



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИ-
ТЕТ»

Кафедра природопользования и устойчивого развития полярных областей

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

На тему: Оценка потенциальной опасности атомной энергетики в Российской
Федерации

Исполнитель: Звягинцева Олеся Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель: доктор биологических наук
(ученая степень, ученое звание)

Витковская Светлана Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Макеев Вячеслав Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«9» июня 2017 г.

Санкт-Петербург

2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИ-
ТЕТ»

Кафедра природопользования и устойчивого развития полярных областей

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

На тему: Оценка потенциальной опасности атомной энергетики в Российской
Федерации

Исполнитель: Звягинцева Олеся Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель: доктор биологических наук
(ученая степень, ученое звание)

Витковская Светлана Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Макеев Вячеслав Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2017 г.

Санкт–Петербург

2017

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Атомная энергетика: перспективы и риски.....	5
1.1. Этапы развития атомной энергетики.....	5
1.2. Факторы экологического риска.....	9
1.3 Модели регулирования атомной отрасли.....	13
1.4. Плюсы и минусы атомной энергетики.....	14
1.5 Причины возникновения чрезвычайных ситуаций на атомных электростанциях.....	15
Глава 2.Атомная энергетика в России и за рубежом.....	18
2.1. Развитие атомной энергетики России с 2007 до 2015 года.....	26
2.2.Перспективы развития атомной энергетики России.....	28
Глава 3. Методология анализа риска: виды и их принципы в чрезвычайных ситуациях.....	32
Глава 4. Проблема радиоактивных отходов.....	38
Заключение	47
Список используемой литературы.....	48

Введение

Атомная энергетика и информационные технологии относятся к приоритетным направлениям развития науки и техники в Российской Федерации.

Любая энергетическая технология обладает определенной опасностью, т.е. возможностью вредного воздействия на человека и окружающую среду.

Атомная энергетика является одной из технологических областей, в которых Россия лидирует на протяжении длительного периода, и ее дальнейшее развитие важно не только с точки зрения улучшения структуры топливно-энергетического баланса, но и для сохранения технологического лидерства в данной области (Энергетическая стратегия..., 2014).

Энергия, получаемая с АЭС, очень востребована, что в свою очередь стимулирует развитие и рост отрасли в целом. Важность понимания процесса получения энергии и правильная утилизация отходов, а так же готовность к чрезвычайным ситуациям, нельзя переоценить. В данной дипломной работе, хочется акцентировать внимание на уменьшении количества минусов атомной энергетики, а так же поднять вопрос безопасности на первостепенную позицию, рассмотрев пример катастрофы, охватила не одну страну.

В связи с большим потреблением энергии, человечество востребовано в получении её быстро и в больших количествах. Атомная Энергия именно то, что нужно, но со своими минусами. Возможность аварии, выбросы в окружающую среду химических отходов, радиоактивные отходы с долгим сроком утилизации.

Ядерная энергия очень перспективная отрасль и развивается в разных направлениях. Космос, оружие, машиностроение и обеспечение человечества электричеством. Но нас интересует именно безопасное использование ядерного синтеза, в частности на АЭС Российской Федерации.

Целью данной выпускной квалификационной работы является оценка потенциальной опасности атомных электростанций в Российской Федерации.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Провести анализ литературных данных по вопросам атомной энергетики.
- 2) Рассмотреть проблемы экологического риска, модели регулирования ядерной отрасли.
- 3) Оценить плюсы и минусы использования атомной энергии.
- 4) Провести анализ состояния атомной энергетики в Российской Федерации и за ее пределами.
- 5) Проанализировать проблемы оценки рисков чрезвычайных ситуаций,
- 6) Рассмотреть систему утилизации радиоактивных отходов.
- 7) Сделать выводы о потенциальной опасности атомных электростанций в России.

Структура и объем работы: Выпускная квалификационная работа изложена на 49 стр. печатного текста, содержит 7 рисунков и 5 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Список литературы включает 26 источников.

Глава 1. Атомная энергетика: перспективы и риски

1.1 Этапы развития атомной энергетики

В начале освоения ядерной энергии и понимания ее будущей роли в жизни людей стоял создатель учения о биосфере, крупнейший ученый-натуралист В.И. Вернадский.

«29 декабря 1910 года на общем собрании Российской академии наук в докладе «Задачи дня в области радия» он сказал «...теперь перед нами открываются в явлениях радиоактивности источники атомной энергии, в миллионы раз превышающие все те источники сил, какие рисовались человеческому воображению... Теперь, когда человечество вступает в новый век лучшей – атомной энергии, мы, а не другие должны выяснить, что хранит в себе в этом отношении почва нашей родной страны» (Вернадский, 1997; Крышев, Рязанцев, 2000).

По инициативе Вернадского были созданы радиевая экспедиция, радиологическая лаборатория, Радиевый институт (в лабораториях которого начал заниматься экспериментальной ядерной физикой И.В. Курчатов) и др. В письме, адресованному Президенту Академии наук СССР В.Л. Комарову, Вернадский писал, о том что, будущее за атомной энергией (Крышев, Рязанцев, 2000).

Практическое использование ядерной энергии для военных и гражданских целей началось с создания исследовательских ядерных реакторов – сложных физических установок, на которых была осуществлена управляемая цепная реакция деления ядер урана (Крышев, Рязанцев, 2000)

По состоянию на 2011 г., в России себестоимость атомной электроэнергии составляет 1,97 центов за кВт/ч, в отличие от тех же показателей в Соединённых Штатах Америки. В большинстве европейских стран стоимость атомной электроэнергии больше чем во Франции на 30%. В этой связи очевидно ценовое преимущество атомной генерации в тех странах, где большая часть производимой энергии осуществляется на АЭС (Селютин, 2014).

Основной причиной появления ядерной отрасли в нашей стране послужило создание ядерного оружия. В самые короткие сроки, наши ученые создали собственное ядерное оружие, чтобы не разделить участь Японии в 1945 году. Параллельно с развитием ядерной обороны, стала развиваться ядерная энергетика (Акатов, Коряковский, 2012).

Промедление и бездействие могло привести к тому, что советские города разделили бы участь Хиросимы и Нагасаки. Ученые превосходно справились с поставленной задачей - первая советская атомная бомба была испытана в 1949 году, - всего четыре года спустя после ядерной бомбардировки Японии. «Отцом» нашей атомной бомбы стал академик И.В. Курчатов (Акатов, Коряковский, 2012).

И.В. Курчатов, наряду с проектами, возглавил работу по строительству первой атомной электростанции, за что его с полным правом можно также назвать «отцом» отечественной ядерной энергетике. И не только отечественной: ведь атомная электростанция, которая была запущена 27 июня 1954 года в городе Обнинск, стала первой в мире АЭС. Это был большой результат для нашей страны, которая смогла добиться успеха, не смотря на тяжелое послевоенное время (Акатов, Коряковский, 2009).

«И.В. Курчатов как руководитель «Атомного Проекта» Советского Союза осуществлял научное руководство всей обширной Программой по развитию атомной науки, техники и промышленности в нашей стране, концентрировал вокруг себя и развивал все работы по освоению использования процессов деления ядер для энергетических установок различного строения» (Крышев, Рязанцев, 2000).

«Агрегат АМ (с водяным охлаждением) имеет то преимущество, что в нем может быть более чем в других агрегатах, использован опыт обычной котельной практики, низкая температура теплоносителя – 300⁰С исключает ряд трудностей конструкторского характера, общая относительная простота агрегата облегчает и удешевляет его строительство» (Крышев, Рязанцев, 2000).

АМ-1 в 1954 году в городе Обнинск, стал первым в мире энергетическим реактором – то есть реактором, главной целью которого является выработка электроэнергии. В качестве топлива для него также использовался уран, а точнее, диоксид урана UO_2 , обогащенный по изотопу ^{235}U . Замедлителем, как и в ПУГР, стал графит (Акатов, Коряковский, 2009).

В 1973 году на Ленинградской АЭС был запущен первый энергоблок с реактором РБМК-1000 (рис. 1). РБМК означает «Реактор Большой Мощности Канальный», он является уран-графитовым реактором, так же как и ПУГР, а 1000 – его электрическая мощность, измеряемая в мегаваттах. РБМК-1000 стал первым крупномасштабным энергетическим реактором: он вырабатывает в 10 раз больше электроэнергии, чем реактор АМБ-100, и в 200 раз больше, чем первый в мире энергетический реактор АМ-1 (мощность которого составляла всего 5 МВт (Акатов, Коряковский, 2009).

Реактор типа РБМК устроен достаточно не сложно (и в этом одно из его основных достоинств); он состоит из набора одинаковых элементов: участок кладки из графитовых кирпичей и пропущенный через них технологический канал (Акатов, Коряковский, 2009).

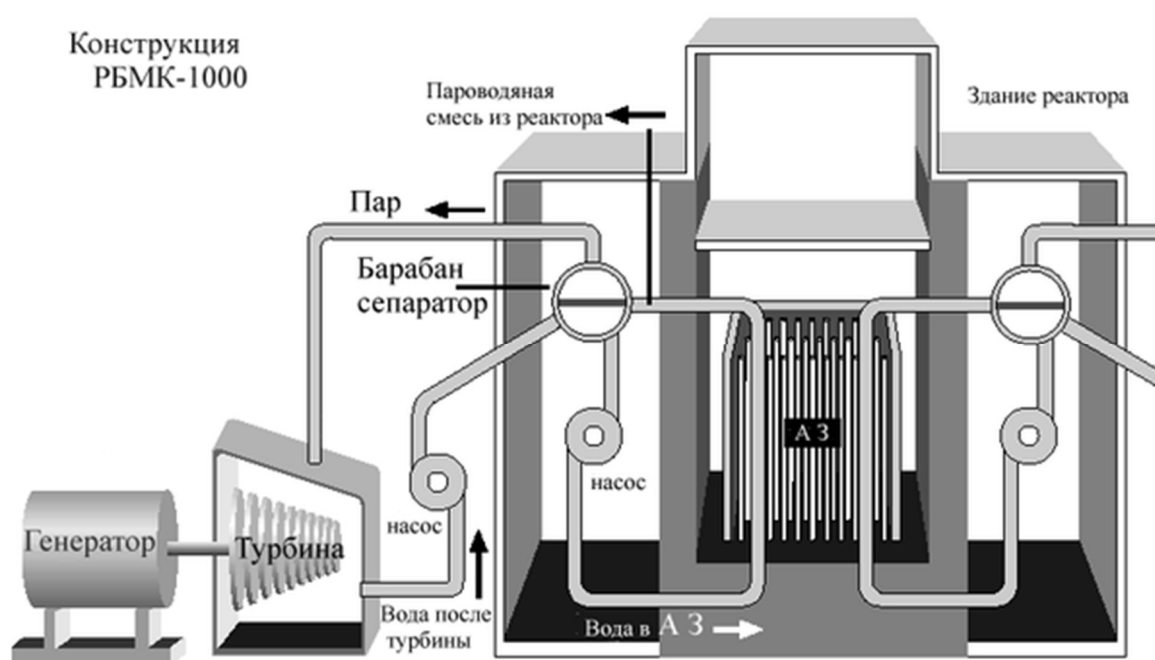


Рис. 1. Конструкция реактора РБМК-1000

Главным конструктором первой атомной подлодки был назначен В.Н. Перегудов, а работы по созданию энергетической установки проводились в организации НИИ-8, которую возглавил Н.А. Доллежалъ – ученый, участвовавший вместе с Курчатовым в разработке первых реакторов для получения оружейного плутония (Акатов, Коряковский, 2009).

Для того чтобы реактор можно было поместить в ограниченное пространство, потребовались иные подходы. Во-первых, в качестве замедлителя нейтронов решили вместо графита использовать теплоноситель, то есть – воду! Поэтому такие реакторы называют водо-водяными – так как вода является одновременно и замедлителем, и теплоносителем. Во-вторых, из соображений радиационной безопасности, активную зону заключили в толстостенный стальной корпус (из-за чего эти реакторы называют корпусными). В-третьих, взяли ядерное топливо с более высокой степенью обогащения по ^{235}U . И в-четвертых, установку сделали двухконтурной для безопасности (Акатов, Коряковский, 2009).

Советская атомная подлодка К-3, названная «Ленинский комсомол», была спущена на воду в 1957 году – спустя всего 3 года после спуска «Наутилуса». К-3 прошла ходовые испытания в 1958 году. 4 июля 1958 года впервые в истории отечественного флота для приведения корабля в движение была использована энергия ядерной реакции (Акатов, Коряковский, 2009).

В области мирного использования атомной энергии СССР опередил США: первая атомная электростанция дала промышленный ток 27 июня 1954 года. Это событие произошло недалеко от Москвы – в городе Обнинск, на территории Физико-энергетического института имени А.И. Лейпунского. Первая АЭС проработала 48 лет, и была остановлена в 2002 году. Физико-энергетический институт существует и по сей день, являясь одним из крупнейших научных центров нашей страны (Акатов, Коряковский, 2012).

1.2 Факторы экологического риска в ядерной энергетике

Радиоактивность – самопроизвольный процесс превращения атомов некоторых химических элементов, которые сопровождаются изменением их атомного номера и массового числа при этом могут испускаться γ - гамма кванты (гамма распад), β^+ , β^- - бета распад, α (распад).

На сегодняшний день радиоактивное загрязнение биосферы является одним из важнейших видов негативного воздействия человека на окружающую среду. Это загрязнение может быть вызвано ядерными взрывами, в результате аварий и соответственно утечки радиоактивных компонентов и т.д.

Превращение радиоактивного загрязнения в глобальную экологическую проблему современности пришлось на время испытания ядерного оружия в 50-60-ые годы. Повсеместность загрязнения связана с тем, что радиоактивные продукты термоядерных взрывов средней и большой мощности попадали в стратосферу и после перемешивания и выдержки в стратосферном резервуаре оседали на земную поверхность в течение многих месяцев. Наибольшее количество радионуклидов в стратосферу попало в 1957–1958 гг. и 1961–1962 гг. (Ionizing..., 1993; Андрюшин и др., 1996).

Выпадения высокодисперсных частиц из стратосферы от серии или группы серий ядерных взрывов большой мощности произошло глобальное загрязнение окружающей среды (Израэль, 1996). В 1963 г. был подписан Московский договор, запрещающий проведение ядерных испытаний в атмосфере, космосе и под водой, подписанный СССР, США и Великобритании; Франция и Китай не присоединились к договору. Франция продолжила испытания в атмосфере до 1974 года, а Китай до 1980 (Атлас..., 2009).

В ходе ядерных испытаний на Земле, в течение последних 50 лет, было выброшено приблизительно 13 т продуктов деления радиоактивных веществ. Это стало причиной превышения естественного фона поверхности Земли на 2%, изменив при этом равновесное содержание ^{14}C на 2,6%, трития – почти в 100 раз (Ким, Геращенко, 2010).

Техногенные аварии произвели на окружающую среду довольно пагубное влияние. В пример можно привести аварию на Чернобыльской АЭС. На ней произошел выброс радиоактивных веществ в атмосферу массой в 77 кг, в биосферу – 1,5 т и к загрязнению почв площадью 207,5 тыс. км² (Ким, Геращенко, 2010).

На дне Мирового океана в итоге техногенных аварий, покоятся несколько подводных лодок с ядерными реакторами и боеголовками. Помимо этого, многие страны, такие как США, Россия, Англия и др. с целью захоронения сбрасывали контейнеры с РАО в моря и океаны (Ким, Геращенко, 2010).

Можно выделить следующие проблемы, связанные с возможным воздействием объектов ядерной энергетики на человека и окружающую среду (Крышев, Рязанцев, 2000):

- 1) Экологические последствия радиационных аварий.
- 2) Обращение с отработавшим ядерным топливом.
- 3) Захоронение радиоактивных отходов.
- 4) Биологическое действие малых доз ионизирующего излучения.

Кроме этого объекты ядерной энергетики оказывают также и нетрадиционное воздействие на окружающую среду обусловленное следующими факторами (Крышев, Рязанцев, 2000):

- отчуждением земель;
- сбросным теплом;
- выбросом влаги в атмосферу;
- промышленными стоками химических загрязнителей.

Радиационная обстановка на территории Российской Федерации определяется следующими источниками ионизирующих излучений (Владимиров, Измалков и др., 2005):

- природной радиоактивностью, включая излучения;

- глобальным радиационным фоном, обусловленным проводившимися в предыдущие годы испытаниями ядерного оружия;
- эксплуатацией ядерно – и радиационно – опасных объектов;
- наличием территорий, загрязненных радиоактивными веществами вследствие деятельности объектов атомной энергетики и промышленности и имевших место аварий на них в предыдущие годы.

Таблица 1. Радиоактивное загрязнение стран Европы на 10.05.1986 г
(Атлас..., 2009)

Страна	Площадь (тыс.км ²) с уровнями загрязнения	
	более 37 кБк/м ² (более 1 Ки/км ²)	более 1480 кБк/м ² (более 40 Ки/км ²)
Австрия	11,00	-
Беларусь	46,00	2,60
Великобритания	0,16	-
Германия	0,32	-
Греция	1,20	-
Италия	1,30	-
Норвегия	7,10	-
Польша	0,52	0,46
Россия (Европейская часть)	60,00	-
Румыния	1,20	-
Словакия	0,02	-
Словения	0,61	0,56
Украина	38,00	-
Финляндия	19,00	-
Чехия	0,21	-
Швейцария	0,73	-
Швеция	24,00	-
Эстония	Более 0,01	-

Сегодня Россия имеет мощную индустрию и огромный опыт производства разнообразных ядерных материалов, ядерного топлива для всех типов ядерных энергетических, транспортных и исследовательских реакторов и

столь же богатый опыт по обращению и радиохимической переработке облученного (отработавшего) топлива (Крышев, Рязанцев, 2000).

Высокое качество российского топлива было продемонстрировано при проведении сравнительных испытаний топлива ВВЭР и PWR в Халденском реакторном центре (Норвегия). Трехлетние испытания топлива ВВЭР и PWR показали, что изготовленное топливо в России, ни по каким специфическим параметрам надежности и работоспособности не уступает топливу западного производства.

Производителем и поставщиком ядерного топлива для всех реакторных установок, созданных в России или с помощью России за рубежом, является ОАО «ТВЭЛ», созданное в 1996 г. (Крышев, Рязанцев, 2000).

1.3 Модели регулирования атомной отрасли

В мире используется три основных модели регулирования атомной отрасли (АО) (Селютин, 2014):

- 1) Государственно-монополярная модель функционирования атомной энергетики с централизованной формой управления. В данном случае АО находится в монополярном ведении государства, поскольку входит в основную государственную компанию, функционирующую в сфере производства, передачи и распределения электроэнергии.
- 2) Рыночная модель со свободным рынком и конкуренцией. При такой форме управления на свободном энергетическом рынке одновременно функционируют несколько компаний, отличающихся размером и формой собственности.
- 3) Смешанная модель, где в различной степени присутствуют элементы первой и второй модели. В указанных условиях наблюдается переход от монополярной формы управления АО к конкурентной, что чаще характерно для развивающихся стран, а также для государств, участвующих в международной интеграции.

Следует указать, что при условии монопольного государственного регулирования атомной отрасли, но при отсутствии излишней политизированности в данной сфере, правильно ориентированная энергетическая стратегия способна обеспечить стране лидерские позиции на соответствующем рынке при определенной гибкости в процессе принятия решений. Однако, у атомной отрасли России, которая исторически сформировалась в военно-промышленных целях и является стратегически важной отраслью не только энергетики, но и обороны страны, политизированные решения доминируют над объективными требованиями рынка (Селютин, 2014).

Договор к Энергетической Хартии (ДЭХ) представляет собой единственный в своем роде юридически обязательный многосторонний документ, конкретно касающийся межгосударственного сотрудничества в энергетическом секторе.

Основные характеристики ДЭХ (Селютин, 2014):

- 1) Основа ДЭХ – в политической декларации о сотрудничестве между востоком и западом в энергетическом секторе (Европейская Энергетическая Хартия).
- 2) ДЭХ – комплексное многостороннее соглашение, охватывающее все аспекты сотрудничества в области энергетики (торговлю, инвестиции, транзит, энергетическую эффективность, урегулирование споров).
- 3) ДЭХ содействует открытости энергетических рынков и надежности энергоснабжения, уважая в тоже время принципы устойчивого развития и суверенитета над энергетическими ресурсами.
- 4) ДЭХ создает международный форум для обсуждения всех связанных с энергетикой вопросов.
- 5) Процесс Энергетической Хартии носит динамичный характер и открыт для сотрудничества с заинтересованными третьими странами.

1.4 Плюсы и минусы атомной энергетики

«Атомная энергетика – это отрасль энергетики, занимающаяся производством электрической и тепловой энергии путём преобразования ядерной энергии» (<http://www.pandia.ru/text/77/293/4091.php>)

Положительные стороны атомной энергетики
(<http://www.pandia.ru/text/77/293/4091.php>):

- 1) Отсутствие выбросов в атмосферу продуктов сгорания и высокая конечная рентабельность.
- 2) Использование ядерного топлива для производства энергии не требует кислорода.
- 3) Высокая мощность: 1000 – 1600 МВт на энергоблок.
- 4) Ядерная энергетика достаточно стабильная. Поскольку атомные электростанции служат в течение долгого времени.

Отрицательные стороны атомной энергетики
(<http://www.pandia.ru/text/77/293/4091.php>):

- 1) Потенциальная опасность радиоактивного заражения окружающей среды при тяжелых авариях.
- 2) Проблема переработки использованного ядерного топлива.
- 3) Аварии ядерных реакторов.
- 4) Тепловое загрязнение окружающей среды.
- 5) Локальное механическое воздействие на рельеф – при строительстве.
- 6) Сток поверхностных и грунтовых вод, содержащих химические и радиоактивные компоненты.

1.5 Причины возникновения чрезвычайных ситуаций на атомных электростанциях

«Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей» (Тимофеева, 2015).

Авария на Чернобыльской АЭС является самой крупной аварией в мире в истории энергетики, произошла 26 апреля в 1986 году. Она привела к масштабному загрязнению России, Украины и Беларуси. Она сопровождалась тепловым взрывом активной зоны 4-го блока Чернобыльской АЭС, в результате чего в атмосферу попал практически весь набор радионуклидов, которые накопились в реакторе к моменту взрыва. В таком случае после распада радионуклидов с периодами полураспада секунды, минуты и часы значимым стал вполне определенный набор изотопов. По нарастанию периодов полураспада (в скобках) он выглядит следующим образом: ^{133}I (20,8 час), ^{239}Np (2,35 дня), ^{99}Mo (2,75 дня), ^{132}Te (3,26 дня) с ^{132}I , ^{131}I (8,04 дня), ^{140}Ba (12,8 дня) с ^{140}La , ^{136}Cs (12,98 дня), ^{141}Ce (32,5 дня), ^{103}Ru (39,4 дня), ^{89}Sr (50,6 дня), ^{91}Y (58,5 дня), ^{95}Zr (64 дня) с ^{95}Nb (35 дней), ^{144}Ce (284 дня), ^{106}Ru (367 дня), ^{134}Cs (2,06 лет), ^{125}Sb (2,7 года), ^{90}Sr (28,5 лет), ^{137}Cs (30,1 года) и трансурановые радионуклиды – ^{238}Pu (86,4 года), ^{241}Am (433 года), ^{240}Pu (6553 года), ^{239}Pu (24110 лет) (Атлас..., 2009).

Таблица 2. Статистика причин аварий на АЭС (Атлас..., 2009).

Причина	%
Ошибка в проектах конструкций и их дефектах	30,7
Износ оборудования и коррозионные процессы	17,5
Ошибка оператора	14,7
Ошибка в эксплуатации реактора	14,5
Другие причины	11,6

Чаще всего причиной аварии становится ошибка в проектах конструкций и их дефекты (рис. 2) (Атлас..., 2009).

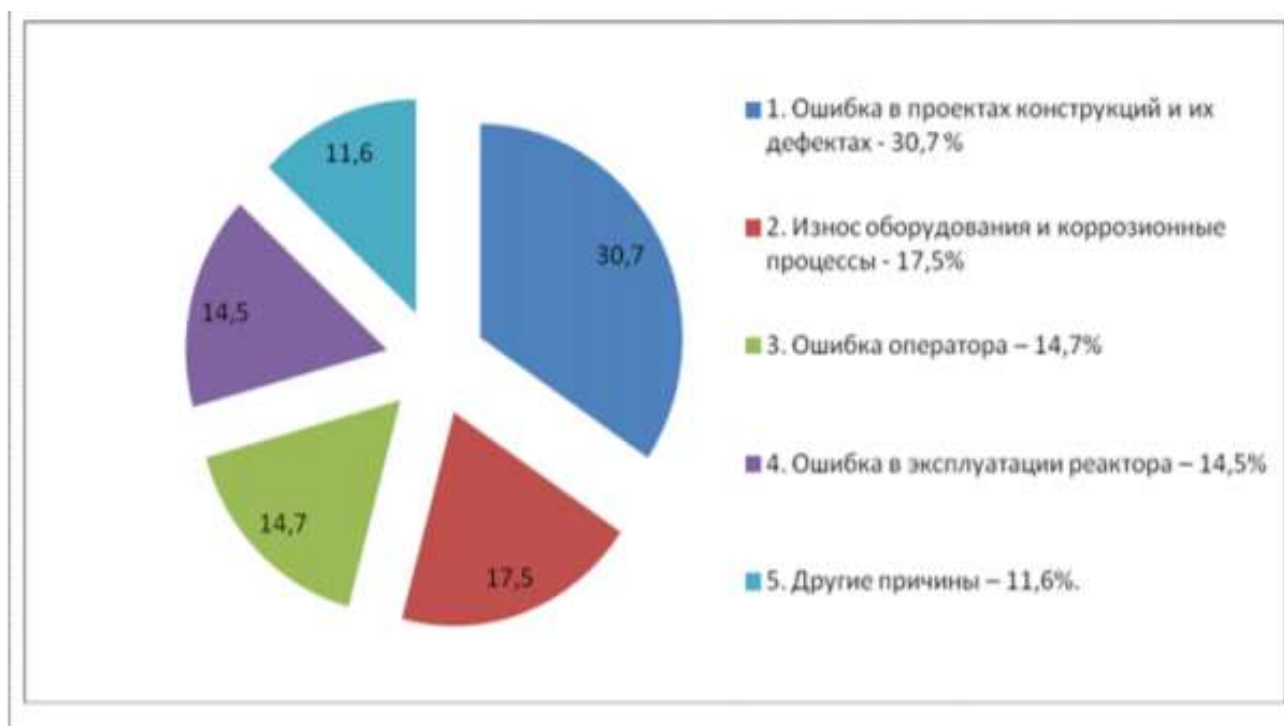


Рис. 2. Основные причины аварийных ситуаций на АЭС (Атлас..., 2009).

Глава 2. Атомная энергетика в России и за рубежом

Развитие атомной энергетики в мире за последние 20 лет не дает атомщикам всех стран мира оснований для полного оптимизма. Зарубежная статистика, начиная с 1985 года, демонстрирует неуклонное снижение темпов роста ядерной энергетики (Продление срока...2009).

В данный момент строительство новых АЭС поддерживается в основном только азиатскими странами, которые пытаются любыми способами добиться энергетической независимости (Продление срока...2009).

В США новые атомные станции не вводились в строй уже более 25 лет.

«В Европе программа строительства первого за многие годы атомного энергоблока в Финляндии и решение Франции о строительстве одного 1600 МВт реактора во Фламанвиле воспринимаются атомным лобби с восторгом, что вовсе не соответствует масштабу события. Германия находится в состоянии «атомного выхода» (старые станции дорабатывают проектный срок, новые – не строятся)» (Продление срока...2009).

В ряду опасных и неблагоприятных факторов, которые в настоящее время являются не до конца решенными и стоят на пути развития атомной энергетики, выделяют следующие (Продление срока...2009):

1. Сохраняющаяся потенциальная опасность распространения делящихся материалов и ядерных технологий (недееспособность существующих механизмов сдерживания наглядно продемонстрировали Северная Корея, Иран, Израиль).
2. При работе реакторов на легкой воде нарабатывается плутоний и другие трансурановые элементы, что способствует развитию атомного оружия и других военных технологий.
3. Образование большого количества отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) по причине чрезмерно низкого уровня выгорания ядерного топлива в реакторах.

4. Выброс в окружающую среду антропогенных так называемых «вечных» и «глобальных» радионуклидов.
5. Опасности, сохраняющиеся при нормальной работе АЭС:
 - 5.1. Опасное наличие в ныне действующих реакторах избыточной реактивности.
 - 5.2. Проблемы, связанные с проявлением «человеческого фактора».
 - 5.3. Опасности, связанные с проявлением ядерного и радиационного терроризма.
6. Опасности, связанные с возможным возникновением аварий, таких как:
 - 6.1. Возникновение неконтролируемой ЦРД.
 - 6.2. Аварийные прорывы теплоносителя из I-го контура охлаждения реакторов ныне действующих АЭС
7. Опасности, связанные с гипотетическими, но практически возможными случаями (падение летательного аппарата, тайфуны, землетрясения и т.д.).
8. (падение летательного аппарата, тайфуны, землетрясения и т.д.) 8. Опасности, связанные с необходимостью внешних дальних перевозок ОЯТ и радиоактивных отходов (РАО).
9. Опасности, связанные с проблемами захоронения образующегося при нынешней ядерной энергетике ОЯТ и РАО, включая целый комплекс проблем, исходящих от начинающегося вывода из эксплуатации АЭС и других ядерных объектов.
10. Опасности, связанные с необходимостью «вечного» хранения огромных по объёму отходов от химической переработки урановых руд.
11. Опасности, связанные с функционированием нынешних крупномасштабных радиохимических производств, особо учитывая при этом не только уже известные на них аварии, но и принципиально возможные инциденты в будущем с ещё более пагубными последствиями.

В Российской Федерации действуют более 12000 предприятий и организаций, применяющие ядерные материалы, радиоактивные вещества и изделия из них (Владимиров, Измалков и др., 2005).

На сегодняшний день в нашей стране эксплуатируется 10 атомных электростанций (в общей сложности 33 энергоблока установленной мощностью 25,2 ГВт), которые вырабатывают около 16% всего производимого электричества (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2. Атомные электростанции Российской Федерации
(Меньшиков, 2012)

№	Название АЭС	Номер блока	Тип реактора	Мощность МВт (эл)	Год ввода в эксплуатацию
1	Белоярская	3	БН-600	600	1980
2	Билибинская	1	ЭПГ-6	12	1974
		2	ЭПГ-6	12	1974
		3	ЭПГ-6	12	1975
		4	ЭПГ-6	12	1976
3	Балаковская	1	ВВЭР-1000	1000	1985
		2	ВВЭР-1000	1000	1987
		3	ВВЭР-1000	1000	1988
		4	ВВЭР-1000	1000	1993
4	Калининская	1	ВВЭР-1000	1000	1984
		2	ВВЭР-1000	1000	1986
		3	ВВЭР-1000	1000	2004
		4	ВВЭР-1000	1000	2012
5	Кольская	1	ВВЭР-440	440	1973
		2	ВВЭР-440	440	1974
		3	ВВЭР-440	440	1981
		4	ВВЭР-440	440	1984
6	Курская	1	РБМК-1000	1000	1976
		2	РБМК-1000	1000	1978
		3	РБМК-1000	1000	1983
		4	РБМК-1000	1000	1985

№	Название АЭС	Номер блока	Тип реактора	Мощность МВт (эл)	Год ввода в эксплуатацию
7	Ленинградская	1	РБМК-1000	1000	1973
		2	РБМК-1000	1000	1975
		3	РБМК-1000	1000	1979
		4	РБМК-1000	1000	1981
8	Новоронежская	3	ВВЭР-440	440	1971
		4	ВВЭР-440	440	1972
		5	ВВЭР-1000	1000	1980
9	Ростовская	1	ВВЭР-1000	1000	2001
		2	ВВЭР-1000	1000	2010
10	Смоленская	1	РБМК-1000	1000	1982
		2	РБМК-1000	1000	1985
		3	РБМК-1000	1000	1990

Примечание: 1 и 2 энергоблок в Новоронежской АЭС были выведены из эксплуатации. Энергоблок № 1 был оснащен реактором ВВЭР-210, энергоблок № 2 — реактором ВВЭР-365. Энергоблок №3 Ростовской АЭС находится в стадии строительства



Рис. 3. Атомные станции России (Палицкая, 2015).

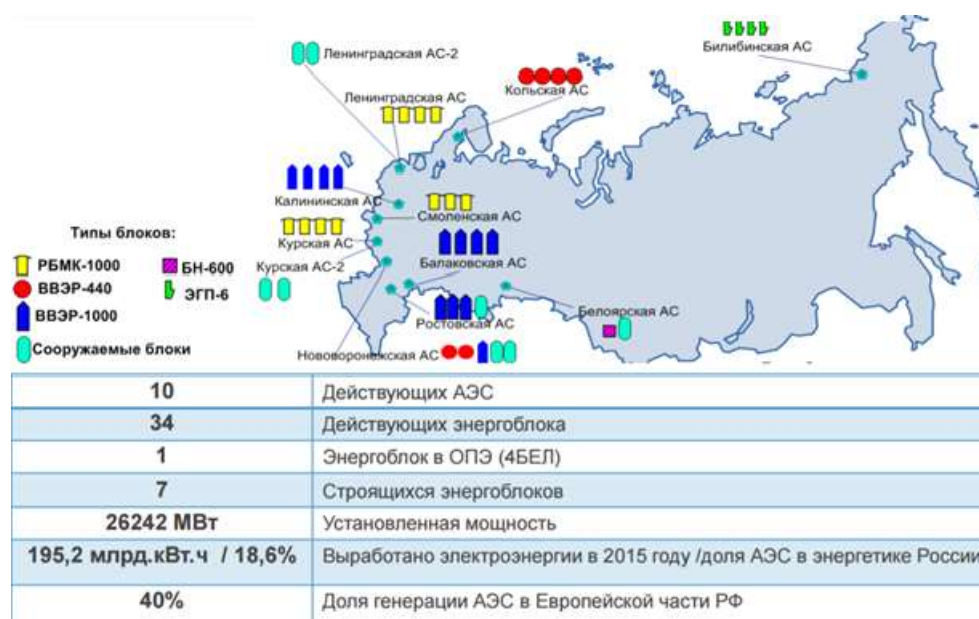


Рис. 4. Карта расположения действующих и строящихся энергоблоков АЭС России (Асмолов, 2016).

Целесообразность развития атомной энергетики в России диктуется следующими факторами (Винокуров, 2008):

- 1) Ожидаемая в ближайшей перспективе энергодефицитность российской экономики как ее важнейшая «инфраструктурная пробка».
- 2) Развитие атомной энергетики создаст предпосылки для роста экспорта газа.

Актуальность развития атомной энергетики в Российской Федерации обуславливается имеющимся технологическим потенциалом и тем обстоятельством, то, что энергодефицит в ближайшем будущем может стать (а в некоторых уже стал) важным инфраструктурным препятствием, мешающим экономическому формированию. К дополнительным факторам относятся возможности роста экспорта, возникающие с ростом доли атомной энергетики. Это поможет высвободить дополнительные объемы газа, которые обеспечат возможный прирост экспорта. Мощность атомной энергетики в настоящее время задействована на пределе возможного. В январе – сентябре 2006г. «Росэнергоатом» увеличил выработку энергии на 6,5%. Резервы существуют только в коэффициенте использования установленной мощности: в России он

традиционно составляет чуть более 70%, в то время как в Европе средний уровень – 83-85%. Для повышения коэффициента использованной мощности требуются масштабные инвестиции. На расширение добычи урана планируется потратить до 10 млрд. долл. США. 60-70% потребностей в уране должны покрываться из внутренних источников, а 30-40% – добычей урана совместными предприятиями в Казахстане, на Украине и в других государствах (Атомно-энергетические комплексы..., 2008).

Предотвратить эти угрозы человечество может, объединив полученные опыт и знания всех стран в создании качественно новых, безопасных ядерно-топливных циклов и энергетических ядерных реакторов, а также усиление режима нераспространения (Селютин, 2014).

Россия является активным участником международного сотрудничества в ядерной области и дальнейшие свои планы по развитию атомной отрасли выстраивает, ориентируясь на усиление и усовершенствование данного сотрудничества. Это должно производиться в соответствии со стратегическими планами по развитию энергетической отрасли страны в целом, а также с долгосрочными планами развития государства и его места на мировой арене (Селютин, 2014).

«Международное сотрудничество России в области атомного надзора осуществляется посредством взаимодействия со следующими организациями 48 - Сотрудничество с Европейской Комиссией (деятельность по оказанию содействия Ростехнадзору, предоставляемая организациями технической поддержки в сфере лицензирования и надзора атомной отрасли и радиационной безопасности в процессе использования атомной энергии в мирных целях); - Сотрудничество с МАГАТЭ (по вопросам лицензирования и надзора за использованием ядерной энергии в мирных целях и соблюдения радиационной безопасности; подготовка, обучение, техническая и технологическая помощь в сфере функционирования и эксплуатации объектов атомной отрасли; контроль за утилизацией радиоактивных отходов); - Сотрудничество с Агентством ядерной энергии организации экономического сотрудничества и

развития (АЯЭ ОЭСР) (контроль и надзор за ядерной и радиоактивной безопасностью); - Участие в мероприятиях в рамках Многонациональной программы оценки новых проектов АЭС (обсуждение и доработка принятия решений и рекомендаций технического характера в отношении долгосрочных планов и потенциальных направлений деятельности атомной отрасли); - Участие в мероприятиях, проводимых в рамках Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС) (совещание экспертов и согласование материалов в рамках программы «Рекультивация территорий государств - членов ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств»); - Участие в мероприятиях, проводимых в рамках СНГ, «Группы восьми», Форума органов регулирования стран, эксплуатирующих реакторы ВВЭР и пр.» (Селютин, 2014).

2006 год в истории атомной отрасли стал переломным, так утверждают отраслевые эксперты. Во-первых, началось системное реформирование отрасли. Во-вторых, отношение к атомной отрасли изменилось, как со стороны власти, так и со стороны российских граждан (Атомно-энергетические комплексы..., 2008).

Генеральный директор «Союза работодателей атомной промышленности, энергетики и науки России» В. Гагиев выделил следующие основные моменты работы «Росатома» в 2006 году (Атомно-энергетические комплексы..., 2008):

- 1) Была создана необходимая нормативно-правовая база для реформирования отрасли. Распоряжением Правительства РФ утверждена Федеральная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года». В 2007 г. принят и вступил в силу федеральный Закон «Об особенностях управления и распоряжения имуществом и акциями организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации».

- 2) В 2006 году активизировалось строительство 4-го энергоблока Белоярской АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-800. Начаты работы на стройплощадке 4-го энергоблока Калининской АЭС и сооружение первой плавучей атомной станции с усовершенствованным реактором ледокольного типа КЛТ-40С.
- 3) Победа в тендере на строительство АЭС «Белене» в Болгарии в 2006 году, ставшая первой для российских атомщиков на европейском рынке строительства АЭС в постсоветский период. Подрядчиком строительства АЭС «Белене» будет «Атомстройэкспорт», возводящий одновременно 5 энергоблоков атомных станций в Китае, Индии и Иране.
- 4) Началась добыча урана на российско-казахстанском СП «Заречное», мощность которого составит 1000 тонн урана в год. Практическая реализация первого российского проекта по добыче урана за рубежом финансируется Евразийским банком развития (кредит на 5 лет на сумму 63 млн. долл.). Обогащение казахстанского урана будет производиться на специально выделенной площадке Ангарского электролизного химического комбината.
- 5) Достигнуты существенные успехи в расширении экспорта топлива для АЭС корпорацией «ТВЭЛ». Выигран международный тендер на поставку топлива на АЭС «Темелин» (Чехия).
- 6) Созданы совместные предприятия с машиностроительными заводами – производителями основного оборудования для АЭС. Достигнуты определенные успехи в социальной сфере.
- 7) Наконец, коренное изменение общественного отношения к атомной энергетике: отрасль вновь стала приобретать статус приоритетной.

2.1 Развитие атомной энергетики России с 2007 до 2015 года

Правительство РФ одобрило Федеральную целевую программу «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 г.». Принятая программа предусматривает ввод новых энергоблоков АЭС в точках роста российской экономики (в Московской области, европейской части страны, на Дальнем Востоке и Урале). Результатом реализации программы должен стать ввод в строй к 2015 году 10 новых энергоблоков установленной мощностью более 11 ГВт. Сейчас в России работают 10 АЭС установленной мощностью 23,2 ГВт, а доля атомной энергетики в производстве электроэнергии составляет 15,5%. В результате программы доля АЭС в производстве электроэнергии должна увеличиться до 22% по базовому сценарию и до 30% – по оптимистическому. Общий объем финансирования программы составит 1,47 трлн. руб. (55 млрд. долл. США), в том числе 674,8 млрд. руб. из федерального бюджета и 796,6 млрд. руб. за счет средств отрасли. Предполагается, что после 2015 года отрасль не будет нуждаться в бюджетном финансировании – за восемь лет планируется создать основу, позволяющую отрасли выйти на самоокупаемость. Ожидается сокращение удельной стоимости строительства АЭС на 10% и себестоимости производства электроэнергии – на 20% (Атомно-энергетические комплексы..., 2008).

Так как финансирование было недостаточным (на уровне 70,6% от плана) реализация подпрограммы «Безопасность и развитие атомной энергетики» Федеральной целевой программы «Энергоэффективная экономика» на 2002-2005 годы и на перспективу до 2010 значительно отставала. В частности, к 2005 году вместо предусмотренных 3 энергоблоков атомных электростанций общей установленной электрической мощностью 3 ГВт были введены в эксплуатацию только 2 энергоблока мощностью 2 ГВт. Одобренная правительством ФЦП не затрагивает вопрос развития «Росатомпрома». Вопросы организационного развития отрасли посвящен федеральный Закон

«Об особенностях управления и распоряжения имуществом и акциями организаций, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии», вступивший в силу 20 февраля 2007г. Основная идея закона – консолидация атомных активов в едином холдинге «Атомэнергопром». Холдинг станет корпорацией полного цикла (добыча урана, производство топлива и электроэнергии, строительство АЭС в России и за рубежом, атомное машиностроение, проектные и научные организации). Стоимость активов «Атомэнергопрома» оценивается в 40-50 млрд. долл. США. Во второй половине 2007 г. было принято решение объединить атомные активы в государственной корпорации «Росатом», в состав которой войдет имущество фундаментальной науки, объекты ядерной радиационной безопасности, а также 100% пакет акций ОАО «Атомэнергопром», который в свою очередь будет управлять всеми ведущими предприятиями гражданской части атомной отрасли. Соответствующий законопроект был внесен Президентом РФ на рассмотрение Госдумы в октябре (Атомно-энергетические комплексы..., 2008).

Наконец, в апреле 2007 г. Россия заложила первую в мире плавучую АЭС. Ее строительство завершится к 2010 году, планируемая мощность составит 70 мегаватт. Ее электроэнергия в основном будет потребляться «Севмаш» и примерно одна пятая часть будет продаваться. Стоимость проекта составляет 200 миллионов долларов. Планируемый срок самоокупаемости – не более семи лет. До 2016 года планируется создать флот из семи плавучих электростанций, в том числе и большей мощности. Плавучие АЭС могут базироваться в любом прибрежном районе и использоваться для выработки электричества и тепла, а также для опреснения морской воды. Плавучая атомная станция имеет повышенный уровень радиационной безопасности и может эксплуатироваться без перезагрузки топлива в течение 12-15 лет (Атомно-энергетические комплексы..., 2008).

2.2 Перспективы развития атомной энергетики России

С 2002 года выработка электроэнергии на АЭС увеличилась на 11%, установленная мощность АЭС – на 9 % (без учета установленной мощности энергоблока № 3 Ростовской АЭС) (Энергетическая стратегия..., 2014).

В период с 2008 года Россия принимала активное участие в строительстве АЭС за рубежом (Бушерская АЭС в Иране, АЭС «Кудамкулам» в Индии, Тяньваньская АЭС в Китае), были подписаны соглашения о строительстве АЭС в Белоруссии, Бангладеш, Венгрии, Финляндии, Турции (Энергетическая стратегия..., 2014).

«Атомная энергетика является одной из технологических областей, в которых Россия лидирует на протяжении длительного периода, и ее дальнейшее развитие важно не только с точки зрения улучшения структуры ТЭБ, но и для сохранения технологического лидерства в данной области. В частности, Россия лидирует в создании новой ядерной энергетики с реакторами естественной безопасности на быстрых нейтронах и замкнутым топливным циклом, которая может решить проблемы воспроизводства ядерного горючего, захоронения отходов и нераспространения атомного оружия» (Энергетическая стратегия..., 2014).

Требуется решить следующие задачи (Энергетическая стратегия..., 2014):

- 1) Повышение эффективности и конкурентоспособности атомной энергетики в целом, достижение экономической конкурентоспособности новых АЭС путем снижения удельных затрат на их сооружение при сохранении приоритета безопасности.
- 2) Создание технологической базы конкурентоспособной атомной энергетики на основе быстрых реакторов естественной безопасности с замкнутым ядерным топливным циклом, сохранение природ-

ного баланса радиоактивности при захоронении отходов и предотвращения распространения ядерных оружейных материалов.

- 3) Удвоение производственных мощностей атомного машиностроения и строительно-монтажных организаций для обеспечения на втором этапе ежегодного ввода до двух энергоблоков в стране, при увеличении поставок на экспорт.
- 4) Формирование на втором этапе новой технологической платформы атомной энергетики с АЭС на усовершенствованных водо-водяных и быстрых реакторах, работающих в замкнутом ядерно-топливном цикле.
- 5) Увеличение экспортного потенциала ядерных технологий России, дальнейшее развитие экспорта атомных электростанций, продуктов и технологий ядерного топливного цикла и электроэнергии.

Прогнозы показывают, что в случае решения поставленных задач в атомной энергетике и ядерном топливном цикле в период 2015-2035 годов будет идти увеличение доли АЭС в выработке электроэнергии на 2-4 процентных пункта (с 17 до 19–21 %) с ростом их установленной мощности в 1,4-1,7 раза при соответствующем демонтаже энергоблоков советской постройки. Доля атомной энергии в общем объеме производства первичной энергии увеличится в 2015-2035 годы с 3,0 % до 3,5-3,9% (Энергетическая стратегия..., 2014).

Согласно прогнозу, в период до 2040 года по темпам прироста потребления в мире атомная энергетика будет занимать третье место после ВИЭ и газа, весь этот прирост будет сосредоточен в развивающихся странах, в то время как в развитых странах в основном будет идти замена энергоблоков АЭС вследствие истечения проектных сроков эксплуатации (Прогноз..., 2014).

По состоянию на 2014 год ситуация немного упростилась из-за решения ряда стран по продлению сроков эксплуатации отдельных АЭС.

Однако объём мощностей для замены остается достаточно высоким – в период до 2040 года должны быть выведены из эксплуатации более 60% эксплуатируемых в настоящее время мощностей энергоблоков. На этом фоне развивающиеся страны, для многих из которых вопрос вывода из эксплуатации АЭС появится только во второй половине XXI века, смогут увеличить свою долю в мировом производстве атомной энергии с 17 до 49% (рис. 5), при этом почти три четверти от этого увеличения обеспечат Китай и Индия (Прогноз..., 2014).

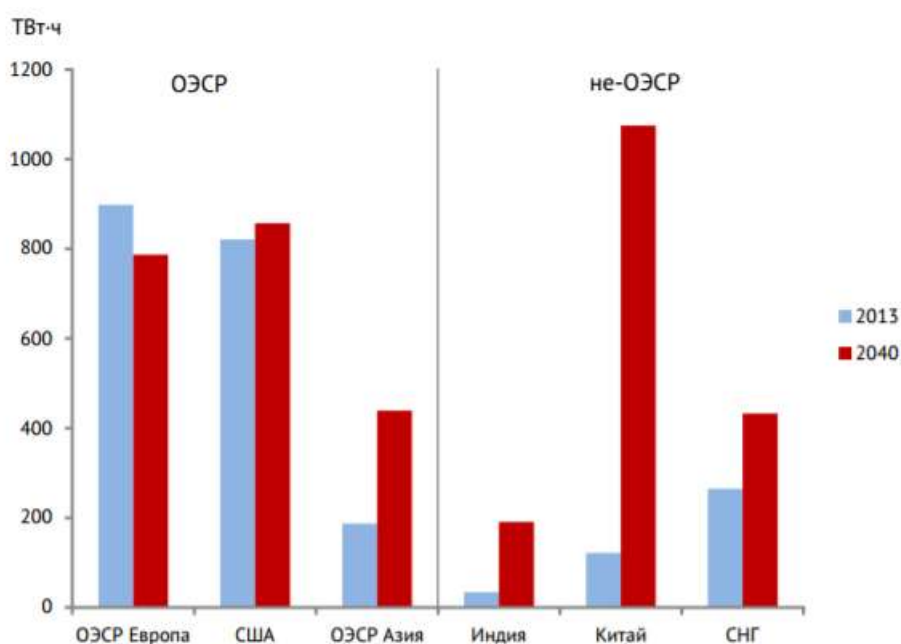


Рис. 5. Производство электроэнергии на АЭС по регионам (Прогноз..., 2014).

Предполагается, что из развитых стран только Япония к 2040 году сможет значительно увеличить выработку атомной энергии по сравнению с 2013 годом. Это произойдет в результате частичного возвращения в эксплуатацию мощностей, остановленных после аварии на АЭС Фукусима. Однако здесь, на фоне сохранения довольно трудной ситуации в зоне поврежденных энергоблоков, остается значительная неопределенность относительно дальнейшей политики страны в данной сфере (Прогноз..., 2014).

Отчасти стабилизация и снижение мощностей АЭС в странах ОЭСР (организация экономического сотрудничества и развития: международная, межгосударственная организация экономически развитых стран, признающих принципы представительной демократии и свободной рыночной экономики) будут компенсированы повышением эффективности работы станций за счет замены части оборудования на действующих блоках и оптимизации режимов работы в сети. В целом по миру доля атомной генерации в производстве электроэнергии сократится, но в четырех регионах – традиционных лидерах атомной отрасли (Северная Америка, Европа, СНГ и развитые страны Азии) – она сохранит высокий уровень (более 10%). Эти АЭС смогут стабильно работать в режиме базовой нагрузки, однако в сочетании с существенным приростом выработки электроэнергии на ВИЭ некоторым странам придется уделять повышенное внимание развитию резервирующих и пиковых мощностей (на основе углеводородов) и аккумулированию электроэнергии (Прогноз..., 2014).

Глава 3. Методология анализа риска: виды и их принципы в чрезвычайных ситуациях

«В России работы по оценке риска получили государственный статус в середине 1990-х гг., когда была сформирована Государственная научно-техническая программа «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф». Первоначальные фундаментальные исследования риска были выполнены в ряде академических институтов Российской академии наук» (Воропаев, Нестеренко и др., 2016).

Понятие риска, используемое в различных сферах, многозначно. «Так под риском ЧС понимается количественная мера возможности реализации опасностей и угроз техногенного, природного, биолого-социального и иного характера, обуславливающей возникновение и развитие ЧС. В качестве такой меры используется вероятность или частота возникновения аварий и катастроф, опасных природных явлений, биолого-социальных событий и других источников ЧС в комплексе с математическим ожиданием ущерба, наносимого населению, окружающей среде, хозяйственно-экономическим и другим объектам при реализации опасностей и угроз» (Воропаев, Нестеренко и др., 2016).

«Под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин» (Акимов, Лапин и др., 2002).

$$R=P*Y$$

Для того чтобы подчеркнуть, что речь идет об измеряемой величине, используются понятия «степень риска», «уровень риска», «индекс риска» (Воропаев, Нестеренко и др., 2016).

«Риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда» (Акимов, Лапин и др., 2002).

С любыми видами антропогенной деятельности, связана определённая степень риска неблагоприятного воздействия на организм человека и популяции других организмов (Крышев, Рязанцев, 2000).

К потребности разработки методологии оценки и сравнения разных источников опасности на основе применения единых критериев безопасности, приводит необходимость сопоставить разные виды воздействия человека на биоту (Крышев, Рязанцев, 2000).

Проблема определения приемлемого риска имеет социальные, экономические, психологические, экологические и другие аспекты (Крышев, Рязанцев, 2000).

«Два одинаковых риска могут различаться по степени приемлемости, если один из них является добровольным, например, курение, а другой принудительным, например, воздействие вредных промышленных выбросов». Хотя и общепризнано, что ни в каких видах деятельности человека абсолютная экологическая безопасность практически не может быть достигнута (Крышев, Рязанцев, 2000).

«Одной из важных целей оценки риска является решение следующих вопросов: является ли уровень риска настолько высоким, что требуется принятие мер по обеспечению защиты населения и окружающей среды, следует ли снижать уровень риска или следует приостановить или усовершенствовать деятельность, обуславливающую возникновение риска, какова вероятность распределения риска между различными источниками опасности» (Крышев, Рязанцев, 2000).

Оценка экологического риска связана в общем случае с анализом рисков от источников опасности природного происхождения, а также с рисками,

возникающими вследствие загрязнения и воздействия других антропогенных факторов на локальном, региональном и глобальном уровнях (Крышев, Рязанцев, 2000).

Общая схема оценки экологического риска для ядерного объекта представлена в табл. 3 (Воропаев, Нестеренко и др., 2016).

Данная схема предусматривает оценку риска в штатных условиях эксплуатации ядерного объекта от комплекса радиационного и нерадиационных факторов, а также при чрезвычайной ситуации в результате радиационной аварии (Крышев, Рязанцев, 2000).

Таблица 3. Оценка экологического риска для ядерного объекта (Крышев, Рязанцев, 2000).

Процедура оценки риска	Источники ущерба для человека и окружающей среды
Источники риска Нормальные условия	Сброс тепла в водоемы и атмосферу. Сбросы биогенов и вредных химических веществ (ВХВ). Сбросы радионуклидов.
Аварии	Аварийные выбросы радионуклидов. Разрушение ядерного объекта при внешнем воздействии или в результате природной катастрофы.
Перенос в окружающей среде Нормальные условия	Перенос радионуклидов и ВХВ. Накопление радионуклидов и ВХВ в биоте и пищевых цепях человека. Биотрансформация физико-химических форм токсикантов.

Процедура оценки риска	Источники ущерба для человека и окружающей среды
Перенос в окружающей среде Нормальные условия	Биологическое загрязнение окружающей среды. Изменения метеорологического и гидротермического режима. Перенос и накопление радионуклидов в природной среде и агроэкосистемах. Изменения электрических характеристик атмосферы.
Аварии	Воздействие на здоровье химических загрязнителей, малых доз облучения, изменений микроклимата.
Субъекты воздействия Нормальные условия Человек	Сочетанное действие на биоту термального загрязнения, токсикантов, ионизирующего излучения. Нарушения экологического баланса радионуклидов.
Аварии Человек	Воздействие облучения, изменений электрических характеристик приземного воздуха, психологических факторов стресса, экономические потери.
Биота	Воздействие на компоненты биоты острого и хронического облучения.

В основу методологии анализа риска, обусловленного радиоактивным загрязнением окружающей среды, положены следующие принципы (Крышев, Рязанцев, 2000):

- 1) Интегральность оценки – методология анализа риска является современным средством интегральной оценки качества окружающей среды;
- 2) Системность – анализируются множественные пути радиационного воздействия на человека;

- 3) Надежность (консервативность) – в качестве входных используются обобщенные данные радиационно-экологического мониторинга, недостающие параметры измеряются дополнительно или оцениваются с помощью радиоэкологических моделей, не допускающих занижение оценки риска;
- 4) Практическая значимость – результаты анализа риска используются для обоснования принятия решений в области радиационно-экологической безопасности.

«Технический риск – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасного производственного объекта» (Тимофеева, 2015).

«Потенциальный риск – ожидаемая частота поражения определенной тяжести реципиента в результате воздействия совокупности поражающих факторов всех возможных источников чрезвычайной ситуации при условии постоянного нахождения реципиента в этой точке» (Тимофеева, 2015).

«Индивидуальный риск – частота поражения определенной тяжести представителя выделяемой категории реципиентов в данной точке в результате воздействия совокупности поражающих факторов источников чрезвычайной ситуации с учетом доли времени нахождения в рассматриваемой точке территории за выбранный период, особенностей физиологического восприятия негативного воздействия, адекватности действий при чрезвычайной ситуации, наличия и эффективности систем защиты от соответствующего поражающего фактора» (Тимофеева, 2015).

«Коллективный риск – сумма произведений индивидуальных рисков на число реципиентов, подвергшихся этому риску» (Тимофеева, 2015).

«Социальный риск – зависимость частоты событий, в которых пострадало на том или ином уровне число людей, больше определенного числа людей» (Тимофеева, 2015).

«Приемлемый риск – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений развития общества» (Тимофеева, 2015).

Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЭ) в 1981 году было введено понятие риска. В настоящее время только Нидерланды законодательно зафиксировали величину приемлемого риска $R_{пр} = 1 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, т. е. недопустимо никакое строительство, модернизация, проектирование, если допустима вероятность гибели одного человека из миллиона. Приемлемый риск в промышленности России составляет 10^{-4} год⁻¹, т. е. на два порядка выше, чем в Нидерландах (Тимофеева, 2015).

Глава 4. Проблема радиоактивных отходов

Развитие ядерных технологий сопровождается формированием значительного количества радиоактивных отходов, потенциально являющихся одним из основных источников риска для человека и биосферы при использовании ядерной энергии (Крышев, Рязанцев, 2000).

«К радиоактивным отходам (РАО) относятся радиоактивные вещества, содержащие радионуклиды в количествах, превышающих величины, установленные нормами радиационной безопасности и не подлежащие дальнейшему использованию» (Крышев, Рязанцев, 2000).

«Радиоактивные отходы классифицируются по уровням радиоактивности и агрегатному состоянию. В России предусматривается классификация РАО на низкоактивные (НАО), среднеактивные (САО) и высокоактивные отходы (ВАО). Кроме того, выделяют твердые, жидкие и газообразные РАО» (Крышев, Рязанцев, 2000).

Одной из основных составляющих национальной безопасности и неотъемлемым условием применения атомной энергии в настоящем и будущем является обеспечение безопасности при обращении с РАО (Четвертый национальный..., 2014).

«Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» устанавливает требования к захоронению РАО и пунктам их хранения, закрепляет финансовые основы обеспечения деятельности по обращению с РАО» (Четвертый национальный..., 2014).

Создание Единой государственной системы (ЕГС) обращения с РАО осуществляется в несколько этапов. В настоящий момент проводятся мероприятия по реализации первого этапа (Постановление правительства..., 2012).

Первый этап (2011-2015): создаются нормативные документы и организационные основы ЕГС РАО, включая проведение в установленном порядке первичной регистрации РАО и мест их размещения (Четвертый национальный..., 2014).

Второй этап (2015–2018): создается система захоронения низкоактивных и среднеактивных РАО, в том числе (Четвертый национальный..., 2014):

- 1) Принимаются решение о сооружении пунктов захоронения в соответствии с утвержденной на первом этапе схемой территориального планирования размещения пунктов захоронения РАО;
- 2) Проектируются, строятся и вводятся в эксплуатацию первоочередные пункты захоронения низкоактивных и среднеактивных РАО.

Третий этап (2018–2021): создается система захоронения высокоактивных РАО, осуществляется перевод пунктов размещения особых РАО в пункты консервации особых РАО и пунктов консервации особых РАО в пункты захоронения РАО, в том числе (Четвертый национальный..., 2014):

- 1) Вводятся в эксплуатацию объекты подземной исследовательской лаборатории для проведения исследований с целью подтверждения безопасности создания пункта глубинного захоронения высокоактивных РАО;
- 2) Вводятся в эксплуатацию пункты захоронения низкоактивных и среднеактивных РАО и осуществляется захоронение этих отходов;
- 3) Выполняются работы по преобразованию пунктов размещения особых РАО в пункты консервации особых РАО.



Рис. 6. Подземное захоронение РАО

Таблица 4. Классификация твердых радиоактивных отходов по уровню радиоактивного загрязнения (Крышев, Рязанцев, 2000).

Категория отходов	Уровень загрязнения, част/(см ² · мин)		
	Бетта-излучающие радионуклиды	Альфа-излучающие радионуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды
Низкоактивные	от $5 \cdot 10^2$ до 10^4	от $5 \cdot 10^1$ до 10^3	от 5 до 10^2
Среднеактивные	от 10^4 до 10^7	от 10^3 до 10^6	от 10^2 до 10^5
Высокоактивные	более 10^7	более 10^6	более 10^6

«Суммарное количество отходов на территории России оценивается в $6,2 \cdot 10^{19}$ Бк. Более 99% этого количества связано с военной деятельностью по наработке ядерных материалов в предшествующий период и сосредоточенно на объектах Росатома. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) составляют около 70% общей активности. Общий объем жидких радиоактивных отходов

оценивается в 476 млн. м³, суммарная масса твердых радиоактивных отходов (ТРО) составляла в 2008 году 83 млн. т (Крышев, Рязанцев, 2000).

Согласно Федеральному Закону №190: радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы, которые могут находиться исключительно в федеральной собственности, а также образовавшиеся до дня вступления в силу настоящего Федерального закона иные радиоактивные отходы находятся в федеральной собственности (ФЗ об обращении..., 2016).

Радиоактивные отходы, образовавшиеся со дня вступления в силу настоящего Федерального закона (за исключением радиоактивных отходов, содержащих ядерные материалы, которые могут находиться исключительно в федеральной собственности), находятся в собственности организации, в результате деятельности которой они образовались (ФЗ об обращении..., 2016):

- 1) Пункты захоронения радиоактивных отходов могут находиться в федеральной собственности или в собственности Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом".
- 2) Пункты долговременного хранения радиоактивных отходов, пункты временного хранения радиоактивных отходов, пункты размещения особых радиоактивных отходов и пункты консервации особых радиоактивных отходов могут находиться в федеральной собственности или в собственности российских юридических лиц.
- 3) В состав имущества пункта хранения радиоактивных отходов как имущественного комплекса входит имущество, необходимое для обеспечения его безопасного функционирования, в том числе земельные участки, здания, сооружения, оборудование, права пользования участками недр, водными объектами и иными природными объектами. Собственники радиоактивных отходов, собственники пунктов хранения радиоактивных отходов обязаны обеспечивать безопасное обращение с радиоактивными отходами, безопасные эксплуатацию, вывод из эксплуатации, закрытие пунктов хранения радиоактивных отходов.

«Радиоактивные отходы вещества, материалы, изделия, оборудование, объекты биологического происхождения, радиоизотопные источники, загрязненные объекты внешней среды, содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные нормами радиационной безопасности» (Информационный бюллетень..., 2010).

В настоящее время все АЭС имеют специально оборудованные пункты по переработке и захоронению низко- и средне-активных отходов, расположенными обычно недалеко от промплощадки АЭС (Крышев, Рязанцев, 2000).

В 1962 году было открыто предприятие Ленинградский спецкомбинат (ЛСК). Он является крупным пунктом хранения радиоактивных отходов низкой и средней активности, обслуживающим Ленинградскую АЭС, г. Санкт-Петербург и Ленинградскую область. Основная масса радиоактивных отходов стала поступать на ЛСК после введения в эксплуатацию АЭС, начиная с 1973 года. Ленинградская АЭС является основным поставщиком (до 80%) твердых отходов (Крышев, Рязанцев, 2000).

Районы размещения хранилищ РАО Ленинградского спецкомбината и других ПХРО нуждаются в постоянном экологическом мониторинге. Основные производственные объекты большинства спекомбинатов, сооруженные в 60-х годах, морально и физически устарели и требуют реконструкции (Крышев, Рязанцев, 2000).

Фундаментальные принципы обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами разрабатываются и постоянно совершенствуются путем достижения консенсуса среди стран, участвующих в их разработке и обсуждении. Эти принципы и требования обращения с РАО, принятые на международном уровне, сформулированы в документах международных организаций МАГАТЭ, Международной комиссии по радиологической защите и др. (Информационный бюллетень..., 2010).



Рис. 7. Основные стадии обращения с радиоактивными отходами (МАГАТЭ)

Основные положения этих документов заключаются в следующем. При обращении с РАО вне зависимости от их происхождения должны быть обеспечены: защита здоровья персонала и населения, защита окружающей природной среды, защита будущих поколений, невозложение необоснованного бремени на будущие поколения, обеспечение 2 безопасности за пределами национальных границ, обращение с РАО в рамках национальной правовой структуры, контроль генерации радиоактивных отходов, взаимосвязь между генерацией и последующими этапами обращения с РАО, безопасность установок для обращения с РАО на протяжении всего срока их службы и др. (Информационный бюллетень..., 2010).

В отношении сооружений (установок) и деятельности по временному хранению РАО в местах их образования должны производиться оценки безопасности и воздействия на окружающую среду, с тем, чтобы показать их достаточную надежность и соответствие требованиям безопасности, установленным регулирующим органом (Крышев, Рязанцев, 2000).

Оценки безопасности и воздействия на окружающую среду должны проводиться для конструкций, систем и узлов сооружения (установки) хранения РАО, подлежащих переработке отходов и всех, связанных с этой деятельностью работ, охватывающих как нормальную эксплуатацию, так и ожидаемые инциденты и аварии (Крышев, Рязанцев, 2000).

К пуску энергоблока на АЭС должны быть обеспечены условия для сбора, переработки, кондиционирования, транспортирования и хранения РАО в запланированных проектом объемах, включая перевод жидких радиоактивных отходов в отвержденную форму в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии (Крышев, Рязанцев, 2000).

В Канаде последняя новая АЭС была введена в строй в 1993 г., в США строится всего один новый реактор, первый за последние 20 лет. В ближайшие 10 лет, по расчетам специалистов, в США будут отключены, по крайней мере, 25 старых реакторов, содержание которых становится просто нерентабельным. Причем специалисты предсказывают, что высокая стоимость демонтажа отслуживших свой век АЭС и окончательного захоронения радиоактивных отходов в скором времени поставит электрические компании США перед гигантскими трудностями (Вывод из..., 2003).

В Германии положение также складывается не лучшим образом. Так, демонтаж 6 старых реакторов советского производства на территории бывшей ГДР обойдется минимум в 3 млрд. долл. Именно столько стоило бы строительство такого же числа современных АЭС такой же мощности. В мире уже снято с эксплуатации и демонтировано более 10 АЭС, и их площадки возвращены в состояние “зеленой лужайки”, однако, этот процесс носил больше экспериментальный характер и происходил в условиях возможного выделения ресурсов для единичных блоков. В настоящее время в мире более 130 исследовательских, демонстрационных и промышленных ядерных реакторов выработали свой ресурс, а в период до 2020 г. во всем мире будет снято с эксплуатации более 200 энергоблоков. При снятии с эксплуатации 125

энергоблоков в странах ЕЭС общий объем РАО составит 1 млн. 600 тыс. т. Эти отходы надо надежно изолировать и хранить длительный срок в специальных хранилищах (Вывод из...,2003).

Выделяют 3 основных возможных варианта вывода АЭС из эксплуатации (Вывод из...,2003):

- 1) Непосредственный быстрый демонтаж электростанции. В этом случае ОЯТ и теплоноситель после продолжительного отстоя вывозятся в хранилище с радиационной защитой. Все загрязненные радиацией материалы и оборудование разбираются и удаляются. Территория станции приводится в радиационно-безопасное состояние. Объем радиоактивных отходов оценивается в 18–20 тыс. м³.
- 2) Отсроченный демонтаж. В этом случае с территории АЭС убираются ОЯТ и теплоноситель, а после консервации в течение нескольких десятилетий (в Германии этот срок – 30 лет, в Великобритании – от 50 до 100 лет) производится демонтаж и окончательная очистка территории станции. Объем РАО снижается незначительно – до 17 тыс. м³.
- 3) Изоляция. Все радиоактивные отходы остаются на станции, которую заключают в бетонный саркофаг, позволяющий периодически контролировать ее состояние. Через 100 лет может быть произведена разборка станции и ее дезактивация. Количество отходов – 10 тыс. м

Федерально целевая программа на 2016-2030 годы предусматривает создание инфраструктуры по переработке и окончательной изоляции федерального ОЯТ и РАО и окончательную изоляцию, накопленных федеральных удаляемых РАО (Обеспечение ядерной..., 2015).

Таблица 5. Структура программы на 2016-2030 годы
(Обеспечение ядерной..., 2015)

Направление	Объем финанси- рования	Основные укрупненные мероприятия
Перевод объектов ядерного наследия в безопасное состояние с их последующей ликвидацией	73%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Удаление из хранилищ АЭС и размещение на долговременное централизованное хранение 2. Безопасное удаление их временных хранилищ и переработка ОЯТ 3. Вывод из эксплуатации (ликвидация) ЯРОО 4. Реабилитация радиационно загрязненных территорий 5. Безопасное удаление РАО их пунктов хранения и захоронения РАО
Создание инфраструктуры по переработке и окончательной изоляции федерального ОЯТ и РАО	19,2%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Строительство и реконструкция объектов инфраструктуры по обращению с накопленным ОЯТ 2. Создание и развитие объектов инфраструктуры обращения с накопленными РАО
Развитие систем контроля и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	5,1%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совершенствование систем, необходимых для обеспечения и контроля ЯРБ объектов наследия 2. Медико-санитарное обеспечение радиационной безопасности сотрудников атомной промышленности
Научно-технологическое и методологическое обеспечение работ в области ЯРБ	2,4%	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка опытно-промышленных технологий обращения с ОЯТ, РАО и ВЭ 2. Развитие системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ, РАО и ядерных материалов 3. Мониторинг состояния ЯРБ и эффективности программных мероприятий

Заключение

По результатам исследования проведенного в ВКР можно заключить, что атомная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений предоставления электроэнергии в мире, однако существует ряд потенциальных опасностей использования:

- Тепловое и радиоактивное загрязнение окружающей среды.
- Трудности переработки ОЯТ.
- Локальное механическое воздействие на рельеф – при строительстве.
- Сток поверхностных и грунтовых вод, содержащих химические и радиоактивные компоненты.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ данных по развитию и безопасности ядерной отрасли в Российской Федерации, а также оценка потенциальной опасности атомных электростанций. При детальном рассмотрении 10 АЭС РФ, мы получили следующую картину. Атомная энергетика это шаг в будущее, который Россия делает уверенно и задавая темп, однако ни на минуту не стоит забывать об опасностях которые нас могут ожидать, если проявить халатность или нарушить технику безопасности.

Работа АЭС в штатном режиме сопровождается регулярными выбросами инертных радиоактивных газов и радиоактивных аэрозолей, которые в своем составе содержат как естественные, так и искусственные радионуклиды, среди которых присутствуют долгоживущие биологически значимые радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr ; Создаваемое выбрасываемыми техногенными радионуклидами дополнительное (к естественному) облучение является объектом нормирования малых доз радиации.

На сегодняшний не исключен риск возникновения чрезвычайной ситуации на АЭС, что подтверждается статистикой возникновения радиационных

аварий, свидетельствующих о потенциальном риске глобального радиационного заражения. Тем не менее, достигнутый на сегодняшний день уровень безопасности позволяет причислить АЭС к одним из самых безопасных объектов мировой энергетики. Также ведется постоянная работа по совершенствованию технологий утилизации РАО и ОЯТ.

Список литературы

1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / надежность технических систем и техногенный риск. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – с.38
2. Асмолов В.Г. Десятая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»: с. 6.
3. Асмолов В.Г. Ядерно-энергетический комплекс России: безопасность и эффективность [электронный ресурс]
4. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. – Москва–Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009 – с.12- 13
5. Винокуров Е.В. Атомно-энергетические комплексы России и Казахстана, перспективы развития и сотрудничества: отраслевой обзор, 2008 - с. 8-11.
6. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Радиационная и химическая безопасность населения / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005 – с. 15
7. Воропаев Н.П., Нестеренко А.Г., Луценко Ф.С. Методические подходы к оценке рисков чрезвычайных ситуаций: с. 2.
8. Ефремов С.Е. Опасные технологии производства: 2007 – с. 31
9. Информационный бюллетень №10-11 (16-17). Атомная энергетика. Радиоактивные отходы: 2010 – с. 1-2.
10. Кириенко С.В. Федеральная целевая программа « Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года»: 2015 – с.14-15
11. Ким Д., Геращенко Л.А. Радиационная экология: учебное пособие / Ким Д., Геращенко Л. А. Радиационная экология : учеб. пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010 – с.10

12. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России: И.И. Крышев, Е.П. Рязанцев. - М. : ИЗДАТ, 2000 – с. 24-386
13. Кузнецов В.М. Вывод из эксплуатации объектов атомной энергетики: 2003 – с.4
14. Палицкая Т.А. Охрана окружающей среды на российских АЭС-современное состояние и перспективы: VIII Региональный общественный форум-диалог «70 лет Российскому Атому. Национальный интерес, экология, безопасность», 2015 – с. 2.
15. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года: 2014 – с. 30-32
16. Федеральный закон от 11.07.2011 N 190-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступающими в силу с 16.07.2013): с.
17. Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки аварийных рисков: практикум. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. – с. 5-6
18. Четвертый национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами: 2014 – с. 19-20
19. Саркисова А.А. Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: 2015 – с. 54
20. Селютин С.В. Современные тенденции развития мировой атомной энергетики: 2014 – с.52-55
21. Язев В.А., Ермолович М.Н., Иванов В.Б., Михайлов С.П. Радиационная безопасность атомной энергетики и нефтегазодобычи. Современные тенденции государственного регулирования – М.: Издание Государственной Думы, 2012 – с. 90

Электронные ресурсы

22. Асмолов В.Г. Ядерно-энергетический комплекс России: безопасность и эффективность [электронный ресурс]
23. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Атомная энергетика. Спрашивали? Отвечаем [электронный ресурс]. – АНО «ИЦАО», 2012 / Акатов А. А., Коряковский Ю. С., 2012.
24. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Ядерная энергетика России: прошлое, настоящее, будущее: 2009 – с.4-10.
25. Текущее состояние мировой ядерной энергетики в цифрах и фактах: <http://www.pandia.ru/text/77/293/4091.php>
26. Меньшиков В.Ф. Россия с атомной энергетикой или без нее [электронный ресурс]: с. 3.
27. Энергетический бюллетень №6, 2013 – с. 10

Заведующему кафедрой
Физико-математической и географической
науки и информатики
(наименование кафедры)
Макеев Евгений Михайлович
(ФИО заведующего)

от студента гр. №9-Б-33-21 направление
подготовки (специальность) 05.03.06
Экономическая информатика
(ФИО студента)

ЗАЯВЛЕНИЕ-УВЕДОМЛЕНИЕ

Прошу Вас утвердить (или изменить) тему выпускной квалификационной работы
Оценка потенциальной опасности штормов
энергетики в РФ
и назначить научным руководителем Виткевичу Светлану Евгеньевну.

Я, ознакомлен(-а) с действующим положением «О выпускной квалификационной работе».

Уведомляю о согласии проведения проверки текста данной выпускной квалификационной работы в системе «Антиплагиат».

Даю согласие на размещение текста своей ВКР и приложений к ней в ЭБС ГидроМетеоОнлайн.

«14» марта 2017 года.



Виткевич С.Е.
(подпись / расшифровка)