 15 МВт в целях электропитания удаленных населенных пунктов.

Малые модульные реакторы (ММР) определяются как атомные реакторы, как правило, с установленной мощностью до 300 МВт, спроектированные по модульной технологии с использованием модульного заводского изготовления с целью экономии за счет серийного производства и коротких сроков строительства. Данное определение МАГАТЭ тесно связано с определением Института ядерной энергии США. Некоторые из уже действующих малых реакторов, упомянутых или приведенных в таблице ниже, не подходят под это определение, но большинство из описанных под него подходят. Типы PWR могут иметь встроенные парогенераторы, и в этом случае корпус реактора должен быть больше, что ограничивает переносимость с завода на площадку. Следовательно, многие более крупные PWR, такие как Rolls-Royce UK SMR, имеют внешние парогенераторы.

В отчете Всемирной ядерной ассоциации за 2015 год о стандартизации лицензирования ММР и гармонизации говорится о 17 нормативных требованиях, что огромный потенциал ММР основывается на следующих факторах:

- Из-за их небольшого размера и модульности ММР можно было построить в контролируемых заводских условиях и устанавливать модуль за модулем, повышая уровень качества и эффективности строительства.
- Их небольшой размер и функции пассивной безопасности позволяют использовать их в странах с меньшими сетями и меньшим опытом использования атомной энергетики.
- Размер, эффективность конструкции и системы пассивной безопасности (требующие меньшего резервирования) может привести к бо-

лее доступному финансированию по сравнению с АЭС средней и высокой мощности.

- Достижение «экономии серийного производства» для конкретной конструкции SMR приведет к дальнейшему снижению затрат.

Всемирная ядерная ассоциация перечисляет следующие положительные черты ММР:

- Небольшая мощность и компактная архитектура и обычно (по крайней мере, для АЭС и связанных с ними систем безопасности) использование пассивных концепций. Таким образом, меньше полагаются на активные системы безопасности и дополнительные насосы, а также на питание переменного тока для смягчения последствий аварии.

- Компактная архитектура обеспечивает модульность производства (на заводе), что также может способствовать внедрению более высоких стандартов качества.

- Более низкая мощность приводит к сокращению срока службы источника, а также к меньшему количеству радиоактивных материалов в реакторе (меньшие реакторы).

- Возможность размещения реакторной установки на земляном полотне (под землей или под водой), обеспечивающем большую защиту от природных (сейсмических ударов или цунами, в зависимости от местоположения) или техногенных (столкновения с самолетами) опасностей.

- Модульная конструкция и небольшой размер позволяют размещать несколько устройств на одной площадке.

- Меньше требований к доступу к охлаждающей воде, поэтому подходит для удаленных регионов и для конкретных применений, таких как добыча полезных ископаемых или опреснение.

- Возможность удаления модуля реактора или вывода из эксплуатации на месте в конце срока службы.

В таблице 2.1 представлен перечень проектов малых реакторов на более ранних стадиях развития.⁶

⁶ Малые ядерные энергетические реакторы. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>

Таблица 2.1 – Перечень проектов малых реакторов на более ранних стадиях развития

№	Имя	Ем- кость	Тип	Разработчик
1.	ЕМ2	240 МВт	ХТР, ФНР	Дженерал Атомикс (США)
2.	ФМР	50 МВт	ХТР, ФНР	Дженерал Атомикс + Фрамамом
3.	ВК-300	300 МВт	БВР	НИКИЭТ, Россия
4.	АНWR-300 НОУ	300 МВт	РНWR	БАРК, Индия
5.	САР200 LandStar-V	220 МВт	мощность	СНЕРДИ/СПИК, Китай
6.	СНП350	350 МВт	мощность	СНЕРДИ, Китай
7.	АСРР100	140 МВт	Интегральный РWR	ЦГН, Китай
8.	ИМР	350 МВт	Интегральный РWR	Mitsubishi Heavy Ind, Япония*
9.	Вестингауз СМР	225 МВт	Интегральный РWR	Вестингауз, США*
10.	Великобритания СМР	470 МВт	мощность	Rolls-Royce SMR, Великобритания
11.	ПБМР	165 МВт	ХТР	РВМР, Южная Африка*
12.	ХТМР-100	35 МВт	ХТР	НТМР Ltd, Южная Африка
13.	МСFR	большой?	МСР/ФНР	Southern Co, TerraPower, США
14.	СВБР-100	100 МВт	Свинец-Би ФНР	АКМЭ-Инжиниринг, Россия*
15.	Вестингауз ЛФР	300 МВт	Ведущий ФНР	Вестингауз, США
16.	ТМСР-СФ	100 МВт	МСР	СИНАП, Китай
17.	ПБ-ФХР	100 МВт	МСР	Калифорнийский университет в Беркли, США
18.	Молтекс ССР-У	150 МВт	МСР/ФНР	Молтекс, Великобритания
19.	Торкон ТМСР	250 МВт	МСР	Мартингейл, США
20.	Лидир-ПС100	36 МВт	Свинцовое охлаждение	Северная ядерная энергетика, Канада

3.9. Рекомендуемые видеоматериалы

- Как работает атомная электростанция? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=46XmhS20SPE>.
- Что скрывают атомные электростанции? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=AtYPvEWpbTE&t=310s>.
- Насколько опасна атомная энергия? [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=rfRa9zxH9SQ>.
- АЭС малой мощности и другие новости. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=8NXmxj-3suM>.
- Строительство Атомной электростанции (АЭС). [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=DeEf0BYxd_4.
- РИТМ-200. [Электронный ресурс]: режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=K6QV8LmYotw>.

3.10. Контрольные вопросы

Составьте ответы на вопросы в развернутом виде с указанием всех необходимых данных.

1. Расскажите об атомной электростанции.
2. Как происходит функционирование атомной электростанции?
3. Приведите классификацию атомных электростанций.
4. Как устроена система безопасности АЭС?
5. Чем могут быть полезны АЭС малой мощности?
6. Укажите преимущества и недостатки АЭС.
7. Что такое РИТМ 200 и объясните порядок его функционирования?
8. В чем преимущество ММР?
9. Как производится строительство АЭС?
10. Какая малая АЭС должна быть построена в Якутии?

КЕЙС-ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Примечание:

Выполните представленные задания с приведением конкретных расчетов, графических интерпретаций и схем. При проведении необходимых расчетов рекомендуется применение лицензированных программ *MS Office Excel & Project, Gantt Project, MathCad, MathLab, MS Office Power Point* и *RET Screen*.

Итоговая форма решения задачи должна быть в виде презентации, где количество слайдов должно составлять не менее 15 ед. и справочной информации в виде доклада с объемом не менее 10 листов формата А4. Допускается решение кейса в командном порядке до 3 студентов.

Рекомендуем сделать приоритет на снижение удельного потребления дизельного топлива на фоне малого развития транспортной инфраструктуры на территории Севера и Арктики. Примерная структура решения кейс-задачи представлена в Приложении D.

Желаем удачи в решении кейс-задач в области малой атомной энергетики в климатических условиях Севера и Арктики.

Кейс-задачи «Малая атомная энергетика для добывающей промышленности»

1. На территории Анабарского района планируется строительство углеперерабатывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Углеперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 2-4 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте

окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

2. На территории Оленекского района планируется строительство углеперерабатывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Углеперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 6 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 2-4 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

3. На территории северной части Булунского района планируется строительство комплекса по переработке рыбной продукции. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 16 часовой период работы с 2 сменами рабочего персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 30 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров

функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

4. На территории Аллаиховского района планируется строительство золотодобывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Углеперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 30 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 2-4 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономических параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

5. На территории Нижнеколымского района планируется строительство комплекса по добыче агата и висмута. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 12 часовой период работы с 2 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 8 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения висмута, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 3 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономических параметров функцио-

нирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

6. На территории Алданского района планируется строительство комплекса по добыче хром-диопсида. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

7. На территории Оленекского района планируется строительство алмазодобывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 40 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования

данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

8. На территории северной части Анабарского района планируется строительство алмазодобывающего комплекса. Электро-снабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 16 часовой период работы с 2 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 8 x 40 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 3,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

9. На территории северо-восточной части Кобяйского района планируется строительство комплекса по добыче свинца. Электро-снабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 8 x 40 МВт и 2x50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 3,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-эко-

номические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

10. На территории северо-восточной части Оленекского района планируется строительство комплекса по добыче алмаза и золота. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 6 x 30 МВт и 4 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения золота, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 1,75 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

11. На территории Анабарского района планируется строительство углеперерабатывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Углеперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 50 МВт и 2 x 30 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 2,2 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и

представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

12. На территории Оленекского района планируется строительство углеперерабатывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Углеперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 6 x 50 МВт и 2 x 20 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 4,2 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

13. На территории северной части Булунского района планируется строительство комплекса по переработке рыбной продукции. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 16 часовой период работы с 2 сменами рабочего персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 30 МВт и 1 x 5 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 1,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте

окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

14. На территории Аллаиховского района планируется строительство золотодобывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Угледоперерабатывающий комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 6 x 30 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения полезного сырья, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии в 1,8 раза. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

15. На территории Нижнеколымского района планируется строительство комплекса по добыче агата и висмута. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 12 часовой период работы с 2 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 40 МВт и 2 x 20 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения висмута, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические пара-

метров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

16. На территории Алданского района планируется строительство комплекса по добыче хром-диопсида. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часовой период работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 1,9 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

17. На территории Оленекского района планируется строительство алмазодобывающего комплекса. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 16 часовой период работы с 2 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2,1 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования

данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

18. На территории северной части Анабарского района планируется строительство алмазодобывающего комплекса. Электро-снабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 16 часовой период работы с 2 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 8 x 40 МВт и 2 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 2,5 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

19. На территории северо-восточной части Кобяйского района планируется строительство комплекса по добыче свинца. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 8 часовой период работы с 1 сменой инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 8 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения чароита, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 3,2 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические пара-

метров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

20. На территории северо-восточной части Оленекского района планируется строительство комплекса по добыче алмаза и золота. Электроснабжение данного объекта имеет 2-ую категорию надежности. Комплекс функционирует в режимном порядке, а именно 24 часового периода работы с 3 сменами инженерно-технического персонала. Изначально планировалось, что электроснабжение объекта будет производиться от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 30 МВт и 5 x 50 МВт. Однако недавно были открыты новые месторождения золота, что ведет к укрупнению самого комплекса и увеличению удельного потребления электроэнергии до 3,4 раз. В этой связи руководство предприятия приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

Кейс-задачи «Малая атомная энергетика для электроснабжения населенных пунктов»

1. В городе «А» проживают около 50 000 человек. Город находится на территории Северной части Красноярского края напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 75 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возмож-

ного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

2. В городе «В» проживают около 75 000 человек. Город находится на территории Северной части Ямало-Ненецкого автономного округа напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 100 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

3. В городе «С» проживают около 60 000 человек. Город находится на территории Северной части Красноярского края напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 90 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с

уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 80%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

4. В городе «Г» проживают около 55 000 человек. Город находится на территории Северной части Красноярского края напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 56 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

5. В городе «А» проживают около 45 000 человек. Город находится на территории Северной части Красноярского края напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от

дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 60 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

6. В городе «А» проживают около 35 000 человек. Город находится на территории Северной части Красноярского края напротив Карского моря. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 5 x 20 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 62 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функцио-

нирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

7. В городе «Д» проживают около 36 000 человек. Город находится на территории центральной части Красноярского края. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 50 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

8. В городе «Е» проживают около 76 000 человек. Город находится на территории центральной части Красноярского края. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 5 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 120 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечествен-

ного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

9. В городе «В» проживают около 26 000 человек. Город находится на территории центральной части Красноярского края. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2×5 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 75 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

10. В городе «Д» проживают около 350 000 человек. Город находится на территории центральной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2×10 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 300 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи

руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики.

11. В городе «Д» проживают около 100 000 человек. Город находится на территории центральной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 200 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу и доли потребления ГСМ. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики с указанием возможного объема экономии ГСМ вследствие ограничения работы ТЭЦ и дизель-генераторных установок.

12. В городе «В» проживают около 85 000 человек. Город находится на территории южной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 160

МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу и доли потребления ГСМ. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики с указанием возможного объема экономии ГСМ вследствие ограничения работы ТЭЦ и дизель-генераторных установок и доли снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

13. В городе «В» проживают около 95 000 человек. Город находится на территории южной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 10 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 170 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу и доли потребления ГСМ. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 50%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики с указанием возможного объема экономии ГСМ вследствие ограничения работы ТЭЦ и дизель-

генераторных установок и доли снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

14. В городе «Г» проживают около 55 000 человек. Город находится на территории южной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 20 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 100 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу и доли потребления ГСМ. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 90%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики с указанием возможного объема экономии ГСМ вследствие ограничения работы ТЭЦ и дизель-генераторных установок и доли снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

15. В городе «Д» проживают около 50 000 человек. Город находится на территории южной части Якутии. Известно, что на территории города активно функционируют объекты легкой промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 5 x 10 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 80 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу и доли потребления ГСМ. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой мощности с возможностью 80%-й замены существующих генерирующих мощностей. В этой связи руководство города приняло решение о выполнении

технико-экономических расчетов возможного внедрения атомных электростанций малой мощности с применением оборудования отечественного производства. Выполните обзор и выбор атомного реактора с учетом локальных климатических особенностей, нарисуйте общую схему функционирования атомной электростанции малой мощности и дорожную карту реализации проекта, проведите предварительный расчет технико-экономические параметров функционирования данного объекта и представьте окончательный отчет о возможности или невозможности внедрения технологий атомной энергетики с указанием возможного объема экономии ГСМ вследствие ограничения работы ТЭЦ и дизель-генераторных установок и доли снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Кейс-задачи «Выбор вида атомных реакторов»

1. В городе «А» проживают около 50 000 человек. Город находится на территории Северо-Восточной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 20 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 100 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

2. В городе «Б» проживают около 25 000 человек. Город находится на территории Северо-Восточной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 2 x 20 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 50 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли

выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реакторов малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

3. В городе «С» проживают около 35 000 человек. Город находится на территории Северо-Восточной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 60 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

4. В городе «Г» проживают около 75 000 человек. Город находится на территории Северо-Восточной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 70 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реактора и выберите конкретный модель атомного реакторов малой или средней

мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

5. В городе «Д» проживают около 65 000 человек. Город находится на территории Северо-Восточной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 10 х 3 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 80 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

6. В городе «Г» проживают около 120 000 человек. Город находится на территории Северо-Западной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 х 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 200 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

7. В городе «Д» проживают около 100 000 человек. Город находится на территории Северо-Западной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 210 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

8. В городе «М» проживают около 150 000 человек. Город находится на территории Северо-Западной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 4 x 20 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 220 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 90%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

9. В городе «Н» проживают около 110 000 человек. Город находится на территории Северо-Западной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных устано-

вок с установленной мощностью 3 x 30 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 200 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

10. В городе «П» проживают около 250 000 человек. Город находится на территории Северо-Западной части России. Известно, что на территории города активно функционируют объекты добывающей промышленности, которые питаются от дизель-генераторных установок с установленной мощностью 3 x 50 МВт. Кроме того, имеются объекты социального значения (школы, аэропорты, больницы, магазины и др.). В настоящий момент город снабжается электроэнергией от ТЭЦ с мощностью 260 МВт. Мэр города планирует увеличить долю энергоэффективности населенного пункта с уменьшением удельной доли выбросов вредных веществ в атмосферу. Одним из возможных решений является внедрение атомной электростанции малой или средней мощности с возможностью 100%-й замены существующих генерирующих мощностей. Выполните обзор существующих видов атомных реакторов и выберите конкретный модель атомного реактора малой или средней мощности. Приведите общую схему функционирования атомной электростанции малой или средней мощности, дорожную карту реализации проекта и рекомендации по эксплуатации объекта в локальных климатических условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уважаемый студент, Вы изучили учебное пособие в области малой атомной энергетики в условиях Севера с учетом большинства существующих требований и стандартов. В настоящий момент Вы можете выполнить обзор существующих технологий в области малой атомной энергетики.

В связи с этим рекомендуется полное ознакомление со стандартами и условиями ГОСТ Р 58786-2019, ГОСТ 23082-78, ГОСТ 24722-81 и ГОСТ Р МЭК 60880-2010.

Желаю Вам успехов в учебной и рабочей деятельности в сфере энергетики.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Велькин, В. И. Атомная энергетика мира. Состояние и перспективы : учебное пособие для студентов специальностей 13.05.03 — Атомные электростанции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг и 14.06.01 «Ядерные, тепловые, возобновляемые электростанции и сопутствующие технологии / В. И. Велькин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. — 442 с. — ISBN 978-5-907297-94-4.

2. Кобылин, В.П. Проблемы северного завоза органического топлива и роль использования АСММ в условиях Крайнего Севера / М. П. Лебедев, О. И. Слепцов, В. П. Кобылин, А. П. Шадрин // Перспектива развития систем атомных станций малой мощности в регионах, не имеющих централизованного электроснабжения, Москва, 11–12 ноября 2010 года / Президиум Российской Академии наук. — Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН "Издательство "Наука", 2010. — С. 14-25.

3. Красноселов, В. А. Введение в атомную энергетику : учеб. пособие по направлению 651000 "Ядер. физика и технология" по специальности 070500 "Ядер. реакторы и энергет. установки" / В. А. Красноселов, А. Ф. Грачев ; В. А. Красноселов, А. Ф. Грачев. — Ульяновск, 2004. — 204 с. — ISBN 5-89146-468-3.

4. Константинов, А. Ф. Общая энергетика : Учебное пособие / А. Ф. Константинов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Физико-технический институт П.Ф. Васильев, к.т.н., и.о. зав. кафедрой электроснабжения ФТИ СВФУ - рецензент А.К. Корякин, к.т.н., ОАО «Сахазнерго» - рецензент. — Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2020. — 171 с. — ISBN 978-5-7513-2905-1.

5. Ташлыков, О. Л. Основы ядерной энергетики : учебное пособие / О. Л. Ташлыков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. — 212 с. — ISBN 978-5-7996-1822-3.

6. Букринский, А. М. Безопасность атомных станций и ее регулирование в России : Сборник статей / А. М. Букринский. – Москва : Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, 2016. – 421 с.

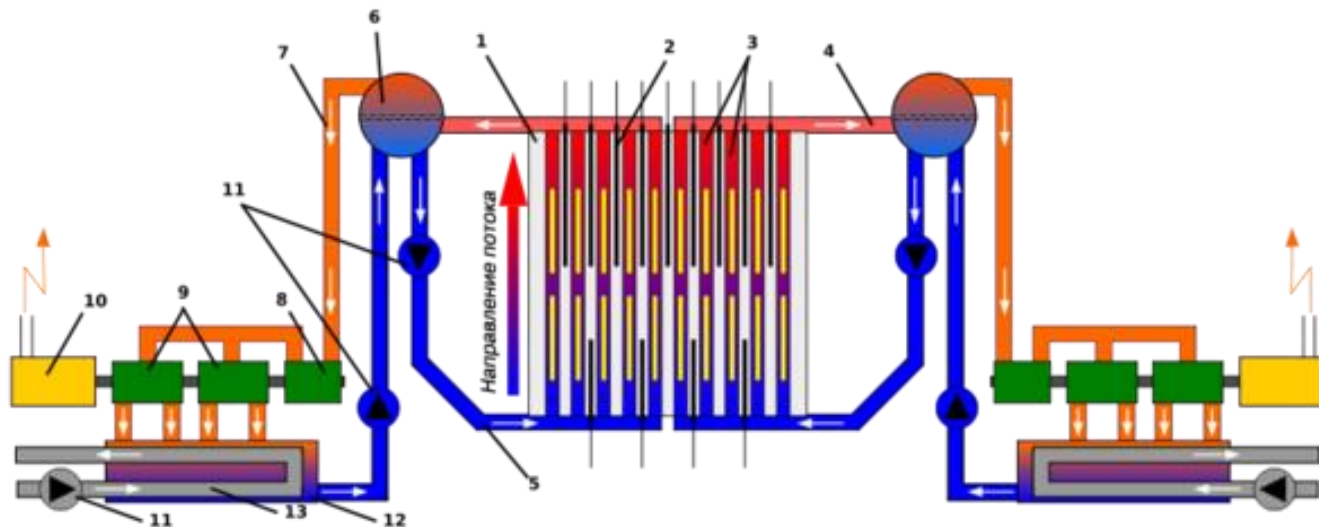
7. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-011-89, М. Энергоатомиздат, 1990.

8. Букринский А.М., Сидоренко В.А., Почему необходимо вывести из-под действия Федерального закона «О техническом регулировании» объекты использования атомной энергии. Пояснительная записка к открытому обращению к Президенту Российской Федерации. Ежеквартальный журнал Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору "Ядерная и радиационная безопасность", № 1, 2005.

9. РД-03-43-98, Положение об организации государственного надзора за безопасностью при использовании атомной энергии.

10. Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21.11.1995 N 170-ФЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОБЩАЯ СХЕМА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС



- 1 – Графитовый замедлитель
- 2 – Стержни управления и защиты
- 3 – Технологические каналы
- 4 – Пар
- 5 – Вода
- 6 – Барабан-сепаратор
- 7 – Сухой пар

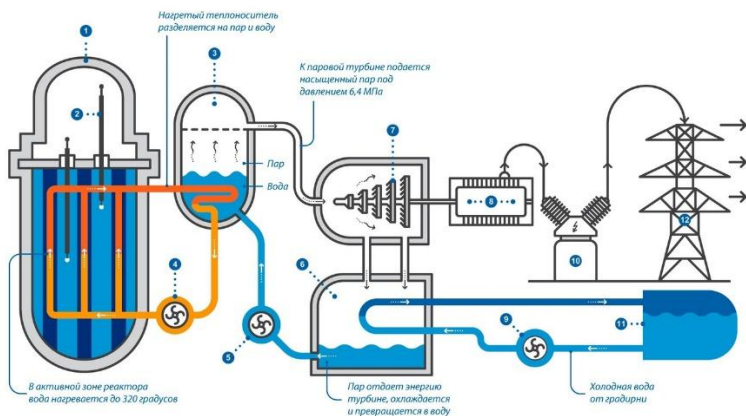
- 8 – Турбина высокого давления
- 9 – Турбины низкого давления
- 10 – Электроиический генератор
- 11 – Циркуляционные насосы
- 12 – Охладитель (конденсатор)
- 13 – Вспомогательный водяной контур

ПРИЛОЖЕНИЕ В. УСТРОЙСТВО АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



УСТРОЙСТВО АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Основные процессы в работе АЭС



1 РЕАКТОР

Канальный, большой мощности (РБМК)

2 СТЕРЖНИ

Система управления и защиты реактора

3 ПАРОГЕНЕРАТОР

Поглащает пар от нагретого теплоносителя

4 НАСОС (главный циркуляционный)

Перекачивает воду в активную зону реактора

5 НАСОС (питательный)

Перекачивает воду из конденсатора

6 КОНДЕНСАТОР

Охлаждает пар и превращает его в питательную воду

7 ТУРБИНА

Приводит в движение ротор генератора

8 ГЕНЕРАТОР

Вырабатывает электричество напряжением 25 000 В

9 НАСОС (циркуляционный)

Перекачивает воду из водоема-охладителя для конденсации отработавшего пара

10 ТРАНСФОРМАТОР

Повышает напряжение до 300 000 В

11 ГРАДИРНЯ

или водоем-охладитель. Водохранилище

12 ЛЭП

Передают полученную электроэнергию

Основные типы реакторов АЭС



ЛЕГКОВОДНЫЙ

Для замедления нейтронов и/или в качестве теплоносителя используется обычная вода



ТЯЖЕЛОВОДНЫЙ

Теплоноситель и замедлитель это тяжелая вода, а топливом является природный уран



БЫСТРЫЕ НЕЙТРОНЫ

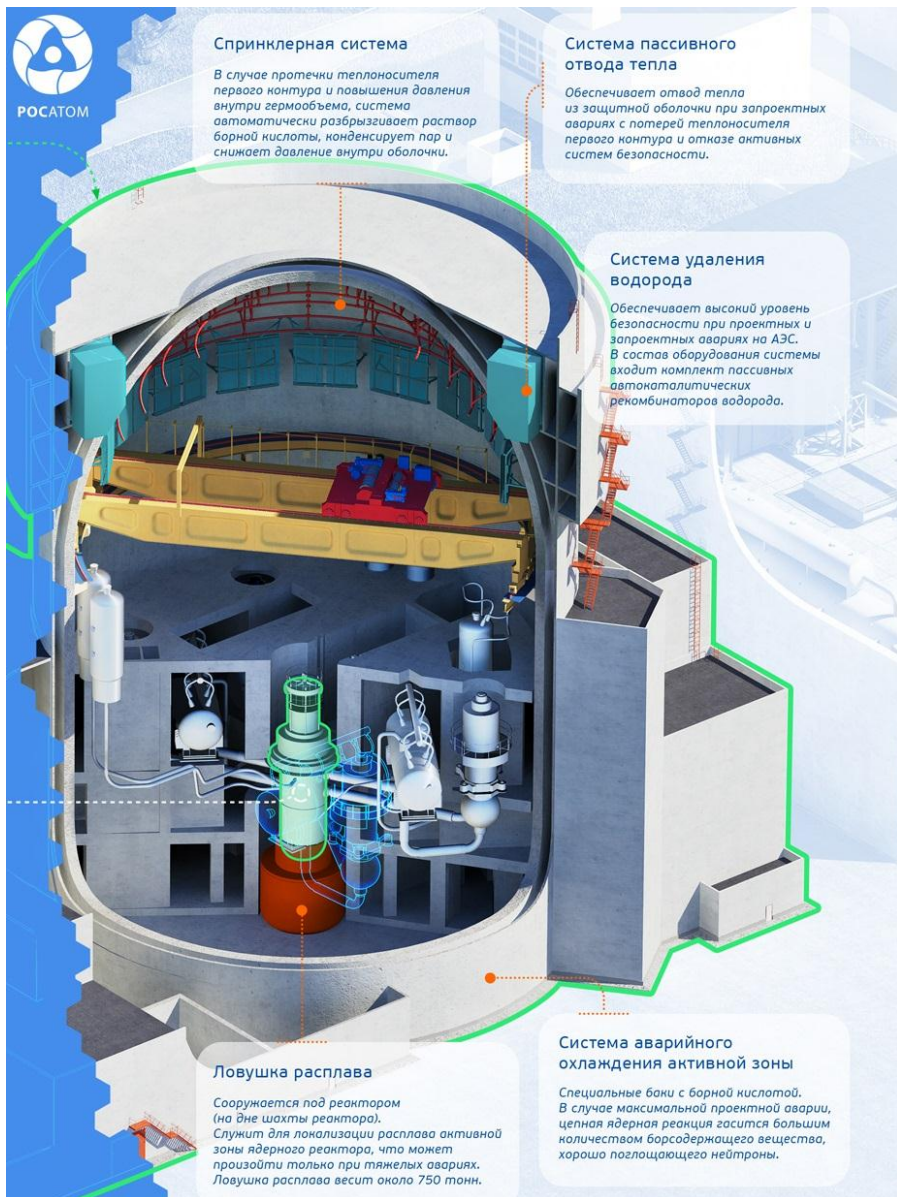
В качестве теплоносителя чаще всего используется расплавленные металлы



ГАЗООХЛАЖДАЕМЫЙ

Реактор с графитовым замедлителем. Теплоноситель - диоксид углерода или гелий

ПРИЛОЖЕНИЕ С. СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС



ПРИЛОЖЕНИЕ D. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕШЕНИЮ КЕЙС-ЗАДАЧИ

В рамках решения кейс-задачи по дисциплине «Общая энергетика» студенту необходима разработка и выполнение следующих контрольных пунктов:

1. «Введение» – полное описание кейс-задания, приведение внешних параметров и выдвижение предварительного описания предлагаемого технического решения. Необходимо указать цель (только одна цель) и задачи (не менее трех пунктов) кейс-задачи. Рекомендуемый объем – 1-2 листа формата А4.

2. «Исходные данные кейс-задачи» – приведение всех технико-экономических исходных данных в зависимости условий кейс-задачи и указанием единиц измерения и возможно представление общей схемы электроснабжения. Рекомендуемый объем – 1 лист формата А4.

3. «Анализ внешних параметров населенного пункта» - приведение всех географических и климатических параметров, такие как: географические координаты; площадь населенного пункта, м²; температура воздуха, °С; относительная влажность, %; осадки, мм; дневная сумма солнечной радиации-горизонтальная, кВт*ч/м² в день; скорость ветра, м/с; температура земли, °С; градусо-дни отопительного сезона и др. – для каждого месяца в течение года в том числе карты районирования. НЕОБХОДИМО указать количество населения в тыс. человек, возможный перечень производственных (заводы, цехи и фабрики) и социальных (больницы, школы, детские сады и т.д.) объектов и т.д. Рекомендуется применение таблиц и схем, разработанные на базе лицензированной программы *MS Office Excel*. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.

4. «Анализ энергопотребления населенных пунктов» - в данном разделе студенту НЕОБХОДИМО представить основные параметры топливо- (потребление дизельного топлива и масла) и электропотребления (выработка электроэнергии и отпуск шин) в населенном пункте и разработать обобщенный анализ на основании полученных данных по потреблению в том числе расчет экономики топлива за счет внедрения малой АЭС. Рекомендуемый объем – 3-4 листа формата А4.

5. «Выбор земельного участка» – в данном разделе студенту НЕОБХОДИМО проведение поиска земельного участка с применением Интернет-ресурса по ссылке: <https://egrp365.org/> в целях строительства комбинированной электростанции, где НЕОБХОДИМО соответствие требованиям и условиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Сани-

тарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов", Статьи 47 "Воздушного кодекса Российской Федерации" от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 30.04.2021) и Статьи 51 Градостроительного кодекса Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.04.2021). Необходимо приведение детального анализа по выбранному земельному участку. Вместе с тем выбранный земельный участок должен иметь значительную площадь в зависимости от мощности генерации комбинированной электростанции и находиться в республиканской собственности. Рекомендуемый объем – не менее 1 листа формата А4.

6. «Технико-экономический расчет» - в данном разделе студенту НЕОБХОДИМО произвести расчет основных параметров внедрения малой АЭС внутри системы электроснабжения населенного пункта с выводением годовых эксплуатационных издержек и минимальные приведенные затраты. Рекомендуемый объем – до 2 листов формата А4.

7. «Заключение» - в данном разделе студенту НЕОБХОДИМО произвести детальное описание произведенных работ в рамках кейс-задачи. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

8. «Список использованной литературы» - в данном разделе студенту НЕОБХОДИМО произвести детальное описание перечня использованной литературы в рамках выполнения кейс-задачи в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 СИБИД Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Рекомендуемый объем – до 1 листа формата А4.

Учебное издание

Местников Николай Петрович,
Давыдов Геннадий Иванович

МАЛАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Учебное пособие по дисциплине «Общая энергетика»
и факультативу «Основы энергосбережения и ресурсоэффективности»

Выпускается в авторской редакции

Дата подписания к использованию 11.05.22. Электронное издание.

Объем 3,0 Мб. Тираж 10 дисков. Заказ № 86.

Минимальные системные требования:

процессор с тактовой частотой 1,3 Гц и выше, оперативная память 128 Мб,
операционные системы: Microsoft Windows XP/Vista/7/8/10,
ОС MAC OS версии 10,8.

Издательский дом Северо-Восточного федерального университета,
677891, г. Якутск, ул. Петровского, 5. E-mail: izdat-svfu@mail.ru

Изготовлено с готового оригинал-макета в Издательском доме СВФУ