

INSAG-12

Основные принципы  
безопасности атомных  
электростанций  
75-INSAG-3 Rev.1

INSAG-12

ДОКЛАД МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ  
ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

# INSAG



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
75-INSAG-3 Rev.1

INSAG-12

Доклад Международной консультативной группы по ядерной  
безопасности

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ИТАЛИЯ	ПЕРУ
АВСТРИЯ	ЙЕМЕН	ПОЛЬША
АЗЕРБАЙДЖАН	КАЗАХСТАН	ПОРТУГАЛИЯ
АЛБАНИЯ	КАМБОДЖА	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АЛЖИР	КАМЕРУН	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АНГОЛА	КАНАДА	РУАНДА
АРГЕНТИНА	КАТАР	РУМЫНИЯ
АРМЕНИЯ	КЕНИЯ	САЛЬВАДОР
АФГАНИСТАН	КИПР	САН-МАРИНО
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КИТАЙ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАНГЛАДЕШ	КОЛУМБИЯ	СВАЗИЛЕНД
БАХРЕЙН	КОНГО	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БЕЛАРУСЬ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БЕЛИЗ	КОСТА-РИКА	СЕНЕГАЛ
БЕЛЬГИЯ	КОТ-Д'ИВУАР	СЕРБИЯ
БЕНИН	КУБА	СИНГАПУР
БОЛГАРИЯ	КУВЕЙТ	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО	КЫРГЫЗСТАН	СЛОВАКИЯ
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛАТВИЯ	СЛОВЕНИЯ
БОТСВАНА	ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БРАЗИЛИЯ	ЛЕСОТО	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИБЕРИЯ	СУДАН
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВАН	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
БУРУНДИ	ЛИВИЯ	ТАДЖИКИСТАН
БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП. МАКЕДОНИЯ	ЛИТВА	ТАИЛАНД
ВЕНГРИЯ	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТОГО
ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ЛЮКСЕМБУРГ	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ВЬЕТНАМ	МАВРИКИЙ	ТУНИС
ГАБОН	МАВРИТАНИЯ	ТУРЦИЯ
ГАИТИ	МАДАГАСКАР	УГАНДА
ГАЙАНА	МАЛАВИ	УЗБЕКИСТАН
ГАНА	МАЛАЙЗИЯ	УКРАИНА
ГВАТЕМАЛА	МАЛИ	УРУГВАЙ
ГЕРМАНИЯ	МАЛЬТА	ФИДЖИ
ГОНДУРАС	МАРОККО	ФИЛИППИНЫ
ГРЕЦИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	ФИНЛЯНДИЯ
ГРУЗИЯ	МЕКСИКА	ФРАНЦИЯ
ДАНИЯ	МОЗАМБИК	ХОРВАТИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	МОНАКО	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДЖИБУТИ	МОНГОЛИЯ	ЧАД
ДОМИНИКА	МЬАНМА	ЧЕРНОГОРИЯ
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	НАМИБИЯ	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ	НЕПАЛ	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НИГЕР	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	НИГЕРИЯ	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	НИДЕРЛАНДЫ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	НИКАРАГУА	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЭРИТРЕЯ
ИОРДАНИЯ	НОРВЕГИЯ	ЭСТОНИЯ
ИРАК	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ЭФИОПИЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИРЛАНДИЯ	ОМАН	ЯМАЙКА
ИСЛАНДИЯ	ПАКИСТАН	ЯПОНИЯ
ИСПАНИЯ	ПАЛАУ	
	ПАНАМА	
	ПАРАГВАЙ	
	ПАПУА-НОВАЯ ГВИНЕЯ	

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение “более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире”.

INSAG-12

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
75-INSAG-3 Rev.1

INSAG-12

Доклад Международной консультативной группы по ядерной  
безопасности

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 2015

## УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены в соответствии с положениями Всемирной конвенции об авторском праве в том виде, как она была принята в 1952 году (Берн) и пересмотрена в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно является предметом соглашений о роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом отдельном случае. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта, Издательская секция  
Международное агентство по атомной энергии  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
факс: +43 1 2600 29302  
тел.: +43 1 2600 22417  
эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

© МАГАТЭ, 2015

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии  
Февраль 2015 года  
STI/PUB/1082

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

75-INSAG-3 Rev.1  
МАГАТЭ, ВЕНА, 2015 ГОД  
STI/PUB/1082  
ISBN 978-92-0-401315-3  
ISSN 1025-2193

Международная консультативная группа по ядерной безопасности (ИНСАГ) является консультативной группой при Генеральном директоре Международного агентства по атомной энергии, функции которой состоят в том, чтобы:

- 1) обеспечивать форум для обмена информацией по общим вопросам ядерной безопасности, имеющим международное значение;
- 2) определять важные текущие вопросы ядерной безопасности и делать выводы на основе результатов деятельности в области ядерной безопасности, проводимой в МАГАТЭ, и другой информации;
- 3) консультировать по вопросам ядерной безопасности, требующим обмена информацией и/или дополнительных исследований;
- 4) формулировать, когда это возможно, общеприемлемые концепции безопасности.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Деятельность Международного агентства по атомной энергии, касающаяся ядерной безопасности, основана на ряде предпосылок. Согласно первой и наиважнейшей из них, каждое из государств-членов несет полную ответственность за безопасность своих ядерных установок. Государства могут получать рекомендации, но не могут быть освобождены от этой ответственности. Во-вторых, многое можно извлечь из обмена опытом; извлеченные уроки могут предотвращать аварии. Наконец, образ ядерной энергетики имеет интернациональный характер; и серьезная авария, где бы она ни произошла, повсеместно оказывает воздействие на позицию общественности по отношению к ядерной энергетике.

С тем, чтобы сделать свой вклад в обеспечение безопасности АЭС более весомым, МАГАТЭ учредило Международную консультативную группу по ядерной безопасности (ИНСАГ), в обязанности которой входит служить форумом для обмена информацией по проблемам ядерной безопасности, имеющим международное значение, и формулировать там, где это возможно, разделяемые всеми концепции безопасности.

Настоящий доклад представляет собой новую редакцию выпущенного в 1989 году документа 75-INSAG-3, в котором были сформулированы цели и принципы безопасного проектирования и эксплуатации атомных станций, производящих электрическую энергию. Данная редакция подготовлена с целью приведения текста в соответствие с современными достижениями в сфере безопасности находящихся в эксплуатации АЭС, а также определения принципов, применимых к будущим станциям. В ней представлено осмысление группой ИНСАГ принципов, лежащих в основе наилучшей современной политики и практики безопасности в ядерной энергетике.

Доклад предназначен для использования государственными компетентными органами, применения в ядерной отрасли и поддерживающих организациях. Его целью является развитие безупречной практики безопасности АЭС на всех уровнях посредством лучшего понимания ее основ. Несмотря на то, что при подготовке настоящего доклада группа ИНСАГ вела консультации с многими экспертами из различных стран, МАГАТЭ не запрашивало каких-либо мнений государств-членов о проекте этого документа. Данный доклад не является документом, принятым Советом управляющих, и не представляет собой нормы безопасности МАГАТЭ, в которых устанавливаются согласованные на международном уровне требования или рекомендации.

Я признателен за получение этого доклада и рад предложить его вниманию более широкой аудитории.



# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	1
1. ВВЕДЕНИЕ .....	7
1.1. Структура доклада .....	8
2. ЦЕЛИ .....	10
2.1. Общая цель ядерной безопасности .....	10
2.2. Цель радиационной защиты .....	12
2.3. Техническая цель безопасности .....	13
3. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ .....	15
3.1. Ответственность управления .....	16
3.2. Стратегия глубокоэшелонированной защиты .....	21
3.3. Общие технические принципы .....	29
4. КОНКРЕТНЫЕ ПРИНЦИПЫ .....	49
4.1. Выбор площадки .....	50
4.2. Проектирование .....	53
4.3. Изготовление и сооружение .....	82
4.4. Ввод в эксплуатацию .....	84
4.5. Эксплуатация .....	87
4.6. Управление аварией .....	101
4.7. Снятие с эксплуатации .....	105
4.8. Аварийная готовность .....	106
ДОБАВЛЕНИЕ: ИЛЛЮСТРАЦИЯ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ .....	111
УКАЗАТЕЛЬ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРМИНОВ .....	117
ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	121

СПИСОК УЧАСТНИКОВ РАЗРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВЕРСИИ 75-INSAG-3 .....	122
ПУБЛИКАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	125

## ПРЕДИСЛОВИЕ

ИНСАГ настоящим предлагает самостоятельный документ по принципам безопасности для АЭС<sup>1</sup>. Этот доклад разработан по следующим причинам:

- с каждым годом совершенствуются средства, обеспечивающие безопасность АЭС, и считается, что разделяемые всеми принципы, обеспечивающие очень высокий уровень безопасности, могут быть сформулированы теперь для всех АЭС;
- международные последствия чернобыльской аварии в 1986 году подчеркнули необходимость общих принципов безопасности для всех стран и для всех типов атомных электростанций.

ИНСАГ подготовила данный доклад в соответствии со своими полномочиями «формулировать, где это возможно, разделяемые всеми концепции безопасности». Понимание и применение этих принципов безопасности должно повысить безопасность и принести пользу всем, особенно странам, которые используют или намерены использовать ядерные установки в качестве источника энергии.

Ни в одном виде деятельности безопасность не является абсолютной. Все стороны жизни тем или иным образом опасны. Настоящие принципы безопасности не дают гарантии того, что АЭС будут абсолютно свободны от риска, тем не менее, при адекватной реализации этих принципов станции должны стать весьма безопасными и оставаться при этом эффективными в удовлетворении потребностей общества в необходимых объемах полезной энергии.

Даже с учетом нескольких имевших место крупных аварий, с точки зрения безопасности атомные электростанции обладают высокими показателями по сравнению с другими жизнеспособными конкурирующими вариантами производства электроэнергии. Однако общественность испытывает большую озабоченность именно по поводу ядерной энергетики. Для того чтобы в предстоящие годы ядерная энергетика внесла существенный вклад в мировое энергопроизводство, необходимо уделить непосредственное внимание вопросу ее общественного признания. Ядерная отрасль верно реагирует на эту особую озабоченность, находя возможности

---

<sup>1</sup> Хотя настоящий доклад касается безопасности атомных станций, используемых для производства электроэнергии, большая часть приведенных в нем положений справедлива также и для атомных электростанций, используемых для других целей.

для дальнейшего снижения вероятности и потенциальных последствий аварий на атомных электростанциях в будущем.

Ядерно-энергетические технологии более сложны, чем другие существующие жизнеспособные средства производства электроэнергии, и менее известны большей части населения. Эта сложность, несмотря на то, что она является одним из факторов, вызывающих озабоченность населения, является отчасти результатом широких мер обеспечения безопасности на атомных станциях, которые не принимаются в более известных энергетических технологиях.

По мнению ИНСАГ тот факт, что ядерная энергетика представляет собой высокотехнологичную отрасль промышленности, можно использовать для обеспечения еще более высокого уровня безопасности, являющегося целью данных принципов. Высокий уровень технологии не несет в себе угрозу для безопасности, как часто полагают в таких случаях, – высокая технология является средством достижения безопасности. Цели и принципы, изложенные в данном докладе, направлены на универсальное и эффективное решение этой задачи в будущем. В той степени, в какой они могут быть реализованы на существующих станциях, применение этих принципов позволит также повысить их безопасность во всех случаях, когда такое повышение может оказаться желательным.

При принятии решения о предлагаемых дополнительных мерах по повышению безопасности на какой-либо атомной станции необходим упорядоченный подход. Все существенное, что предлагается для повышения безопасности, обосновывается вносящим такое предложение с точки зрения его безотлагательности, значимости для безопасности и стоимости реализации. Важно не сосредотачивать ресурсы на улучшениях, эффект от которых будет незначительным, и важно отдавать себе отчет в том, что повышение безопасности может оказывать воздействие также на экономические или другие – в том числе социальные – факторы. Особое внимание необходимо уделять тому, чтобы намечаемое повышение безопасности не привело к отрицательным последствиям, которые превзойдут его полезность.

Существует тесная взаимосвязь между безопасностью и надежной эксплуатацией атомной электростанции. Отказы оборудования или ошибки человека, которые могут явиться причиной аварии с последующим ущербом для населения, сродни тем, которые ведут к снижению коэффициентов использования мощности или обуславливают необходимость дорогостоящего ремонта. С другой стороны, меры, способствующие повышению безопасности станции, часто содействуют достижению высоких показателей ее эксплуатации. Ожидается, что принципы, изложенные в данном докладе, будут способствовать не только достижению

необходимой высокой степени безопасности, но и более эффективному и экономичному производству электроэнергии.

В прошлые годы имел место ряд случаев повреждения активной зоны реакторов АЭС. Их причины были очень специфичны для конкретных конструкций и, в особенности, для условий эксплуатации этих станций. В результате принятых впоследствии мер вероятность аварий с серьезным повреждением активной зоны снизилась, и безопасность станций, таким образом, повысилась. Этот вывод основан на результатах многих оценок безопасности, которые подтвердили полезность изменений, внесенных после этих аварий.

Цель достижения безопасности должна распространяться на любую деятельность, связанную с производством электроэнергии на АЭС. Все участники работ на всех этапах, начиная с выбора площадки и проектирования, строительства и заканчивая снятием с эксплуатации, эксплуатацией и техническим обслуживанием, модернизацией и внесением модификаций, подготовкой персонала, выводом из эксплуатации и связанных с ними видах деятельности, должны всесторонне учитывать соображения безопасности. Такой учет соображений безопасности является ключевым элементом «культуры безопасности», важность которой подчеркивается в данном докладе.

Настоящая редакция 75-INSAG-3 подготовлена с целью учета последних разработок и усовершенствований принципов ядерной безопасности атомных электростанций. В 1988 году, когда был выпущен документ 75-INSAG-3 (английское издание), суммарный накопленный во всем мире опыт эксплуатации составлял около 4600 реакторо-лет. К 1999 году он достиг уровня 8700 реакторо-лет. Этот возросший опыт, как проектирования, так и эксплуатации атомных электростанций, в сочетании со знанием, обретенным вследствие реализации широких научно-исследовательских и опытно-конструкторских программ, позволил добиться значительного прогресса в повышении безопасности и показателей работы большинства находящихся в эксплуатации станций, а также в безопасности будущих станций, сооружаемых в настоящее время. За тот же период времени в национальных организациях, эксплуатирующих АЭС, произошли значительные структурные изменения с целью повышения их эффективности. Эти изменения повлекли за собой смещение акцента на качество управления и работы руководителей, а также на необходимость рационального управления изменениями с одновременным обеспечением ясности в вопросах ответственности и подотчетности.

Базовый подход, принятый в 75-INSAG-3, остался неизменным. При этом настоящая редакция документа содержит улучшения, вытекающие прежде всего из:

- более полной трактовки культуры безопасности и глубокоэшелонированной защиты – двух важных основополагающих принципов, рассмотренных в 75-INSAG-3 и расширенных в последующих докладах 75-INSAG-4 и INSAG-10 (см. перечень публикаций ИНСАГ в конце настоящего доклада);
- большего объема использованного опыта эксплуатации атомных электростанций, выводов анализов безопасности и результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- использования на всех уровнях эксплуатирующей организации самооценок, включая экспертные рассмотрения, или самооценки в сочетании с независимыми экспертными рассмотрениями;
- использования вероятностных оценок безопасности (ВОБ), речь о чем идет в документе 75-INSAG-6, для оценки проектных изменений, принятия эксплуатационных решений, касающихся планирования и составления графика техобслуживания и ремонтов, разработки норм ядерной безопасности с использованием информации о риске. ВОБ во все большей степени включают анализы режимов остановки реактора, пуска, а также рисков при работе на малой мощности;
- дополнительного внедрения управления тяжелыми авариями с целью расширения возможностей предотвращения аварий и определения действий, которые должны быть предприняты в весьма маловероятном случае развития аварии за пределы активной зоны, ведущего к повреждению прочного корпуса реактора или даже повреждению защитной оболочки;
- введения дополнительных принципов, полагаемых достаточно важными для включения их в данную редакцию документа 75-INSAG-3 и затрагивающих: классификацию систем, конструкций и элементов, хранение свежего и отработавшего топлива, физическую защиту станции и снятие с эксплуатации.

В данной редакции документа ИНСАГ признает преимущества наилучших методов в эксплуатации и в действиях человека путем распространения по всей эксплуатирующей организации образа действий, способствующего поддержанию безопасности и надежности АЭС. Основное внимание обращается на закрепление образцов надлежащего поведения, относящихся к различным аспектам деятельности, связанной с управлением, эксплуатацией, техобслуживанием и ремонтом, проектными модификациями, а не только лишь на результаты и итоги работы. Другим аспектом, которому уделяется повышенное внимание, является факт старения станций, поскольку старение может вести к деградации станционных систем, конструкций и элементов, а также к неприменимости в дальнейшем анализов, зависящих от времени

(например, от цикла). Следует адекватно обращаться с эффектами старения с тем, чтобы сохранить безопасность станции. При этом в течение всего срока службы ядерной установки должно быть обеспечено наличие достаточно компетентного и опытного персонала.

Отдельные АЭС пока еще не удовлетворяют принципам безопасности 75-INSAG-3. ИНСАГ подготовила специальный доклад, озаглавленный «Общая основа для оценки безопасности атомных электростанций, сооруженных в соответствии с ранее принятыми нормами» (INSAG-8). В указанном докладе предлагается процедура оценки безопасности таких станций и внедрения, при необходимости, программы повышения безопасности, при этом признается, что если обнаружены недостатки критического характера, устранить или компенсировать которые невозможно, то станция должна быть остановлена. Для станций, дальнейшая эксплуатация которых является допустимой, использование ряда элементов программы внедрения наилучших эксплуатационных методов, предлагаемая в настоящей редакции документа, могло бы позволить добиться улучшения показателей эксплуатации. В частности, улучшения в таких областях, как культура безопасности, действия человека, самооценка, экспертные оценки и оценки, основанные на риске, могут дать прямую выгоду в плане безопасности при разумных дополнительных затратах.

Несмотря на то, что технологии ядерной энергетики достигли определенной зрелости для ряда реакторных систем, необходимо поощрять развитие и разработку таких концепций, которые могли бы стать важными в плане удовлетворения долгосрочных мировых потребностей в энергии. В настоящее время рассматриваются или находятся в стадии разработки несколько перспективных проектов реакторов (которые могли бы быть сооружены в значительных количествах в течение следующих 20 лет), и благодаря этому процессу был определен ряд дополнительных желательных характеристик и задач, которые изложены в настоящей редакции документа 75-INSAG-3. Сюда входят: упрощение проекта, эксплуатации, техобслуживания и ремонта, повышенное использование информационных и цифровых технологий. Тем не менее, среди будущих мер безопасности наивысшим приоритетом по-прежнему обладают дополнительные меры по предотвращению аварий и дальнейшему снижению вероятности и последствий радиоактивных выбросов за пределы площадки.

ИНСАГ надеется, что данная пересмотренная редакция 75-INSAG-3 будет использоваться во всем мире так же широко, как и первоначальная редакция документа, и что она будет служить в качестве референтной основы для безопасности АЭС и для достижения широкого международного

консенсуса по основным принципам безопасности существующих реакторов и концепциям будущих реакторов.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

1. Безопасность АЭС требует постоянного стремления к совершенству. Все лица, которых это касается, постоянно должны быть внимательны к возможности уменьшения риска до самого низкого практически достижимого уровня. Однако с наибольшей вероятностью такой поиск будет плодотворен, если он основан на понимании фундаментальных целей и принципов ядерной безопасности и взаимной связи различных аспектов данной проблемы. Настоящий доклад представляет собой попытку определения логических рамок для этого понимания. Предлагаемые цели и принципы ядерной безопасности являются взаимосвязанными и должны рассматриваться как единое целое; они не представляют собой меню, из которого можно выбирать.

2. В докладе учитываются современные проблемы и достижения. Он включает концепцию целей безопасности и использование вероятностной оценки безопасности. Рассматриваются целевые показатели надежности систем безопасности (ВОБ). Решающей является концепция «культуры безопасности». Уделяется внимание необходимости планирования управления аварией.

3. В целом рассматриваемые концепции не новы. Скорее, в докладе излагается наилучший современный подход. Большинство идей в различных сочетаниях применяется во многих ядерных энергетических программах во всем мире. Здесь они объединены, представлены в упорядоченном виде и снабжены пояснительным материалом.

4. Доклад содержит цели и принципы. Цели заявляют то, что должно быть достигнуто; принципы – как достичь этого. В каждом случае основной принцип формулируется в возможно более краткой форме. В сопроводительном материале указываются причины формулирования принципа и их важность, а также исключения, сфера действия, и даются необходимые разъяснения. Эти пояснения столь же важны, что и принципы, которые они поясняют.

5. В принципах не проводится различие между новыми и существующими станциями. Однако различия в их реализации обязательно будут существовать. В любые времена мировой парк реакторов будет включать установки, различные по происхождению, возрасту и конструкции. Проектировщики, изготовители, строители, регулирующие

и эксплуатирующие организации должны сами решать, как применять изложенные в настоящем докладе принципы в каждом отдельном случае.

6. Принципы не представляют собой какого-либо комплекса регулирующих требований. ИНСАГ считает, однако, что в будущей национальной и международной практике найдут свое отражение цели и принципы, изложенные в данном докладе.

7. Тем не менее на некоторых будущих типах АЭС на основе особых внутренне присущих средств безопасности может быть достигнуто то, что является целью некоторых принципов, формулируемых в данном документе, и в этом случае формулировки данного документа окажутся не вполне применимы. В таких случаях будет необходимо более тщательно проанализировать рамки применения основ апробированной технологии.

## 1.1. СТРУКТУРА ДОКЛАДА<sup>2</sup>

8. Структура доклада основывается на трех главных целях безопасности и комплексе принципов, включающих шесть основополагающих принципов безопасности (три из них связаны с управлением безопасностью, три – с глубокоэшелонированной защитой) и девять технических принципов, которые определяют общие рамки ряда конкретных принципов безопасности. Рис. 1 иллюстрирует такое упорядоченное представление целей и принципов безопасности.

9. Цели и принципы безопасности, представленные на рис. 1, излагаются далее в документе. В разделе 2 излагаются и объясняются цели безопасности. За ними следует изложение основополагающих принципов в разделе 3. Конкретные принципы безопасности перечислены и обсуждаются в разделе 4.

---

<sup>2</sup> Были приложены особые усилия к тому, чтобы в данной пересмотренной версии сохранить первоначальную структуру и текст. Материал 75-INSAG-3 воспроизводится в настоящей версии с минимальными уточнениями и изменениями. Обновление информации осуществляется большей частью в самостоятельных пунктах. Такой подход обладает тем преимуществом, что исходный формат и содержание 75-INSAG-3 не претерпевают изменений. Кроме того, Агентство по запросу будет предоставлять первоначальный вариант 75-INSAG-3.

Цели	Общая цель ядерной безопасности	Цель радиационной защиты	Техническая цель безопасности				
Основопологающие принципы управления безопасностью	Культура безопасности	Ответственность эксплуатирующей организации	Регулирующий контроль и проверка				
Основопологающие принципы глубокошелюнированной защиты	Глубокошелюнированная защита	Предотвращение аварий	Снятие последствий аварий				
Общие технические принципы	Апробированная инженерно-техническая практика (3.3.1)	Обеспечение качества (3.3.2)	Человеческий фактор (3.3.5)	Оценка и проверка безопасности (3.3.6)	Радиационная защита (3.3.7)	Опыт эксплуатации и исследования в области безопасности (3.3.8)	Наилучшие эксплуатационные методы (3.3.9)
		Самостоятельная Экспертные рассмотрения (3.3.4)					
Конкретные принципы	Выбор площадки	Проектирование	Ввод в эксплуатацию	Эксплуатация	Управление аварией	Снятие с эксплуатации	Аварийная готовность

Рис. 1. Разработанные ИИСАГ цели и принципы безопасности атомных электростанций. Указанные номера соответствуют подразделам раздела 3.3.

10. Вопросы окончательного удаления радиоактивных отходов и физической защиты ядерных материалов не включены в принципы, поскольку, хотя и являются важными для безопасности, не имеют прямого отношения к теме данного документа.

11. *Наконец, важно отметить, что во всем исходном докладе 75-INSAG-3 принципы и сопровождающее их пояснительные материалы излагаются не в виде требований, а исходя из предположения, что такая практика уже используется в настоящее время. Смысл такого изложения заключается в том, что принципы и их пояснения описывают положение, которое существует в условиях хорошего управления, т.е. практики, распространению которой должен способствовать данный документ. Эта структура изменена в отдельных частях настоящего доклада, содержащих изложение того, как данные принципы могут или могли бы применяться к будущим улучшениям.*

## 2. ЦЕЛИ

12. Определяются три цели безопасности АЭС. Первая цель является очень общей по своему характеру. Две другие являются дополнительными целями, интерпретирующими эту общую цель; они связаны соответственно с радиационной защитой и инженерно-техническими аспектами безопасности. Цели безопасности не являются независимыми; их перекрытие обеспечивает полноту охвата и расставляет необходимые акценты.

### 2.1. ОБЩАЯ ЦЕЛЬ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

13. *Цель: защитить отдельных лиц, общество и окружающую среду путем создания и поддержания на АЭС эффективных мер защиты от радиологической опасности*

14. Каждый жизнеспособный способ производства электроэнергии характеризуется своими преимуществами и возможным отрицательным воздействием. В сформулированной общей цели ядерной безопасности радиологическая опасность означает отрицательное воздействие облучения на здоровье людей – как персонала станции, так и населения – и

радиоактивное загрязнение земли, воздуха, воды и пищевых продуктов. Она не включает какие-либо более традиционные виды опасности, которые присущи любой промышленной деятельности. Как предусмотрено данной целью, система защиты является эффективной, если она предотвращает значительное повышение либо риска для здоровья, либо риска другого ущерба, которому подвергаются отдельные лица, общество и окружающая среда вследствие промышленной деятельности, уже считающейся приемлемой. В этом применении риск, соотносимый с аварией или событием, определяется как произведение вероятности аварии или какого-либо события на величину вредоносного воздействия их последствий. Далее, рассматривая полный набор потенциальных событий и суммируя произведения соответствующих вероятностей и последствий, можно определить общий риск. На практике, ввиду больших величин погрешностей, относящихся к различным вероятностям и последствиям, в целом удобнее и полезнее, как следует из пояснений в документе INSAG-9, разукрупнить вероятности и последствия возможных событий. Упомянутые риски для здоровья должны рассчитываться без учета уравнивающих их и являющихся существенными преимуществ, которые дает ядерная и промышленная деятельность как в области здравоохранения, так и в других областях, важных для современной цивилизации. При достижении этой цели уровень риска от АЭС не будет превышать риска от конкурирующих энергоисточников, и обычно должен быть ниже его. Таким образом, если обычные средства производства электроэнергии замещаются атомными электростанциями, то суммарный риск в целом снизится. Сравнение рисков от атомных станций и прочих промышленных рисков, которым подвергаются люди и окружающая среда, делает необходимым использование вычислительных моделей в анализе рисков. Для полного использования этих методов, а также для поддержки достижения общей цели ядерной безопасности, важно, чтобы были сформулированы количественные целевые показатели – «цели безопасности».

15. Признается, что интересы общества, требующие защиты от вредных последствий излучения, связаны не только с радиологической безопасностью людей и предотвращением загрязнения окружающей среды. Большое социальное значение имеет защита ресурсов, инвестированных в станцию, и для этого необходимо учитывать все вопросы безопасности, которые рассматриваются в данном докладе. Тем не менее, основной акцент в данном докладе сделан на безопасности людей. Весь последующий материал изложен исключительно с этих позиций, однако это не должно означать, что ИНСАГ игнорирует прочие факторы.

## 2.2. ЦЕЛЬ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

16. *Цель: обеспечить, чтобы дозы облучения на станции при нормальной эксплуатации и в результате любого выброса радиоактивных материалов со станции находились на разумно достижимом низком уровне с учетом экономических и социальных факторов и ниже установленных пределов, а также обеспечить сокращения масштабов облучения в результате аварии.*

17. Радиационная защита обеспечивается на АЭС для нормальных условий, и отдельно предусматриваются меры на случай аварийных условий. При нормальной эксплуатации и ожидаемых нарушениях нормальной эксплуатации соответствующая радиационная защита обеспечивается выполнением норм радиационной защиты<sup>3</sup> на основе рекомендаций Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

18. Указанные выше нормы радиационной защиты были разработаны в целях предотвращения вредных последствий воздействия излучения путем поддержания доз на таком низком уровне, при котором не возникают детерминированные эффекты, а вероятность стохастических эффектов ограничивается уровнями, которые считаются приемлемыми. Такой подход применяется для контролируемых условий. На случай любой аварии, в результате которой контроль над источником облучения может быть частично утрачен, на станции планируются меры безопасности, а вне площадки готовятся контрмеры с целью ограничения ущерба отдельным лицам, населению и окружающей среде.

---

<sup>3</sup> Например, АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 115, Вена (1997 год).

### 2.3. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ

19. *Цель: предотвратить с высокой достоверностью аварии на атомных станциях; обеспечить, чтобы для всех аварий, учитываемых в проекте станции, даже для тех, вероятность которых крайне мала, радиологические последствия, если они имеются, были бы несущественными, и обеспечить, чтобы вероятность больших радиологических последствий тяжелых аварий была чрезвычайно мала.*

20. Предотвращение аварий является первоочередной задачей безопасности как для проектировщиков, так и для операторов. Эта задача решается путем использования на АЭС надежных конструкций, элементов, систем и процедур, а ее эксплуатация осуществляется персоналом, глубоко приверженным культуре безопасности (см. разделы 3.2.1, 3.2.2 и последующие разделы).

21. Однако ни в одном виде деятельности человека нельзя гарантировать полного успеха в предотвращении аварий. Поэтому проектировщики АЭС предполагают, что возможны отказы элементов, систем и ошибки человека, и что они могут вести к аномальным событиям, начиная с незначительных нарушений и заканчивая крайне маловероятными путями развития аварии. Дополнительная защита достигается путем использования на атомных электростанциях многочисленных инженерно-технических средств безопасности. Они предназначены для прекращения развития целого ряда аварий, учитываемых в проекте, и, в случае необходимости, ослабления их последствий. Проектные параметры каждого инженерно-технического средства безопасности определяются детерминистическим анализом его способности противодействовать тем авариям, для которых оно предусмотрено. Аварии в рамках всего спектра, требующие максимальных проектных характеристик средств безопасности, называются проектными авариями для соответствующих средств безопасности. Для существующих станций проектные аварии в целом ассоциируются с единичными исходными событиями, оцениваются исходя из консервативных предположений, включающих усугубляющие отказы, и обычно не подразумевают серьезных повреждений активной зоны.

22. Также уделяется внимание весьма маловероятным авариям, которые могут быть вызваны множественными отказами, либо которые могут привести к условиям, более тяжелым, чем явным образом учтенные в проекте (т.н. «запроектным авариям»). Некоторые из этих тяжелых аварий

могут привести к такому ухудшению условий на станции, что станет невозможным поддержание надлежащего охлаждения активной зоны, либо повреждение топлива произойдет по другим причинам. Такие аварии потенциально могут привести к большим радиологическим последствиям, если не будет обеспечена необходимая локализация высвободившихся радиоактивных материалов. В результате осуществления политики предотвращения аварий вероятность их мала.

23. Поскольку подобные аварии все же могут произойти, предусмотрены другие меры по управлению их развитием и смягчению их последствий (управление аварией). Эти дополнительные меры определяются на основе опыта эксплуатации, анализа безопасности и результатов исследований в области безопасности. При проектировании, выборе площадки, в процедурах и при подготовке персонала внимание уделяется удержанию под контролем развития и последствий аварий. Для ограничения последствий аварий необходимы меры, обеспечивающие безопасный останов реактора, непрерывное охлаждение активной зоны, целостность конструкций, адекватную целостность системы локализации и аварийную готовность за пределами площадки. Таким образом, тяжелые аварии с масштабными последствиями крайне маловероятны, поскольку они эффективно предотвращаются или ослабляются глубокоэшелонированной защитой.

24. Несмотря на достигнутый высокий уровень безопасности, возрастающее осмысление тяжелых запроектных аварий привело к внедрению на отдельных находящихся в эксплуатации АЭС дополнительных проектных средств, а также к расширению руководств и/или процедур на случай весьма маловероятных тяжелых запроектных аварий.

25. Что касается будущих АЭС, то учет разнообразных отказов и тяжелых аварий будет обеспечиваться более системным и всеобъемлющим образом, начиная с этапа проектирования. Такой анализ будет включать совершенствование предотвращения аварий (а именно, снижение общих отказов, упрощение, расширение возможностей для проведения инспекций и обслуживания, повышенное использование пассивных средств, оптимизация человеко-машинного интерфейса, широкое использование информационных технологий), а также дальнейшее уменьшение вероятности и последствий радиоактивных выбросов за пределы площадки.

26. В технологии безопасности атомной энергетики общий риск определяется (как об этом говорилось в разделе 2.1) при рассмотрении полного набора потенциальных событий и соответствующих им вероятностей

и последствий. Техническая цель безопасности заключается в применении мер предотвращения, управления и смягчения последствий аварий таким образом, чтобы суммарный риск был очень малым, и чтобы ни один из путей развития аварии, независимо от того, мала или велика его вероятность, не вносил бы непропорционально большой вклад в риск по сравнению с другими возможными путями развития аварии.

27. Целевым показателем для существующих АЭС, согласующимся с технической целью безопасности, является частота серьезного повреждения активной зоны ниже примерно  $10^{-4}$  на год эксплуатации станции. Меры по управлению тяжелыми авариями и смягчению их последствий могут снизить вероятность больших выбросов за пределы площадки, для которых необходимы краткосрочные меры реагирования за пределами площадки, по меньшей мере в 10 раз. Реализация основных принципов безопасности и задач, перечисленных в пункте 25, на будущих станциях должна привести к достижению улучшенного целевого показателя, не превышающего  $10^{-5}$  таких событий на год эксплуатации станции. Еще одной задачей для этих будущих АЭС станет практическое исключение тех путей развития аварии, которые могли бы привести к большим ранним выбросам радиоактивности, в то время как тяжелые аварии, подразумевающие поздний отказ защитной оболочки, были бы учтены при проектировании на основе реалистичных предположений и анализа, использующего наилучшую оценку, с тем чтобы последствия таких аварий требовали применения только защитных мер, ограниченных по времени и территории их применения.

### **3. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ**

28. Применение ряда концепций является общим, и они оказывают важное и многостороннее воздействие на характер и применение излагаемых ниже конкретных принципов безопасности. Эти важные концепции названы здесь основополагающими принципами безопасности, и их определения приведены в разделе 3. Существует три типа таких принципов: принципы управления, принципы глубокоэшелонированной защиты и технические принципы.

### 3.1. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ

29. Определяются три основополагающих принципа управления. Они связаны с созданием культуры безопасности, ответственности эксплуатирующей организации и обеспечением регулирующего контроля и проверки деятельности, связанной с безопасностью.

#### 3.1.1. Культура безопасности

30. *Принцип: все лица и организации, причастные к ядерной энергетике, руководствуются в своих действиях и взаимоотношениях установленной культурой безопасности.*

31. Выражение «культура безопасности» относится к весьма общему понятию приверженности и личной ответственности всех лиц, занимающихся любой деятельностью, которая влияет на безопасность АЭС. Исходное условие для необходимого полного внимания к вопросам безопасности относится к сфере деятельности высшего руководства всех участвующих организаций. Устанавливается и реализуется политика, обеспечивающая осуществление правильной практики, важная не только этим, но и созданием атмосферы осознанного отношения к безопасности, которую она обеспечивает. Устанавливаются четкие границы ответственности, линии взаимодействия и полномочия, подкрепленные соответствующими ресурсами; разрабатываются обоснованные процедуры; обеспечивается строгое выполнение этих процедур; проводится внутренний анализ деятельности, связанной с безопасностью; при подготовке и обучении персонала прежде всего подчеркиваются причины установления принятой практики обеспечения безопасности, а также последствия для безопасности, к которым ведут недостатки в выполнении персональных обязанностей. Меры по управлению безопасностью изложены в документе INSAG-13 «Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants» («Управление эксплуатационной безопасностью на атомных электростанциях»).

32. Эти вопросы особенно важны для эксплуатирующих организаций и персонала, непосредственно занимающегося эксплуатацией станций. При подготовке персонала всех уровней подчеркивается значение индивидуальных обязанностей с точки зрения понимания и знания станции и находящегося в его ведении оборудования; особое внимание уделяется причинам установления пределов безопасности и последствиям для безопасности их нарушений. Необходимо формировать атмосферу открытости, обеспечивающую свободную передачу персоналом

информации, относящейся к безопасности станции; в особенности следует поощрять признание ошибок в работе, если они совершены. Таким способом достигается всеобщая ментальная настроенность на безопасность, которая предполагает изучение опыта, наличие критической позиции, исключает самоуспокоенность, порождает стремление к совершенству и предусматривает развитие чувства персональной ответственности и корпоративного саморегулирования в вопросах безопасности.

33. Концепция культуры безопасности детально изложена в докладе 75-INSAG-4, где предлагаются три уровня требований:

#### *Требования на уровне политики*

В любой важной деятельности образ действий людей обусловлен комплексом требований, установленных на более высоком уровне. Высшим уровнем воздействия на безопасность атомных электростанций является уровень законодательства, на котором устанавливается национальный базис культуры безопасности. Аналогичным образом, организация, осуществляющая деятельность, которая оказывает воздействие на безопасность атомной электростанции, в своем заявлении о политике в области безопасности ясно и понятно излагает свои обязательства. Такое заявление содержит требование к руководителям и персоналу, в нем провозглашаются цели организации и публичное обязательство корпоративного руководства в отношении поддержания безопасности АЭС.

#### *Требования к руководителям*

Позиция отдельных лиц находится под сильным влиянием рабочей атмосферы. Установлено, что практика формирования рабочей атмосферы и воспитания отношения, благоприятствующего безопасности, является ключевым моментом развития эффективной культуры безопасности у отдельных лиц. Установление подобной практики в соответствии с целями и политикой организации в области безопасности является обязанностью руководителей.

#### *Реакция отдельных лиц*

Ответное движение всех тех, кто стремится к совершенству в вопросах, касающихся ядерной безопасности, характеризуется сочетанием *критической позиции, строго регламентированного и взвешенного подхода и*

*коммуникативности*. Желаемые результаты могут быть достигнуты только в том случае, если на позиции отдельных лиц на всех уровнях оказывает влияние установленная руководством система культуры безопасности.

34. Хорошая культура безопасности обладает следующими характеристиками:

- В любых спорных моментах относительно приоритета безопасность и качество имеет преимущество над графиком и затратами.
- Совершенные ошибки и события, близкие к аварийным ситуациям, рассматриваются не только как источники озабоченности, но и как источники опыта, из которого можно извлечь пользу. Индивидуальные работники побуждаются выявлять, сообщать и устранять слабые места в своей собственной работе, с тем чтобы помочь и себе, и другим избежать проблем в будущем.
- Деятельность или изменения на станции осуществляются в соответствии с процедурами. При возникновении любых сомнений в отношении процедур процесс прекращается посредством возврата станции в безопасное и стабильное состояние. Прежде, чем процесс будет продолжен, процедуры анализируются, и при необходимости в них вносятся изменения.
- При обнаружении проблем основное внимание обращается на понимание их коренных причин и поиски наилучшего решения, без отвлечения сил на выявление тех, кто обнаружил либо своими действиями способствовал возникновению проблемы; задача состоит в том, чтобы найти то, что правильно, а не того, кто прав.
- Цель персонала, осуществляющего надзор и руководство, состоит в том, чтобы любая задача сразу была выполнена правильно. Ожидается, что эти лица берут на себя всю ответственность за успешное выполнение каждой отдельной работы и настаивают на возложении на них такой ответственности, и в той мере, в какой это необходимо для достижения успеха, принимают участие в ее выполнении.
- Практика и политика предполагают доверительное отношение и поддержку групповой работы на всех уровнях, а также усиливает позитивное отношение к безопасности.
- Приветствуется получение от персонала станции и от подрядчиков откликов, способствующих выявлению проблем, помех и возможностей для усовершенствований. Руководство поощряет такое индивидуальное поведение, которое дает работникам возможность быстрой и полной идентификации проблем.

- Организация берет на себя обязательство по непрерывному повышению безопасности и эффективному управлению изменениями.
- Старшие руководители препятствуют изоляционизму и способствуют формированию обучающейся организации.
- Каждый из сотрудников и руководителей различных уровней во всех случаях проявляет личную принципиальность на протяжении всего срока службы АЭС.
- Каждое изменение станции, каждое совещание и любая оценка безопасности используются как возможность для обучения, изучения и подкрепления вышеупомянутых характеристик и принципов.

Недопустима дискредитация или ослабление этих характеристик и принципов.

### **3.1.2. Ответственность эксплуатирующей организации**

35. *Принцип: окончательная ответственность за безопасность атомной электростанции лежит на эксплуатирующей организации. Она никоим образом не уменьшается в связи с самостоятельной деятельностью и ответственностью проектировщиков, поставщиков, подрядчиков, строителей и регулирующих организаций.*

36. Как только эксплуатирующая организация вступает во владение станцией, она принимает на себя все сопряженные с этим обязательства и, обладая соответствующими полномочиями, несет полную ответственность за санкционированную деятельность по производству электроэнергии. Поскольку эта деятельность влияет также на безопасность станции, эксплуатирующая организация устанавливает политику соблюдения требований безопасности, процедуры безопасного управления станцией при всех условиях, включая техническое обслуживание и эксплуатационный контроль, и нанимает компетентный, квалифицированный и полностью обученный персонал. Эксплуатирующая организация обеспечивает четкое определение и документальное оформление ответственности, а также наличие ресурсов и средств для выполнения персоналом своих функций.

37. Эксплуатирующая организация несет также ответственность в определенных областях, в которых она не осуществляет в полной мере непосредственный контроль, таких как, например, деятельность подрядчиков. Используя собственный персонал и ресурсы или через организации, действующие от ее имени, эксплуатирующая организация проводит тщательное рассмотрение, аудиты и, в случае необходимости,

задействует процессы согласования, которые требуются для того, чтобы всем факторам, определяющим безопасность станции, уделялось необходимое внимание. Это применяется, например, при изысканиях площадки, проектировании, изготовлении, строительстве, испытаниях и вводе в эксплуатацию.

38. Этот принцип преобладающей ответственности эксплуатирующей организации за безопасность является основным. Ответственность других сторон также важна как в области безопасности, так и в финансовой и юридической областях. В силу различий в национальной практике трудно определить формальную ответственность других сторон, но ясно, что проектировщики, производители оборудования и строители должны как минимум обеспечить обоснованный проект и оборудование, удовлетворяющее спецификационным требованиям как с точки зрения инженерно-технических особенностей, так и требуемых функциональных характеристик, гарантировать выполнение и превышение стандартов качества в соответствии со значением элементов или систем для безопасности. Технические общества и научное сообщество в общем случае несут ответственность за высокий уровень профессиональных качеств работников и за поддержание и усиление основ, на которых держится безопасность АЭС. Ответственность регулирующих организаций рассматривается в разделе 3.1.3.

### **3.1.3. Регулирующий контроль и независимая проверка**

39. *Принцип: правительство создает правовую основу для ядерной отрасли и учреждает независимую регулирующую организацию, на которую возлагается ответственность за лицензирование и регулирующий контроль АЭС и за проведение в жизнь соответствующих правил. Обеспечивается четкое разделение ответственности регулирующей организации и других участвующих организаций с тем, чтобы эта организация сохраняла свою независимость в качестве компетентного органа, ведающего вопросами безопасности, и была ограждена от неоправданного давления.*

40. Законодательно созданный регулирующий орган обеспечивает государственное лицензирование, регулирование и надзор за эксплуатацией АЭС в отношении ее безопасности. Деятельность регулирующего органа охватывает следующие функциональные области:

— определять и разрабатывать нормы и правила безопасности;

- выдавать лицензии эксплуатирующим организациям на основе соответствующих оценок безопасности, финансовой жизнеспособности заявителя и его организационных и управленческих возможностей;
- инспектировать, контролировать и анализировать характеристики безопасности атомных станций и эксплуатирующих организаций;
- требовать от эксплуатирующей организации осуществления – когда это необходимо – корректирующих мероприятий и принимать необходимые меры принудительного характера, если приемлемые уровни безопасности не достигнуты, включая отзыв лицензии;
- поддерживать исследования в области безопасности, чему посвящен раздел 3.3.8;
- распространять информацию о безопасности (также рассматривается в разделе 3.3.8).

41. Регулирующий орган действует независимо от проектировщиков, строителей и оператора в той степени, в какой это необходимо для того, чтобы обеспечение безопасности было единственной задачей персонала этого органа. Регулирующий орган обладает ресурсами, достаточными для осуществления своих функций без негативного влияния на график строительства или планы производства энергии, за исключением случаев, когда вмешательство необходимо для обеспечения соответствующих гарантий безопасности. Регулирующий орган обладает экспертным опытом в достаточно широком диапазоне ядерных технологий.

42. Регулирующий орган не предпринимает попыток снятия с эксплуатирующей организации основной ответственности за безопасную эксплуатацию, признавая, что подобная акция несет в себе потенциал снижения уровней безопасности.

43. Для эффективного выполнения своих функций регулирующий орган обладает всеми необходимыми правовыми полномочиями, имеет свободный доступ к установкам и к соответствующей информации, находящейся в распоряжении эксплуатирующей организации.

## 3.2. СТРАТЕГИЯ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

44. Среди основополагающих принципов особенно выделяется принцип «глубокоэшелонированной защиты», поскольку он лежит в основе всей технологии безопасности атомной энергетики. Вся деятельность в сфере безопасности, связана ли она с организацией, поведением людей или с

оборудованием, осуществляется на основе дублирующих мер, с тем чтобы в случае отказа можно было принять компенсирующие или корректирующие действия и предотвратить ущерб для отдельных лиц или населения в целом. Эта идея множественных уровней защиты является главной особенностью принципа глубокоэшелонированной защиты, и она часто используется в связи с приведенными конкретными принципами безопасности.

45. Определяются два производных принципа, непосредственно вытекающие из концепции глубокоэшелонированной защиты, а именно: предотвращение аварий и смягчение последствий аварий. Эти производные принципы следуют за общим определением глубокоэшелонированной защиты.

### **3.2.1. Глубокоэшелонированная защита**

46. *Принцип: для компенсации потенциальных ошибок человека или механических отказов реализуется концепция глубокоэшелонированной защиты, опирающаяся на несколько уровней защиты и включающая последовательность барьеров на пути выхода радиоактивных материалов в окружающую среду. Эта концепция включает защиту барьеров посредством предотвращения повреждения станции и повреждения самих барьеров. Она включает дальнейшие меры защиты населения и окружающей среды от ущерба, если барьеры окажутся не вполне эффективными.*

47. Концепция глубокоэшелонированной защиты предусматривает общую стратегию, относящуюся к мерам и средствам безопасности на АЭС. При правильном применении она гарантирует, что ни одна единичная ошибка человека либо механический отказ не будут иметь своим следствием ущерб для населения, и даже комбинации отказов, являющиеся крайне маловероятными, не приведут вовсе или приведут к малому ущербу. Глубокоэшелонированная защита помогает обеспечить осуществление трех основных функций безопасности (управление мощностью, охлаждение топлива и удержание радиоактивных материалов) и предотвратить попадание радиоактивных материалов к человеку или в окружающую среду.

48. Принцип глубокоэшелонированной защиты реализуется, в первую очередь, путем создания серии барьеров, которые должны принципиально никогда не находиться под угрозой, и которые, в свою очередь, должны быть нарушены прежде, чем может быть нанесен ущерб человеку и окружающей среде. Это физические барьеры, обеспечивающие возможность последовательной локализации радиоактивных материалов. Эти барьеры могут

служить целям эксплуатации и безопасности, или только целям безопасности. Работа на мощности разрешается в том случае, если этой многобарьерной системе ничто не угрожает, и если она способна функционировать согласно проекту.

49. Стратегия глубокоэшелонированной защиты имеет две стороны: первая, предотвращение аварий, вторая, если предотвратить аварию не удастся, ограничение потенциальных последствий аварий и предотвращение их развития в более серьезное состояние. Глубокоэшелонированная защита, как правило, подразделяется на пять уровней. Цели каждого уровня защиты и важнейшие средства их достижения на существующих станциях приведены в таблице I, заимствованной из INSAG-10. В случае отказа одного уровня защиты в дело вступает следующий уровень, и так далее. Особое внимание уделяется угрозам, которые потенциально могут нанести повреждения нескольким уровням, таким, как пожары, затопления или землетрясения. Принимаются меры предосторожности в целях предотвращения таких угроз при любых обстоятельствах, а станция и ее системы безопасности проектируются так, чтобы их выдерживать.

ТАБЛИЦА I. УРОВНИ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНЦИЯХ

Уровни	Цель	Основные средства
Уровень 1	Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов	Консервативный проект и высокое качество строительства и эксплуатации
Уровень 2	Контроль за нарушениями нормальной эксплуатации и обнаружение отказов	Системы контроля, локализации и защиты и другие средства надзора
Уровень 3	Контроль аварий в пределах проектных основ	Инженерно-технические средства безопасности и аварийные процедуры
Уровень 4	Контроль тяжелых состояний станции, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелых аварий	Дополнительные меры и управление аварией
Уровень 5	Смягчение радиологических последствий значительных выбросов радиоактивных материалов	Аварийное реагирование за пределами площадки

50. Надежность физических барьеров повышается в результате применения концепции глубокоэшелонированной защиты к ним самим, защищая каждый из них с помощью серии мер. Каждый физический барьер проектируется консервативно, его качество проверяется с целью обеспечения поддержания запасов надежности, контролируется его состояние, контролируются и проверяются все процессы, которые могут повлиять на него при эксплуатации. Действуют аспекты глубокоэшелонированной защиты, связанные с деятельностью человека и направленные на защиту целостности этих барьеров, такие как обеспечение качества, административный контроль, анализы безопасности, независимое нормативное регулирование, эксплуатационные пределы, аттестация и подготовка персонала и культура безопасности. Проектные решения, как по обычным системам станции, так и по инженерно-техническим системам безопасности, способствуют предотвращению возникновения неоправданных проблем, грозящих целостности физических барьеров, предотвращению нарушения какого-либо барьера, если угроза для него возникла, и предотвращению последующего нарушения целого ряда барьеров. Проектировщики систем безопасности должны обеспечить, чтобы различные системы безопасности, защищающие физические барьеры, были, насколько это практически целесообразно, при аварийных условиях функционально независимы.

51. Все уровни глубокоэшелонированной защиты при нормальной работе станции на мощности всегда должны быть работоспособны. В других условиях также имеются соответствующие уровни защиты. При отсутствии одного из уровней глубокоэшелонированной защиты наличие других компонентов не может являться основанием для продолжения эксплуатации. Тяжелые аварии в прошлом были результатом множественных отказов (как ошибок человека, так и отказов оборудования) из-за недостатков в нескольких элементах эшелонированной защиты, чего допускать было нельзя.

52. Конструкция систем в соответствии с принципом глубокоэшелонированной защиты включает управление, использующее обратную связь, которая обеспечивает устойчивость к любым таким отказам, которые в противном случае могли бы привести к перерастанию ошибок или аномальных условий в аварии. Это управление защищает физические барьеры путем поддержания рабочих параметров станции в четко определенном диапазоне, в котором эти барьеры не подвергаются угрозе. Предусмотренные проектные особенности предотвращают пороговые эффекты, которые могли бы привести к тому, что небольшие отклонения быстро перерастут в аномальное состояние станции и вызовут повреждения.

53. Квалифицированная инженерная разработка барьеров и мер их защиты в сочетании с обратной связью для поддержания эксплуатационных параметров в оптимальных диапазонах обеспечивает бесперебойное, стабильное производство электроэнергии в соответствии с существующим спросом. Это указывает на наиболее важный признак успешного функционирования глубокоэшелонированной защиты, т.е. эксплуатация с необходимостью минимального обращения к системам безопасности (либо при полном отсутствии такой необходимости).

54. Такая многобарьерная система защищает человека и окружающую среду в широком диапазоне аномальных условий. В качестве дальнейшего элемента глубокоэшелонированной защиты предусматриваются заблаговременно запланированные контрмеры, направленные на исключение возможности выброса радиоактивных материалов за пределы станции.

55. В дополнении рассматриваются средства, с помощью которых отдельные элементы глубокоэшелонированной защиты защищают и дополняют друг друга. Предметом следующих двух производных принципов в рамках концепции глубокоэшелонированной защиты являются значение предотвращения аварий и смягчение их последствий.

### **3.2.2. Предотвращение аварий**

56. *Принцип: первостепенное внимание уделяется исходному методу достижения безопасности, каковым является предотвращение аварий, особенно тех, которые могут привести к серьезному повреждению активной зоны.*

57. Первоочередной целью работ по проектированию, строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию АЭС является надежное и экономичное производство электроэнергии. В соответствии с общим управленческим принципом безопасности – культурой безопасности – при принятии решений во всех этих областях следует иметь в виду их влияние на безопасность. В последующем изложении концентрируется внимание на этих аспектах безопасности.

58. Первое средство предотвращения аварий – это стремление к достижению такого высокого качества проектирования, сооружения и эксплуатации станции, в результате которого отклонения от нормальных эксплуатационных состояний происходят нечасто. Системы безопасности используются в качестве резерва по отношению к обратным связям систем

нормальной эксплуатации в предотвращении развития таких отклонений в аварии. Для уменьшения вероятности потери ключевой функции безопасности в конструкции систем безопасности там, где это требуется, используются преимущества резервирования, разнопринципности и физического разделения параллельных элементов. Системы и элементы подвергаются регулярному инспектированию и испытаниям для обнаружения деградации, которая может привести к нарушению нормальной эксплуатации или неэффективной работе какой-либо системы безопасности. Любые аномальные условия, которые могли бы сказаться на ядерной безопасности, быстро обнаруживаются системами контроля, которые выдают сигналы тревоги и во многих случаях автоматически инициируют корректирующие действия. Вторым средством предотвращения аварий является развитие у персонала критической позиции и поддержка обсуждения до начала любой работы вопроса о том, что может стать причиной нештатной ситуации. Подготовка операторов должна позволять им быстро распознавать начало аварии и своевременно принимать соответствующие этим аномальным условиям меры. Они также должны быть хорошо подготовлены в отношении применения соответствующих эксплуатационных процедур, содержание которых им должно быть хорошо знакомо.

59. Таким образом, предотвращение аварий зависит как от консервативного проектирования оборудования, так и от хорошей эксплуатационной практики, направленной на предотвращение отказов, от обеспечения качества в соответствии с целями проекта, контроля для обнаружения зарождающихся отказов или деградаций во время эксплуатации, а также от применения мер, предотвращающих перерастание малых нарушений или зарождающихся отказов в более серьезную ситуацию.

60. В различных странах проведен целый ряд ВОБ для АЭС различных конструкций. Их результаты свидетельствуют о том, что некоторые конструкции позволяют добиться достаточно низкой вероятности серьезного повреждения активной зоны. При условии эффективной подготовки к управлению авариями и ослаблению последствий тяжелых аварий результаты этих ВОБ согласуются с общей целью ядерной безопасности, приведенной в разделе 2.1.

61. ВОБ используется также при проектировании и эксплуатации, позволяя идентифицировать потенциальные пути развития аварии, которые способствуют увеличению риска. Таким образом, могут быть приняты меры по уменьшению воздействия этого фактора.

62. В целях предотвращения аварий и ослабления их последствий рамки ВОБ распространены на несколько новых областей:

- Ввиду того, что ряд значительных событий имел место в режиме останова или работы на малой мощности<sup>4</sup>, эти события были проанализированы с использованием ВОБ, которая, как сообщается в INSAG-10, показала, что в некоторых случаях сопутствующий риск (вклад в частоту повреждения активной зоны) сопоставим с риском, связанным с эксплуатацией на полной мощности. В настоящее время ВОБ во все большей степени применяется для минимизации риска, связанного с режимами останова и работы на малой мощности, путем поддержания адекватности глубокоэшелонированной защиты и наличия необходимых систем, поддерживающих такие ключевые функции безопасности, как контроль реактивности, охлаждение в остановленном состоянии, поддержание запаса теплоносителя, обеспечение электроснабжения, охлаждение отработавшего топлива, защитная оболочка и поддержание критически важных систем обеспечения.
- ВОБ используется при анализе различных систем, конструкций и элементов станции, являющихся важными для безопасности, для оценки корректирующих действий в ситуациях, когда их функционирование не является удовлетворительным. ВОБ используются для оценки степени разнопринципности систем и для определения приоритетов с целью обеспечения того, что наиболее важные элементы обеспечены соразмерной долей необходимых ресурсов.
- Положено начало применению ВОБ в разработке стратегий программы безопасности, базирующейся на информации о факторах риска (например, при проведении инспекций в процессе эксплуатации).

---

<sup>4</sup> Некоторые характеристики атомных электростанций – особенно в режиме останова – являются уникальными, например: имеют место изменения конфигурации (например, оборудование снято для ремонта), в работе участвует дополнительный персонал, выполняется большой объем работ, условия и конфигурация менее знакомы операторам, события требуют действий чаще на станции, чем на щите управления, риск пожаров в целом возрастает (например, худшие условия административно-хозяйственного содержания, короткие замыкания, перегрев); не столь детализированными являются пределы и условия эксплуатации, процедуры, выполняемые на станции, программы подготовки и/или регулирующие требования; возрастает потенциал снижения культуры безопасности.

Во всех подобных новых применениях ВОБ используется в качестве еще одного важного метода, дополняющего инженерно-техническое обоснование, опыт, концепции глубоководной защиты и соображения проектных основ. Кроме того, в связи с возрастающим применением ВОБ важно, чтобы модели, база данных и результаты расчетов ВОБ аккуратно поддерживались в течение всего срока службы станций.

### **3.2.3. Смягчение последствий аварий**

63. *Принцип: на станции и за ее пределами предусмотрены и подготовлены меры по смягчению последствий аварий, направленные на существенное уменьшение последствий аварийного выброса радиоактивных материалов.*

64. Меры по смягчению последствий аварий расширяют концепцию глубоководной защиты за рамки предотвращения аварий. Меры по смягчению последствий аварий делятся на три группы, а именно: управление аварией, инженерно-технические средства безопасности и контрмеры за пределами площадки.

65. Управление аварией предусматривает заранее запланированные и специально предусмотренные эксплуатационные действия в обстоятельствах, выходящих за пределы проектных условий эксплуатации, при которых оптимальным образом использовалось бы существующее оборудование станции в нормальных для него режимах, а также нестандартным путем, с целью восстановления контроля над обстановкой. Цель этого этапа управления аварией заключается в возвращении станции в безопасное состояние, при котором реактор остановлен, обеспечивается постоянное охлаждение топлива, радиоактивный материал локализован и функции локализации защищены. При таких обстоятельствах будут действовать инженерно-технические средства безопасности для локализации всех радиоактивных материалов, высвободившихся из активной зоны, с целью минимизации воздействия на окружающую среду. Эти инженерно-технические средства безопасности включают физические барьеры, часть которых имеет единственное назначение – локализация радиоактивного материала. В целях компенсации даже самой маловероятной возможности отказа мер безопасности на станции предусматриваются контрмеры за пределами площадки, которые превосходят уровень защиты, предусмотренный в большинстве областей деятельности человека. В подобном случае смягчение последствий аварии для населения или окружающей среды достигается с помощью защитных действий, таких как

укрытие и эвакуация населения и предотвращение переноса радиоактивных материалов по пищевым цепочкам и другими путями к человеку.

66. На находящихся в эксплуатации станциях управление авариями во все большей степени расширяется на область тяжелых аварий. Это требует разработки дополнительных руководств или процедур, более глубокого понимания преобладающих явлений, должного распределения обязанностей и подготовки в области управления авариями повышенной тяжести. И, как отмечалось в пунктах 25 и 27, проектировщики и владельцы будущих станций стремятся к еще более существенным усовершенствованиям в плане снижения выбросов за пределы площадки.

### 3.3. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ

67. Ниже представлено несколько основных технических принципов, являющихся наиболее существенными для успешной реализации технологии безопасности на АЭС.

#### 3.3.1. Апробированная инженерно-техническая практика

68. *Принцип: технологии ядерной энергетики основываются на инженерно-технической практике, проверенной испытаниями и опытом и отраженной в утвержденных сводах правил и нормах, а также положениях другой соответствующей документации.*

69. Проектирование, сооружение и испытание систем и элементов осуществляется консервативно в соответствии со стандартами качества, отвечающими целям безопасности. Применяются утвержденные своды правил и нормы, соответствие и применимость которых были подвергнуты оценке и которые, в случае необходимости, дополняются или модифицируются. Если существуют условия для развития или совершенствования существующей практики и если это уместно, такие изменения вносятся с осторожностью и подлежат необходимой проверке.

70. Многочисленные своды правил и нормы были приняты для применения на АЭС после разработки профессиональным инженерно-техническим сообществом и утверждения компетентными учреждениями. Некоторые существующие своды правил и нормы были модифицированы по сравнению с первоначальными, с тем чтобы учесть уникальные особенности их использования на атомных станциях и большее значение, придаваемое

безопасности станций. Цели утвержденных кодексов включают одновременно надежность и безопасность. Они основаны на принципах, которые были апробированы научными исследованиями, применением в прошлом, испытаниями и тщательным анализом<sup>5</sup>.

71. Применяются хорошо установившиеся методы изготовления и сооружения. Существенный вклад в доверие к важным элементам вносят опытные и проверенные поставщики. Отклонения от успешной в прошлом практики изготовления и сооружения утверждаются только после демонстрации того, что альтернативные варианты удовлетворяют предъявляемым требованиям. Качество изготовления и сооружения обеспечивается с помощью применения соответствующих стандартов и надлежащего подбора, подготовки и аттестации работников. Апробированные инженерные методы используются на протяжении всего срока службы станции. При ремонте и внесении изменений проводится специальное рассмотрение и анализ для обеспечения уверенности в том, что система возвращена к той конфигурации, которая соответствует анализу безопасности и техническим условиям. При возникновении новых, нерассмотренных вопросов безопасности проводится новый анализ.

72. При сооружении атомных станций используются методы, которые учитывают критические вопросы безопасности для данного проекта станции, и они решаются до начала реального строительства. В свою очередь с целью устранения необходимости вносить изменения в проект на этапе строительства аспекты и методы сооружения принимаются во внимание при проектировании. Эти соображения являются неотъемлемой частью процесса утверждения эксплуатирующими организациями и регулирующими органами.

73. Проектирование и строительство атомных станций новых типов основывается, насколько это возможно, на опыте уже эксплуатирующихся станций или на результатах программ научных исследований и эксплуатации прототипов соответствующей мощности.

74. Как при проектировании, так и при эксплуатации экономическая выгода может быть получена в результате применения стандартизации, которая также может привести к некоторым возможным косвенным преимуществам в плане безопасности ввиду сосредоточения ресурсов проектировщиков, регулирующих органов и изготовителей оборудования

---

<sup>5</sup> В соответствии с этим принципом была разработана серия документов МАГАТЭ по нормам ядерной безопасности (НЯБ).

на конкретном проекте и методах изготовления. Эти преимущества включают большую стандартизацию требований к выбору площадки и к инженерно-технической документации для серии станций. Также, при своем правильном применении, стандартизация может способствовать более эффективной эксплуатации и как следствие – безопасности, ввиду возможности непосредственного обмена опытом эксплуатации и единых программ подготовки персонала; она может способствовать повышению эффективности программ сооружения и обеспечения качества. Однако здесь существует и риск того, что стандартизация может вызвать общие для станций данного типа проблемы. Такой риск можно уменьшить путем принятия концепции эволюционных усовершенствований проекта стандартизованных станций.

### **3.3.2. Обеспечение качества**

75. *Принцип: обеспечение качества осуществляется во всех видах деятельности на атомной станции как часть всеобъемлющей системы, гарантирующей с высокой достоверностью соответствие всей поставленной продукции, оказываемых услуг и выполненных работ установленным требованиям.*

76. Действие указанной в приведенном принципе всеобъемлющей системы начинается с анализа и проектирования в соответствии с изложенным ранее принципом апробированной техники и охватывает применение методов обеспечения качества. В этой связи также важны другие основополагающие технические принципы, в особенности принципы, касающиеся оценки и проверки безопасности и опыта эксплуатации и исследований в области безопасности.

77. Центральную роль в обеспечении безопасности атомной станции играет высокое качество оборудования и действий человека. При этом преследуется цель обеспечения удовлетворительного выполнения оборудованием и персоналом своих функций. Процессы, в которых стремятся к достижению высокого качества, подвергаются контролю и проверке на основе практики обеспечения качества. Эта практика применяется в течение всего срока службы станции ко всему диапазону деятельности, связанной с проектированием, поставками, строительством, и к контролю процедур при испытаниях, вводе в эксплуатацию, эксплуатации и техническом обслуживании.

78. Все связанные с безопасностью элементы, конструкции и системы классифицируются на основе их функций и значения для безопасности; они

проектируются, изготавливаются и сооружаются таким образом, чтобы их качество соответствовало этой классификации (см. пункты 161 и 182–185).

79. Практика обеспечения качества является одним из элементов хорошего управления и важна для достижения и демонстрации высокого качества как продукции, так и эксплуатации. Существенным требованием для всех участвующих сторон является организационное оформление надежной практики обеспечения качества, позволяющее четко разграничить обязанности и ответственность групп участников, обеспечить каналы связи и их координацию. Предусмотренные организационные меры базируются на принципе, согласно которому ответственность за обеспечение качества при выполнении какой-либо задачи лежит на тех, кто ее выполняет, при этом другие проверяют правильность выполнения, а третьи контролируют весь процесс в целом. Полномочия персонала, ответственного за обеспечение качества внутри организации, достаточно широки, что позволяет им выявлять и решать проблемы неудовлетворительного качества. Особое внимание уделяется подбору и подготовке кадров для выполнения задач по обеспечению качества, при этом учитываются национальные, культурные и технические нормы.

80. Программы обеспечения качества являются основой для анализа задач, разработки методов, установления стандартов и определения требуемых навыков и оборудования. Эта основа включает обеспечение качества, а также стандарты или иные требования, которые должны быть реализованы в форме инструкций, расчетов, спецификаций, чертежей и прочей документации.

81. Таким образом, практика обеспечения качества охватывает обоснование проектов, поставки, снабжение и использование материалов, изготовление, методы инспектирования и испытаний, а также эксплуатационные и прочие процедуры, обеспечивающие соблюдение спецификаций. Сопроводительная документация подвергается строгим процедурам проверки, выпуска, внесения поправок и отмены. Одним из важных аспектов программ обеспечения качества являются формальные меры по решению вопросов изменений и отклонений.

82. Существенным элементом всей деятельности по обеспечению качества является документальная проверка того, что задачи выполнены в соответствии с требованиями, отклонения были выявлены и исправлены, а также приняты меры, направленные на исключение повторения ошибок. Для этого создаются необходимые условия, включающие иерархию документации, процедуры контроля качества, предусматривающие отбор образцов продукции, возможность наблюдения за реальной практикой и присутствия при испытаниях

и инспекциях, а также достаточность ресурсов, включая достаточную численность персонала.

### 3.3.3. Самооценка

83. *Принцип: самооценка всей осуществляемой на атомной электростанции значимой деятельности обеспечивает участие персонала, выполняющего линейные функции, в обнаружении и разрешении проблем, затрагивающих безопасность и состояние эксплуатации.*

84. Самооценка есть структурированный, объективный и видимый процесс, посредством которого отдельные лица, группы лиц и руководители в рамках эксплуатирующей организации оценивают эффективность своих собственных мер эксплуатационной безопасности путем сопоставления с ранее установленными ожидаемыми результатами и выявляют области, требующие улучшения. Работники, осуществляющие оцениваемую деятельность, могут повысить объективность самооценки путем вовлечения в нее лиц, не связанных с данной деятельностью. Результаты служат дополнением аудитов обеспечения качества и анализов безопасности, проводимых независимым персоналом (т.е. теми, кто не участвует непосредственно в выполнении данной задачи). Самооценки применяются для проведения единовременных глубоких анализов с целью обнаружения основных причин недостатков в области безопасности и эксплуатации, для проведения периодических анализов конкретных видов деятельности или программ группами, состоящими из собственных опытных сотрудников и внешних технических экспертов, для сопоставления состояния работ на станции с имеющимися ожиданиями руководства и с лучшей отраслевой практикой, а также для регулярного либо непрерывного контроля деятельности на всех уровнях организации в целом. Для получения хороших результатов и стимулирования сотрудников всех уровней организации к проведению самооценки, нацеленной на улучшение работы, а не только лишь на решение проблем, весьма важна решительная поддержка со стороны руководства.

85. Отчеты по самооценке дают ясную картину и отражают выявленные проблемы, их коренные причины и типовые последствия. Корректирующие мероприятия отслеживаются вплоть до их выполнения, а их эффективность проверяется последующими самооценками. Участие лиц, вовлеченных в проверяемую деятельность либо ответственных за эту деятельность, ценно тем, что в процесс рассмотрения они привносят свои знания и понимание

проблем. Кроме того, эти лица обретают понимание и ценное видение перспективы, которые могут помочь им оценить и улучшить показатели собственной работы в тех областях, за которые они отвечают.

### **3.3.4. Экспертные рассмотрения**

86. *Принцип: независимые экспертные рассмотрения обеспечивают доступ к практике и программам, которые применяются на станциях, имеющих хорошие показатели работы, и позволяют внедрять их на других станциях.*

87. Экспертные рассмотрения выполняются группами независимых экспертов, обладающих технической компетентностью и опытом в областях, подлежащих оценке. Выводы основываются на совокупных экспертных знаниях членов группы. Состав группы подбирается с учетом особенностей анализируемой организации. В зависимости от конкретной необходимости процесс рассмотрения может быть обращен на общие вопросы либо сосредоточиться на области, представляющей особый интерес. Рамки этого процесса не ограничены изучением документации или опросами; акцент делается на показателях работы станции. Подобные рассмотрения не являются ни инспекциями, ни аудитами, соответствующими установленным стандартам. Вместо этого они обеспечивают всестороннее сравнение практики, применяемой данной организацией, с существующей и признанной на международном уровне надлежащей практикой, а также обмен экспертными мнениями. Они нацелены на повышение эффективности практики и процедур, существующих в рассматриваемой организации.

88. Сами по себе экспертные рассмотрения суть «надлежащая практика», дополняющая другие виды оценок. Экспертные рассмотрения проводятся на национальном, двустороннем и/или многостороннем, либо международном уровне и охватывают как эксплуатирующие, так и регулирующие организации. Международные организации, которые обычно проводят экспертные рассмотрения, это Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции, (ВАО АЭС) и МАГАТЭ, в котором данную функцию выполняет его Группа по рассмотрению вопросов эксплуатационной безопасности.

### **3.3.5. Человеческий фактор**

89. *Принцип: персонал, занимающийся деятельностью, которая влияет на безопасность АЭС, подготовлен и аттестован для выполнения*

*своих обязанностей. Возможность ошибки человека при эксплуатации атомной электростанции учитывается посредством содействия принятию операторами правильных решений и сдерживания принятия неправильных, а также обеспечением средств обнаружения и исправления или компенсации ошибок.*

90. Один из наиболее важных уроков аномальных событий – от незначительных инцидентов до серьезных аварий – это то обстоятельство, что чрезвычайно часто они происходят в результате неправильных действий человека. Во многих случаях эти события происходят, когда персонал станции не осознает важности для безопасности предпринимаемых им действий, когда он не соблюдает процедуры, не знает об условиях, сложившихся на станции, введен в заблуждение неполной информацией либо неправильными понятиями или недостаточно разобрался во вверенной ему станции. Эксплуатирующая организация должна осознавать, что на АЭС применяются высокие технологии, и обеспечить соответствие этому уровню своего персонала для удовлетворительного управления станцией.

91. В прошлом вклад ошибок человека в события и аварии был слишком велик. Для их компенсации имеется два пути: первый – проектный, включая автоматизацию, второй – совершенствование действий человека, в том числе необходимость определения вероятного поведения, проведения разбора задачи перед ее выполнением, выявления условий, в которых вероятность ошибки возрастает, и обсуждения последствий и ответных реакций. В необычных обстоятельствах требуется оптимальное использование человеческой находчивости.

92. Инженерно-технические средства и административный контроль обеспечивают защиту от нарушения требований безопасности. Кроме того, учет человеческого фактора при проектировании делает станцию устойчивой к ошибке человека. Это достигается, например, за счет срабатывания автоматических систем управления и/или защиты, если из-за того или иного действия оператора какой-либо параметр станции превышает свои нормальные эксплуатационные пределы или заданные значения срабатывания систем аварийной защиты. Конструкция систем защиты обеспечивает необходимость вмешательства оператора для исправления ошибок лишь в тех случаях, когда имеется достаточно времени для диагностики и корректирующих действий. Компоновка щита управления обеспечивает размещение и сосредоточение данных и средств управления, которые используются при решении задач безопасной эксплуатации и при управлении аварией. Предусмотрены средства диагностики для

оказания помощи в быстром решении вопросов безопасности. Данные, имеющиеся на щите управления, в целом достаточны для диагностики любых отказов, которые могут произойти, и для оценки последствий любых действий. Существует надежная связь между персоналом щита управления и эксплуатационным персоналом, находящимся в удаленных местах, от которого могут потребоваться действия, влияющие на состояние станции. Административные меры гарантируют, что сначала на такие действия эксплуатационного персонала в удаленных местах будет получено разрешение персонала пульта управления. Размещение и идентификация удаленно расположенных средств управления таковы, что они снижают вероятность ошибок при их выборе.

93. В оборудование станции (например, эргономичность компоновки), ее процедуры, подготовку персонала и другие области вносятся усовершенствования с учетом человеческого фактора, призванные предотвратить или смягчить последствия ошибки человека. Цель состоит в упрощении информации, поступающей эксплуатационному персоналу, и в обеспечении четкого понимания и контроля состояния станции персоналом щита управления. На действующих станциях в качестве одного из методов анализа деятельности эксплуатационного и обслуживающего персонала, а также для выяснения, можно ли ее улучшить внесением изменений в работу, инструкции или процедуры, применяется анализ рабочих заданий. Также запрашивается и обобщается мнение опытных операторов станций с целью упрощения информационных потоков, функций щита управления и процесса эксплуатации. Если заменяемое контрольно-измерительное оборудование более не закупается, оно заменяется по возможности программируемыми контроллерами или миникомпьютерными системами, которые повышают возможности диагностики станции. Если программное обеспечение таких контроллеров и миникомпьютеров является важным для безопасности, оно должно быть разработано, внедрено и протестировано в соответствии с принципами технологии структурного программирования и должно пройти проверку и подтверждение. Если в него при техобслуживании вносятся изменения, то требуется дополнительные меры обеспечения качества, включая четкое определение прав доступа и гарантии наличия у обслуживающего персонала достаточных знаний в этой области. Возможности для усовершенствований с учетом человеческого фактора на будущих АЭС будут значительно большими, поскольку компоновка и структура станций пока не зафиксированы. Кроме того, для функций безопасности и с целью замены проверки оператором самопроверкой внедряются цифровые компьютерные системы. Необходимо спроектировать и установить подобные компьютерные системы, с тем чтобы остаточные

дефекты и проектные ошибки не препятствовали никаким требуемым действиям по обеспечению безопасности.

94. Для поддержания станции в пределах безопасной эксплуатации соблюдаются утвержденные эксплуатационные процедуры. Для обеспечения этого большое внимание уделяется подготовке и переподготовке персонала, включая подготовку в аудиториях, на тренажерах, а также на базе станции. Пособия по эксплуатации, техническому обслуживанию и инспекциям разрабатываются таким образом, чтобы учитывать сильные и слабые стороны действий человека.

95. Все вышесказанное подчеркивает роль человеческого фактора при эксплуатации. Это очень важно, однако внимание к этим аспектам не должно приводить к игнорированию роли человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекциях. В прошлом ошибки в этих видах деятельности становились существенными причинами отказов элементов и систем. Поэтому процедуры, обеспечивающие применение наилучших методов эксплуатационным персоналом, должны применяться также обслуживающим персоналом.

### **3.3.6. Оценка и проверка безопасности**

96. *Принцип: до начала сооружения и эксплуатации станции проводится оценка ее безопасности. Результаты этой оценки документируются и подвергаются независимому рассмотрению. При появлении новой существенной информации по безопасности результаты оценки пересматриваются.*

97. Оценка безопасности включает систематическое критическое рассмотрение путей возможных отказов систем, конструкций и элементов и определение последствий таких отказов. Оценка производится целенаправленно для выявления всех слабых мест проекта. Результаты детально документируются, с тем чтобы иметь возможность независимой проверки объема, глубины и выводов этого критического рассмотрения. Документация по техническому обоснованию безопасности, которая готовится в целях лицензирования, содержит описание станции, достаточное для независимой оценки ее характеристик безопасности. Она включает информацию об особенностях площадки, которые должны быть учтены в проекте. В ней представлена подробная информация об основных характеристиках систем, особенно систем, связанных с управлением и останом реактора, его охлаждением и защитной оболочкой, удерживающей

радиоактивные материалы, а также об инженерно-технических средствах безопасности. В ней дается техническое обоснование выбора и описание ограничивающего набора проектных аварий и представлены его результаты.

98. Документация по техническому обоснованию безопасности и ее рассмотрение регулирующими органами образуют главную основу для выдачи разрешения на сооружение и эксплуатацию, и это подтверждает, что все вопросы безопасности надлежащим образом разрешены или поддаются разрешению.

99. Разработаны методы для оценки, которые позволяют установить, достигнуты ли цели безопасности. Эти методы применяются на этапе проектирования, затем на более поздних этапах эксплуатации станции, если планируется внесение изменений в конфигурацию станции, и при оценке опыта эксплуатации с целью проверки того, что характеристики безопасности станции продолжают оставаться приемлемыми. В настоящее время применяется два взаимодополняющих метода: детерминистический и вероятностный. Эти методы используются совместно для оценки и повышения безопасности проекта и эксплуатации.

100. При детерминистическом методе выбираются проектные события, с тем чтобы охватить определенный круг возможных сопутствующих иницирующих событий, которые могли бы угрожать безопасности станции. Используется анализ для того, чтобы показать, что реакция станции и ее систем безопасности на проектные события соответствует заранее определенным требованиям, как в части эксплуатационных характеристик собственно станции, так и в части достижения целевых показателей безопасности. При детерминистическом методе для предсказания хода событий и их последствий используется общепринятый инженерно-технический анализ.

101. Вероятностный анализ применяется для оценки вероятности реализации какой-либо конкретной последовательности событий и ее последствий. Эта оценка может учитывать влияние мер по смягчению последствий на станции и за ее пределами. Вероятностный анализ применяется для оценки риска и, особенно, для выявления любых возможных слабых мест в проекте, в эксплуатации или в ходе развития потенциальной аварии, которые могли бы повысить риск. Вероятностный метод может использоваться как вспомогательное средство при выборе событий, для которых необходимо проведение детерминистического анализа, и наоборот.

102. Для оценки ситуаций множественных отказов и тяжелых аварий все больше используются общие либо конкретные для станции ВОБ. В данном процессе применяются методы анализа, использующие реалистичные допущения и наилучшие оценки. В анализах дается количественная оценка имеющихся запасов безопасности, что дает возможность внесения изменений в проект атомной станции с целью снижения вероятности выбросов радиоактивности и их последствий. В таблице II представлена сводка обширных мер, принимаемых на различных находящихся в эксплуатации водоохлаждаемых реакторах. Для достижения целей, описанных в пунктах 25 и 27, в отношении будущих станций будут применяться детерминистические и вероятностные анализы безопасности.

103. В том случае, если результаты проводимых исследований в области безопасности и опыт эксплуатации обуславливают возможность и целесообразность оценки безопасности, то в дальнейшем этот процесс, в зависимости от необходимости, полностью или частично повторяется на протяжении всего срока существования станции. Например, большое количество требований устанавливается в отношении периодичности контрольных испытаний и допустимой продолжительности отключения элементов и систем станции. Для определения элементов, важных с точки зрения риска, и для корректировки требований, предъявляемых к этим важным элементам, с тем чтобы указанные требования соответствовали вкладу этих элементов в риск, используется ВОБ.

### **3.3.7. Радиационная защита**

104. *Принцип: на этапах проектирования АЭС, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и снятия с эксплуатации реализуется практическая система радиационной защиты, соответствующая рекомендациям МКРЗ и МАГАТЭ.*

105. Устанавливаются меры для защиты персонала и населения от вредных эффектов облучения при нормальной эксплуатации, ожидаемых нарушениях нормальной эксплуатации и авариях. Эти меры направлены на контроль источников излучения, включая радиоактивные выбросы и отходы, на обеспечение и постоянное поддержание эффективности защитных барьеров и оборудования индивидуальной защиты, на обеспечение административных способов контроля облучения.

ТАБЛИЦА II. ВАЖНЕЙШИЕ ПРОЕКТНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ДЛЯ СЦЕНАРИЕВ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

Сценарии тяжелых аварий	Наиболее распространенные модификации
Аварии, связанные с реактивностью	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усовершенствование системы подпитки</li> <li>• Усовершенствованная или быстродействующая система ввода бора</li> <li>• Автоматический контроль разбавления</li> </ul>
Выброс горючих газов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Азотная флегматизация</li> <li>• Дожигатели</li> <li>• Каталитические устройства</li> </ul>
Расплавление активной зоны при высоком давлении: прямой нагрев защитной оболочки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усовершенствованный сброс давления в системе охлаждения реактора</li> </ul>
Расплавление активной зоны при высоком давлении: разрыв трубок ПГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усовершенствованный сброс давления в системе охлаждения реактора</li> </ul>
Воздействие на несущие конструкции корпуса реактора	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Физический барьер</li> <li>• Затопление шахты реактора</li> </ul>
Прорыв корпуса	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешнее охлаждение корпуса</li> </ul>
Непосредственный контакт с границей защитной оболочки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Физический барьер, затопление</li> </ul>
Медленное повышение давления в защитной оболочке	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вентиляционно-фильтрующая система</li> <li>• Альтернативные источники охлаждения</li> </ul>
Проплавление фундамента	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Затопление шахты реактора</li> <li>• Внешнее охлаждение корпуса</li> </ul>
Байпас защитной оболочки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Устранение контакта высокого / низкого давлений</li> <li>• Дополнительные отсечные клапаны</li> </ul>
Изоляция защитной оболочки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение риска повреждения защитной оболочки</li> </ul>
Тяжелые аварии реакторов CANDU	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышение готовности тепловода резервуаров замедлителя/защиты</li> </ul>

**Примечание:** CANDU – канадский дейтериево-урановый реактор; ПГ – парогенератор

106. Вопросы радиационной защиты рассматриваются в процессе проектирования, где учитываются как конкретные детали, так и широкие аспекты конфигурации станции.

107. Для контроля, руководства и защиты персонала разрабатываются письменные процедуры, определяющие безопасную практику, физические средства защиты и необходимые административные процедуры для каждой задачи, выполнение которой может привести к радиационному облучению персонала. Особое внимание уделяется работам с высокими дозовыми нагрузками.

108. Таковы главные черты подходов, позволяющие достичь цели радиационной защиты. Обеспечение их соблюдения требует неустанной бдительности, мониторинга условий на станции и содержания станции в должной чистоте.

### **3.3.8. Опыт эксплуатации и исследования в области безопасности**

109. *Принцип: заинтересованные организации обеспечивают обмен опытом эксплуатации и результатами научных исследований, связанных с безопасностью, а также их рассмотрение, анализ и извлечение уроков с принятием соответствующих мер.*

110. Организация, эксплуатирующая АЭС, поддерживает эффективную систему сбора и интерпретации информации об опыте эксплуатации, она осуществляет быстрое распространение информации, важной для безопасности, как среди собственного персонала, так и среди других заинтересованных организаций. Анализируются коренные причины аварий. Идентифицируются события, которые можно рассматривать в качестве предшественников аварий, и принимаются меры по предотвращению их повторения. Каждая эксплуатирующая организация стремится извлечь уроки из опыта других организаций. Обмен данными об эксплуатации координируется на национальной и международной основе.

111. Главная цель заключается в том, чтобы ни одно связанное с безопасностью событие не осталось незамеченным, и чтобы были внесены нужные исправления для предотвращения повторения, как в том же месте, так и в любом другом, связанных с безопасностью аномальных событий, где бы они ни произошли впервые. Наиболее важно, что этот принцип отражает тот факт, что авария любой тяжести с большой долей вероятности проявится в событиях-предшественниках, поэтому ее можно прогнозировать

с соответствующей степенью достоверности и, следовательно, предотвращать. Обратная связь по опыту эксплуатации также расширяет знания об эксплуатационных характеристиках оборудования и развития тенденций и дает информацию для количественного анализа безопасности.

112. Многие эксплуатирующие организации имеют программу сбора специфической для своих станций информации и использования ее для отслеживания тенденций и улучшения состояния эксплуатации станций. Накопленная информация включает сообщаемые события на станции, ошибки, в том числе – едва не происшедшие, проблемы, данные наблюдений и даже предложения по улучшению. Представители различных функциональных подразделений станции анализируют эти данные, и им назначается уровень значимости для безопасности. Важные с точки зрения безопасности вопросы незамедлительно расследуются и подлежат анализу для выявления коренных причин прежде, чем будут предприняты корректирующие действия. Эксплуатационные ошибки считаются важными и оцениваются отдельно. Предусмотрена процедура отслеживания выполнения различных оценок и принятия соответствующих корректирующих мер, а также определения неблагоприятных тенденций, которые можно обратить вспять. Участие руководства в этой внутренней программе сбора информации и удовлетворительного разрешения проблем является существенным для ее успеха. Готовность работников сообщать о проблемах и предлагать улучшения является ключевым моментом полезности и самодостаточности этой программы.

113. Исследования, направленные на понимание характеристик станции, ее реакции на аномальные события и возможную последовательность событий при тяжелых авариях, ведут к совершенствованию обратной связи и интерпретации опыта и к лучшему определению корректирующих мер, которые могут потребоваться. Дальнейшее совершенствование связано с использованием результатов исследований в целях улучшения характеристик станции с одновременным сохранением приемлемых запасов безопасности. Результаты исследований могут быть внедрены в проекты АЭС, способствуя дальнейшему повышению их безопасности. В более общем плане, исследования и разработки необходимы для поддержания знаний и компетентности внутри организаций, которые поддерживают или регулируют деятельность, связанную с эксплуатацией АЭС.

114. Исследовательская деятельность, безусловно, дает возможность для повышения безопасности и снижения неопределенностей, преобладающих в таких областях, как прогнозирование поведения АЭС или последствия

аварий. Рамки научно-исследовательских и опытно-конструкторских программ достаточно широки для того, чтобы охватить все интересующие области, в том числе – потенциальные модификации существующих проектов. Работы включают исследование механизмов деградации, разработку материалов, обладающих повышенной коррозионной устойчивостью, аттестацию топлива для увеличенных глубин выгорания или на основе смешанных оксидных делящихся материалов (МОХ-топливо), применение улучшенного химического состава теплоносителя с целью повышения надежности станции и снижения эффектов старения, разработку системных вычислительных программ для прогноза поведения станции при переходных процессах и в ходе аварий, в том числе тяжелых, и уменьшения неопределенностей предшествующих анализов безопасности, введение улучшенных компьютеризованных систем управления и контрольно-измерительного оборудования с целью упрощения человеко-машинного интерфейса, а также разработку более реалистичного набора возможных радиоактивных выбросов для предсказания последствий тяжелых аварий. Научно-исследовательская и опытно-конструкторская деятельность в ядерной области представляет собой существенный элемент безопасности атомных электростанций, и продолжение ее поддержки является очень важным. Тем не менее, существует потребность в расстановке приоритетов работ в рамках этой деятельности в соответствии с их значимостью для безопасности. Кроме того, важным способом избежания дублирования деятельности и снижения затрат служит сотрудничество в исследовательской области на международном уровне, направленное на достижение общего понимания основных вопросов безопасности.

### **3.3.9. Наилучшие эксплуатационные методы**

115. Принцип наилучших эксплуатационных методов вводится в настоящей редакции 75-INSAG-3 для того, чтобы подчеркнуть и свести воедино несколько аспектов эксплуатации, недостаточно охваченных ранее.

116. *Принцип: применение наилучших эксплуатационных методов при эксплуатации действующих, а также будущих АЭС достигается путем: укрепления культуры безопасности и глубокоэшелонированной защиты; улучшения действий человека; поддержания высококачественного состояния материалов и функционирования оборудования; использования самооценок и экспертных рассуждений; обмена в мировом масштабе опытом эксплуатации и другой информацией; более широкого применения ВОБ; расширенного внедрения управления тяжелыми авариями.*

117. Часть усовершенствований, предложенных в принципе, предусматривающем применения наилучших эксплуатационных методов, уже упоминалась ранее в других пунктах: культура безопасности (пункты 33 и 34), глубокоэшелонированная защита (пункт 49), самооценка (пункты 83-85), экспертные рассмотрения (пункты 86-88), действия человека (пункт 93), ВОБ (пункты 62 и 102), опыт эксплуатации (пункт 112), исследовательская деятельность (пункт 114), смягчение последствий тяжелых аварий (пункты 66 и 102). Эти усовершенствования применимы как к существующим, так и будущим АЭС.

118. Большинство упомянутых усовершенствований нацелено на улучшение действий человека, поскольку значительная часть событий на станциях происходит из-за человеческих ошибок. Ошибки могут совершаться вследствие действий отдельного лица, совместных действий группы лиц или влияния, оказанного рабочей атмосферой, организацией или руководителями. Совершенство в действиях человека достигается, когда все участвующие в процессе индивидуумы демонстрируют требуемое поведение, и когда особое внимание уделяется воспитанию или проявлению критической позиции, подкрепляющей подобное требуемое поведение; развивается лидерство и поощряется групповая работа.

119. Опыт атомных электростанций, стремящихся к применению наилучших эксплуатационных методов, позволяет сделать некоторые выводы. Например, в стремлении повысить безопасность существующих ядерных установок следует соблюдать баланс между выгодами и отрицательными сторонами (в том числе затратами). Когда негативные итоги модификаций значительно превосходят возможные преимущества в безопасности, в общем случае их не следует предпринимать. Также следует учитывать влияние изменений на применимость уже имеющегося опыта и подготовки персонала при существующей конфигурации станции. Другой пример – организационные изменения, которые могут нести в себе потенциал как улучшения, так и ухудшения состояния безопасности. Важно прежде, чем предложенные изменения будут осуществлены, убедиться в том, что их следствием не будет ухудшение безопасности ни после их осуществления, ни в течение переходного периода их внедрения. Во всех подобных обстоятельствах существенными являются руководящая роль и качество управления, а также способность вовлечения в процесс персонала всей организации в целом.

120. Другой важной характеристикой наилучших эксплуатационных методов является принятие сильной стратегии профилактического и

упреждающего технического обслуживания и ремонта, которая, например, позволяет обнаружить проблемы, связанные с функционированием и старением, на ранних стадиях их развития, и устранять их прежде, чем они окажут значительное воздействие на безопасность. Важно показать, что управление сроком службы атомной электростанции ведется таким образом, что организация, эксплуатирующая данную станцию, в любой момент имеет действенное и актуальное обоснование безопасности. В этом процессе определяются системы, конструкции и элементы, важные для безопасности, а также системы, конструкции и элементы, не связанные с безопасностью, но непосредственно поддерживающие относящиеся к безопасности функции, либо важные для обеспечения нормального функционирования остальной части станции. Упомянутая программа должна показать, является ли приемлемой с точки зрения безопасности измеренная либо аналитически исследованная деградация, вызванная преобладающими механизмами старения. Далее, в нее может быть включена оценка результатов анализа ограниченного во времени старения (например, допустимых циклов термического нагружения) и демонстрация того, что они по-прежнему применимы. Многие аспекты старения могут быть охвачены осуществляемыми на станции неразрушающим и прочими видами контроля и исследований, которые проводятся в соответствии с существующими требованиями. Однако упреждающий подход требует наличия программы, охватывающей все аспекты старения и сосредоточенной на проблемах опыта эксплуатации, связанных со старением, и на всех поддающихся обнаружению и потенциально значительных неблагоприятных для безопасности последствиях старения.

121. Еще одно соображение относится к снижению энергетических потребностей и развитию альтернативных средств производства энергии в некоторых странах. Это влечет за собой снижение потребности в инженерно-технических знаниях, необходимых для проектирования, сооружения, ввода в эксплуатацию и эксплуатации атомных электростанций, что, в свою очередь, ведет к потере экспертных знаний и, в особенности, к утрате корпоративной памяти. Наилучшие эксплуатационные методы признают потребность в процессах управления изменениями, вытекающими из такой утраты экспертных знаний. Сюда входит: идентификация базовых знаний и навыков, необходимых для обеспечения безопасности, и меры, направленные на их сохранение путем обучения менее опытного инженерного персонала, применением наставничества и обменом ресурсами с другими организациями.

122. Применение наилучших эксплуатационных методов предусматривает использование измеримых показателей состояния безопасности. Эти показатели позволяют руководству отслеживать тенденции в состоянии безопасности и эксплуатации станции и сравнивать их с показателями других станций, работающих весьма эффективно.

123. Побудительные мотивы к внедрению наилучших эксплуатационных методов будут эффективными и постоянно действующими только в том случае, если они зарождаются внутри самой эксплуатирующей организации и исходят от ее руководства и персонала. Внедрение наилучших эксплуатационных методов часто связывают с повышением готовности станции и снижением расходов на эксплуатацию в связи с рационализацией и упрощением процессов. Однако важно, чтобы подобные преимущества получались без какого-либо снижения уровня безопасности станции.

### **3.3.10. Характеристики будущих АЭС**

124. Кроме постоянно осуществляемой деятельности по расширению спектра учитываемых тяжелых аварий и уменьшению их последствий за пределами площадки, важной целью применительно к будущим АЭС является дальнейшее снижение потенциальных радиологических последствий. В соответствии с целями, изложенными в пунктах 25 и 27, к другим особенностям относятся значительное упрощение систем с соответствующим повышением эксплуатационных качеств и ремонтпригодности. Также на всех будущих станциях необходимо дальнейшее совершенствование глубокоэшелонированной защиты. Предотвращение аварий остается задачей высшего приоритета, однако удержание под контролем аварий и смягчение последствий таковых, если они произойдут, также весьма важно. Данное дополнение к 75-INSAG-3 содержит обобщенное описание потенциальных характеристик будущих атомных электростанций, при этом основное внимание уделено водоохлаждаемым ядерным реакторам.

125. Возможность устранения выявленных в прошлом недостатков является важным преимуществом будущих станций. Использование контрольного списка подобных проблемных областей и предложенных решений гарантирует, что не будет пропущена ни одна проблема, создававшая трудности в прошлом. Будущие станции обладают и другим преимуществом, поскольку на них могут быть внедрены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских программ, в том числе, относящихся к новым материалам, улучшению химического состава теплоносителя, методам, использующим наилучшую оценку для прогноза эксплуатационных пределов и их

погрешностей, а также результаты прочих многочисленных исследовательских работ и анализов безопасности. Однако важно, чтобы проектные особенности, реализуемые на будущих станциях, были полностью проверены посредством соответствующих испытаний, и, предпочтительно, демонстрацией на станциях, находящихся в эксплуатации в настоящее время.

126. Предотвращению аварий способствует снижение частоты отказов оборудования и уменьшение количества ошибок человека. В связи с отказами оборудования это достигается посредством упрощения конструкции и, в частности, сокращением числа активных элементов, таких как клапаны, которые могут не сработать или быть установлены неправильно. Другой подход – повышение устойчивости к отказам оборудования путем выбора разнопринципного оборудования и уменьшение жесткости переходных процессов при помощи, например, увеличения термоинерционности и времени ответной реакции первичных систем. Максимальные возможности для улучшения предотвращения аварий заключены в усовершенствовании человеко-машинного интерфейса, в дополнительном применении информационных и цифровых технологий и в самодиагностике систем защиты. При использовании компьютерных систем для функций безопасности должны приниматься меры предосторожности в отношении отказов компьютерных систем по общей причине. Следует учитывать качество и надежность систем, а также дополнительные аспекты наподобие подходящей степени разнообразия. Производственный процесс должен также включать интегральную диагностику программных и аппаратных средств и надлежащую практику проверки и апробирования программного обеспечения. Еще одной возможностью улучшения предотвращения аварий является оценка мер, принимаемых на разных уровнях глубокоэшелонированной защиты, и устранение, там, где это практически выполнимо, зависимости между системами. Наконец, необходимо предусмотреть соответствующие возможности в отношении пространства и монтажных работ с целью повышения результативности и качества неразрушающего контроля и ремонтных работ.

127. Проектировщики, а также владельцы/операторы станций могут предусматривать дополнительные допуски в любых надлежащих областях, преследуя при этом цель защиты капиталовложений, повышения эксплуатационной гибкости и показателей работы и обеспечения условий для получения будущей станцией лицензии.

128. Совершенствуется механизм смягчения последствий аварий, направленного на снижение вероятности и последствий радиоактивных выбросов. Рассматриваются меры, подобные перечисленным в таблице II, а

также другие новые концепции, направленные на практическое устранение больших ранних выбросов радиоактивности и сокращение зоны и сроков применения необходимых защитных мер при позднем отказе защитной оболочки.

129. Для будущих АЭС проектные характеристики, относящиеся к предотвращению и смягчению последствий аварий, в том числе тяжелых, будут определяться на основании детерминистического анализа, вероятностных методов, использующих наилучшую оценку, применения количественных целевых показателей безопасности и инженерно-технического обоснования. Примечательно, что практическое устранение путей развития аварии, которые ведут к большим ранним выбросам радиоактивности, при необходимости будет основываться на подробных детерминистических и/или вероятностных исследованиях. На стадии проектирования будет применяться ВОБ, которая является полезным инструментом для глубокого анализа воздействия на риск разных путей развития аварии. Выработка окончательного решения о включении в проект будущей АЭС тех или иных средств будет представлять собой итеративный процесс, в котором первоначальные заключения выносятся проектировщиками на основе результатов исследований и опыта, а также ВОБ. Далее последуют анализы владельца/оператора станции и регулирующего органа, которые должны подтвердить правильность принятых решений. Такой процесс тщательной оценки и принятия решений в итоге даст согласованный и стабильный набор проектных характеристик.

130. Ассоциируемые со строящимися и проектируемыми атомными станциями риски станут весьма малыми благодаря уменьшению как вероятности, так и радиологических последствий аварий. В то же время, данное утверждение предполагает, что возможности отказа по общей причине, а также неопределенностям, по-прежнему существующим в понимании явлений, связанных с серьезным повреждением активной зоны, уделяется серьезное внимание. По указанным причинам при оценке новых особенностей проекта на соответствие целям пунктов 25 и 27 большое значение будет иметь инженерно-техническое обоснование.

131. В том, что касается выбора площадки, важно учитывать, что техническая цель безопасности применима ко всем будущим станциям, даже тем, которые расположены столь удаленно, что отсутствие серьезных радиологических последствий можно обосновать только за счет низкой плотности населения. Кроме того, в случае размещения будущей станции

поблизости от государственной границы следует учитывать соображения трансграничного воздействия.

132. Несомненно, концепции будущих реакторов окажут влияние на конкретные принципы, представленные в разделе 4. Однако подобные изменения невозможно идентифицировать прежде, чем концепции будущего будут детально разработаны. По этой причине материал в разделе 4 относится главным образом к существующим станциям. Отличия, если таковые ожидаются в отношении будущих станций, упомянуты в разделе 4 кратко и в общих чертах.

## **4. КОНКРЕТНЫЕ ПРИНЦИПЫ**

133. Описанные выше в разделах 2 и 3 цели безопасности и основополагающие принципы создают концептуальные основы для конкретных принципов безопасности, изложенных в разделе 4. На рис. 1. приведена сводка, отражающая структуру и категории принципов безопасности. На рис. 2 схематически представлены конкретные принципы безопасности. Здесь показана их взаимосвязь с основополагающими концепциями глубоководной защиты и культуры безопасности. Показано, что концепция культуры безопасности охватывает всю деятельность. Все принципы, связанные с уровнями защиты, представлены на рис. 2 сверху вниз на левой стороне в порядке нарастания угрозы для безопасности, начиная от нормальной эксплуатации до аварийного реагирования за пределами площадки, с указанием проектных и эксплуатационных мер, которые необходимо принять в плане противодействия потенциальным угрозам, с которыми может столкнуться станция. Горизонтальный порядок конкретных принципов безопасности указывает на их применимость на разных этапах ядерного проекта, от его начала до конца срока службы станции. Цвета были выбраны так, чтобы воспроизвести группировку принципов: зеленый – для выбора площадки, оранжевый – для проектирования, синий – для изготовления, сооружения и ввода в эксплуатацию, красный – для эксплуатации и черный – для конечного этапа жизненного цикла станции, включающего хранение отработавшего топлива и снятие с эксплуатации. Если говорить о совместном действии и взаимозависимости, то жирная оранжевая линия связывает некоторые основные принципы, используемые для обеспечения безопасности проекта станции, который в данной редакции включает физическую защиту.

Подобным образом, жирная синяя линия указывает на важность достижения и проверки безопасности и качества станции до получения разрешения на ее эксплуатацию. Жирная красная линия связывает различные аспекты, которые вносят вклад во внедрение наилучших методов обеспечения эксплуатационной безопасности и подчеркивает важность учета эксплуатационного опыта. Тонкие зеленые линии показывают связи между применимыми принципами, например, при управлении аварией и в условиях аварийной ситуации.

#### 4.1 ВЫБОР ПЛОЩАДКИ

134. Площадка – это территория, на которой расположена атомная электростанция, и которая находится под эффективным контролем эксплуатирующей организации. Выбор соответствующей площадки представляет собой важный процесс, поскольку местные обстоятельства могут влиять на безопасность. В ряде случаев вопрос об ограничениях по размещению станции решается полностью директивным путем, однако чаще выбор площадки представляет собой сбалансированное решение между конкурирующими факторами, включающими экономические интересы, отношение населения и безопасность. Вследствие этого, хотя применение одного из нижеследующих принципов предположительно может привести к отказу от предлагаемой площадки только по причинам безопасности, эти принципы служат в большей мере общим руководством по аспектам безопасности при выборе площадки. Учитываются изменения, предвидимые на весь срок службы станции.

135. Для будущих АЭС, особенно стандартизованных проектов, преимуществом является возможность привязки таких стандартизованных проектов к как можно большему числу имеющихся площадок в странах, где ожидается принятие решения о сооружении станции данного проекта или начато само сооружение.

##### 4.1.1. Внешние факторы, воздействующие на станцию

136. *Принцип: при выборе площадки учитываются результаты исследований местных факторов, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на безопасность станции.*

137. Местные факторы включают как природные факторы, так и опасности, вызванные деятельностью человека. Природные факторы, которые следует учитывать, включают геологические и сейсмологические характеристики и возможные гидрологические и метеорологические явления. К опасностям, вызванным деятельностью человека, относятся опасности, исходящие от

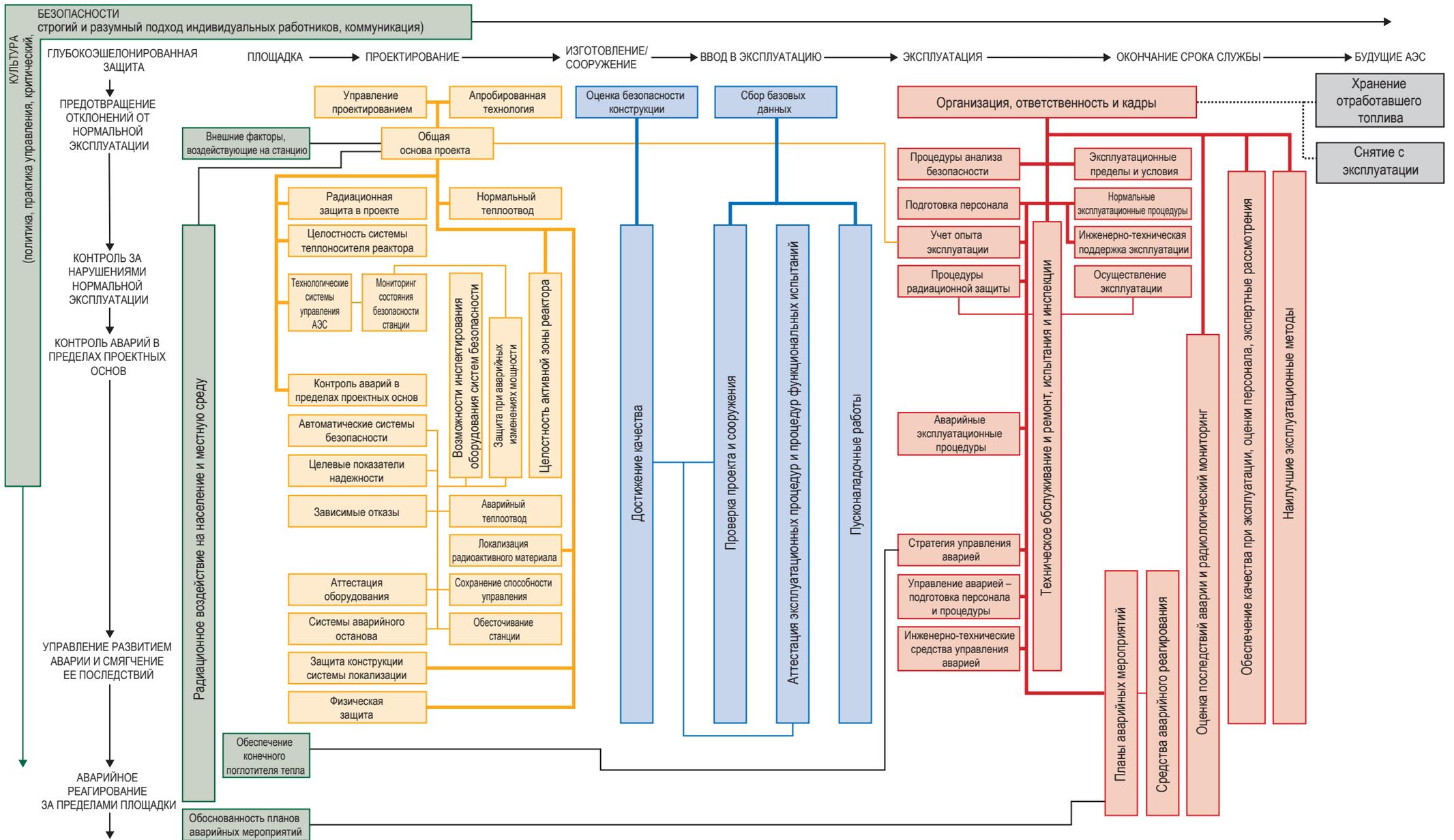


РИС. 2. Схематическое представление конкретных принципов безопасности ИНСАГ с указанием их взаимосвязи и взаимозависимости.

химических объектов, выбросы токсичных и горючих газов и падение самолета. Необходимые исследования дают информацию о вероятности значительных внешних событий и их возможного воздействия на безопасность атомной электростанции. Когда это возможно, они выражаются в форме количественных вероятностей. Соответствующая оценка риска учитывает проектные средства безопасности, предусмотренные для противодействия этим событиям. Особое внимание уделяется потенциальным экстремальным внешним событиям и возможностям установки компенсирующих средств безопасности.

#### **4.1.2. Радиологическое воздействие на население и местную среду**

138. *Принцип: площадки исследуются с точки зрения радиологического воздействия станции при нормальной эксплуатации и в аварийных условиях.*

139. Перенос радиоактивных веществ к человеку может происходить по воздуху, воде и пищевым цепочкам. Необходимо исследовать характеристики площадки, которые могут повлиять на пути переноса: физические характеристики, такие как топография, метеорология и гидрология; экологические характеристики, такие как растительность и животный мир; использование земельных и водных ресурсов; распределение населения вокруг площадки. Результаты таких исследований используются для демонстрации выполнения целей безопасности как при нормальной эксплуатации с соответствующими пределами по выбросам радиоактивных материалов, так и при аварийных радиоактивных выбросах с учетом контрмер, предусмотренных за пределами площадки.

#### **4.1.3. Осуществимость планов аварийных мероприятий**

140. *Принцип: выбранная для АЭС площадка соответствует контрмерам за ее пределами, которые могут потребоваться для ограничения последствий аварийных выбросов радиоактивных материалов, и, как ожидается, будет соответствовать им и в дальнейшем.*

141. В разделе, посвященном аварийному планированию (раздел 4.8.1), рассматриваются меры, предусмотренные для противодействия крайне маловероятным авариям, которые могут воздействовать на здоровье населения и окружающую среду. На осуществимость таких планов аварийных мероприятий могут влиять некоторые особенности площадки и окружающей местности, и эти факторы учитываются при первоначальном рассмотрении площадки. Для будущих АЭС меры аварийной защиты, с учетом целей,

установленных в пунктах 25 и 27, могут быть уменьшены как в отношении площади охвата, так и времени применения.

#### **4.1.4. Обеспечение конечного поглотителя тепла**

142. *Принцип: на площадке, выбранной для АЭС, имеется надежный долгосрочный поглотитель тепла, который может осуществлять отвод энергии, генерируемой станцией в остановленном состоянии, как непосредственно после останова, так и в более долгосрочной перспективе.*

143. В некоторых случаях, если не приняты надлежащие проектные меры предосторожности, чрезвычайные условия таких событий, как землетрясения, наводнения и смерчи могут создать опасность отсутствия конечного поглотителя тепла. Следует отметить, что в качестве конечного поглотителя тепла, удовлетворяющего требованиям, может быть выбран атмосферный воздух, если проект обеспечивает, что система теплоотвода, основанная на использовании этого поглотителя тепла, может противостоять любым принимаемым во внимание чрезвычайным внешним событиям.

## **4.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

144. Важнейшая цель проектировщиков атомной электростанции заключается в разработке качественного проекта. Они обеспечивают, чтобы элементы, системы и конструкции станции обладали подходящими характеристиками, соответствовали требованиям, были выполнены из соответствующих материалов и были сгруппированы и расположены таким образом, чтобы выполнялись общие технические требования к функционированию станции. Технические характеристики станции соответствуют установленному назначению по таким показателям, как электрическая мощность; прогнозируемый срок службы, маневренность для удовлетворения требованиям энергосистемы и, что особенно важно, соответствуют требованию достижения целей безопасности, определенных в разделе 2 данного доклада, и удовлетворяют принципам безопасности, предоставленным в разделах 3 и 4. Проектировщики предусматривают также систему документального фиксирования проектных основ безопасности станции для сохранения соответствия этим проектным основам при изменениях проекта, которые происходят при сооружении и вводе в эксплуатацию. На этапе проектирования внимание уделяется потребностям и профессиональным способностям персонала, который в конечном итоге

будет эксплуатировать станцию, а также требованию, касающемуся предоставления проектировщиком информации и практических рекомендаций для включения в эксплуатационные процедуры. Принимаются проектные решения, направленные на достижение первоочередной задачи безопасности – предотвращения аварий. Особое внимание уделяется также предотвращению и ослаблению таких последствий аварий, которые могут привести к крупному выбросу радиоактивных материалов со станции.

145. В проекте реактора безопасность связана с контролем местонахождения, перемещения и состояния радиоактивных материалов внутри станции, чтобы удерживать их в безопасном состоянии. В твердотопливном реакторе почти все радиоактивные материалы удерживаются в топливных таблетках, закупоренных внутри непроницаемого барьера, обычно в виде металлической оболочки топлива. Безопасность таких реакторов обеспечена, если радиоактивные материалы удерживаются внутри топлива и в пределах других барьеров, предусмотренных в проекте.

146. Проектировщики систем безопасности анализируют поведение станции в широком диапазоне условий. Сюда входят условия нормальной эксплуатации и различные условия, возникающие при маневрировании. Включаются также ожидаемые аномальные события и необычные события, которым станция благодаря своим нормальным характеристикам и инженерно-техническим средствам безопасности должна противостоять без неприемлемых повреждений. Используются преимущества внутренне присущих характеристик безопасности конструкций. При проектировании рассматриваются также запроектные аварии, с тем чтобы наиболее тяжелые из них были эффективно смягчены мерами управления аварией и аварийной готовности.

147. В будущих проектах будет проводиться оценка других множественных отказов и серьезных повреждений активной зоны, в соответствии с целями, указанными в пунктах 25 и 27.

148. Большинство аспектов безопасного проекта тесно связано со следующими тремя функциями, которые защищают от выброса и распространения радиоактивных материалов:

- управление мощностью реактора;
- охлаждение топлива;
- удержание радиоактивных материалов внутри соответствующих физических барьеров.

#### 4.2.1. Процесс проектирования

149. Конкретные принципы проектирования разделены на три группы: принципы, связанные с общим процессом проектирования безопасной АЭС, которая должна быть; принципы, излагающие общие вопросы, которые учитываются в проекте станции для обеспечения ее безопасности; принципы, излагающие более конкретные характеристики.

##### 4.2.1.1. Управление проектированием

150. *Принцип: назначение и распределение ответственности за безопасность четко определены на всех этапах проектирования электростанции и во время внесения любых последующих модификаций.*

151. Проектирование безопасной станции возглавляет высококвалифицированный инженерно-технический руководитель, чья позиция и действия отражают культуру безопасности, и который обеспечивает реализацию всех требований безопасности и регулирующих требований. Различные аспекты проектирования могут обеспечиваться различными подразделениями центральной проектной группы и другими субподрядными группами по конкретным частям проекта. Для каждого из этих видов деятельности необходимо достаточное количество квалифицированных работников. Инженерно-технический руководитель устанавливает совокупность четких взаимосвязей между группами, участвующими в различных частях проектирования, и между конструкторами, поставщиками и строителями.

152. Проектный коллектив участвует в подготовке документации по техническому обоснованию безопасности и другой важной для безопасности документации. В него входит также координационная группа, несущая ответственность за обеспечение выполнения всех требований безопасности. Эта группа знакома с особенностями и ограничениями элементов, используемых в проекте. Она поддерживает связь с будущим эксплуатационным персоналом, чтобы учесть его требования в проекте и обеспечить соответствующий вклад проектировщика в эксплуатационные процедуры по мере их подготовки, а также в планирование и проведение подготовки персонала. Группа имеет прямой доступ к руководителю проекта, но не обязательно непосредственно подчиняется ему.

153. В соответствии с основополагающим принципом, приведенном в разделе 3.3.2, обеспечение качества применяется ко всей проектной деятельности, важной для безопасности. Одним из важных элементов этой деятельности является контроль конфигурации, обеспечивающий с первых шагов эффективную документальную фиксацию проектных основ безопасности и последующее их обновление в случае внесения проектных изменений.

#### *4.2.1.2. Апробированная технология*

154. *Принцип: в проекте используются технологии, проверенные опытом и подтвержденные испытаниями. Внедрение новых важных проектных решений или новых типов реакторов осуществляется только после тщательных научных исследований и прототипных испытаний на уровне элементов, систем или, по возможности, станции.*

155. Данный принцип представляет собой конкретное применение к проектированию атомной электростанции основополагающего принципа, отраженного в разделе 3.3.1. Согласно упорядоченной инженерно-технической практике, необходим тщательный баланс между технологическими нововведениями и установившимися техническими решениями. Проектирование осуществляется на основе соответствующих национальных или международных стандартов, в особенности – специальных стандартов для ядерной области, которые одобрены профессиональным инженерно-техническим сообществом и признаны компетентными национальными или международными организациями. Эти стандарты отражают инженерно-техническую практику, проверенную прошлым опытом. Тем не менее, всегда нужно учитывать необходимость и значение улучшений, выходящих за рамки установившейся практики. Эти улучшения прежде всего доводятся до уровня «апробированной технологии» путем соответствующих испытаний, включающих, в случае необходимости, использование масштабных прототипов.

156. Примером такого баланса между апробированной технологией и технологическими нововведениями может служить проявляемый в последнее время интерес к пассивным средствам защиты и их широкое применение. При проектировании самым обстоятельным образом учитываются преимущества и недостатки этих пассивных средств. К существенным преимуществам этих средств относятся независимость от внешних систем энергоснабжения, таких как электропитание, в целом большая простота и потенциал повышения надежности. Недостатки включают более низкий движущий напор в гидравлических системах и меньшую гибкость

в аномальных условиях. Кроме того, следует обращать особое внимание на ограниченность имеющихся данных по функционированию пассивных систем; необходима соответствующая экспериментальная и аналитическая проверка их функционирования. Наконец, для режимов пуска и останова по-прежнему могут быть востребованы активные элементы.

157. В большинстве инженерных технологий требуется применение аналитических методов. Физические и математические модели, используемые при проектировании, подтверждаются экспериментальными или эксплуатационными испытаниями и анализом данных. Результаты более сложных анализов проверяются с помощью соответствующих реперных вычислительных экспериментов, стандартных испытаний или независимых экспертных рассмотрений. В тех случаях, когда это возможно, для прогнозирования характеристик станции, запасов безопасности и развития аварийных условий используются данные реалистического моделирования. В тех случаях, когда реалистическое моделирование неосуществимо, применяются консервативные модели.

#### *4.2.1.3. Общая основа проекта*

158. *Принцип: атомная электростанция проектируется с учетом ряда событий, в число которых входят нормальные условия, ожидаемые при эксплуатации события, чрезвычайные внешние события и аварийные условия. С этой целью для установления проектных требований применяются консервативные правила и критерии, в которых учтены запасы безопасности. Проводится всесторонний анализ для оценки характеристик безопасности и/или возможностей различных элементов и систем станции.*

159. Различные события, к которым станция должна быть приспособлена, классифицируются в соответствии с вероятностью их возникновения. В проекте внимание уделяется обеспечению того, чтобы события, классифицируемые как нормальные эксплуатационные события, и события, возникновение которых вполне можно ожидать за время службы станции, не могли нанести каких-либо повреждений станции. Гораздо меньшей степенью вероятности характеризуются комбинации ошибки человека и механического отказа, которые могли бы угрожать защите, которую обеспечивают внутренне присутствующие свойства и обычные системы станции.

160. В проект станции включают, как об этом говорилось в разделе 3.3, инженерно-технические системы безопасности, для защиты от возможности

возникновения классов аварий, которые могли бы в отсутствие таких систем внести значительный вклад в риск, или для смягчения последствий подобных аварий. Выполненные при проектировании оценки инженерно-технических систем безопасности должны давать гарантию отсутствия каких бы то ни было пересекающихся взаимодействий с другими независимыми системами, что может пагубно отразиться на функционировании систем безопасности. Любая инженерно-техническая система безопасности проектируется для предотвращения или ослабления конкретного спектра аварий. Те аварии из данного спектра, которые более всего нагружают элементы какой-либо системы безопасности, называются проектными авариями для этой системы. Станция и инженерно-технические средства безопасности проектируются таким образом, чтобы ни одна из таких аварий или последовательностей аварий не вносила преобладающий вклад в суммарный риск. При проектировании внимание уделяется требованиям к таким видам будущей деятельности, как техническое обслуживание и периодические испытания, с целью обеспечения постоянного выполнения данного принципа.

161. Все элементы, конструкции и системы можно классифицировать на основании их функции и значимости для безопасности, что дает основу для определения сводов положений, норм и других требований, применяемых при проектировании, сооружении, эксплуатации, обслуживании, аттестации по условиям окружающей среды и инспекции.

162. Для будущих АЭС при оценке учитываемых на этапе проектирования дополнительных путей развития аварий, вызываемых множественными отказами и серьезными повреждениями активной зоны, будут применяться реалистичные допущения и анализ в наилучшем приближении.

#### **4.2.2. Общие проектные решения**

163. Вторая группа конкретных принципов безопасности, влияющих на проект АЭС, связана с некоторыми общими особенностями станции, формируемыми для обеспечения ее безопасности.

##### *4.2.2.1. Системы управления технологическими процессами станции*

*164. Принцип: нормальная эксплуатация и ожидаемые при эксплуатации события контролируются таким образом, чтобы переменные параметры станции и ее систем оставались в пределах проектных значений. Это снижает частоту требований на срабатывание систем безопасности.*

165. Для важных нейтронно-физических и термогидравлических переменных параметров станции устанавливаются рабочие диапазоны, заданные значения срабатывания системы аварийной защиты и пределы безопасности. Пределы безопасности представляют собой крайние значения переменных параметров, при достижении которых, согласно консервативному анализу, могут начаться нежелательные или неприемлемые повреждения станции. Заданные значения срабатывания системы аварийной защиты представляют собой менее опасные значения переменных, при достижении которых в результате какого-либо ожидаемого эксплуатационного события, неправильного функционирования или отказа оборудования, происходит инициация защитных действий автоматики, например, запрограммированное снижение мощности, остановка станции или даже более существенные ответные действия (см. принцип в разделе 4.2.2.2, касающийся автоматических систем безопасности). Указанные значения устанавливаются таким образом, чтобы переменные параметры станции не достигали пределов безопасности. Рабочий диапазон, т.е. область, в которой происходит нормальная эксплуатация, ограничен значениями переменных величин, не выходящими за пределы указанных заданных значений. С целью удержания параметров в предписанных пределах постоянно работают автоматические органы управления. Неисправности, влияющие на автоматические органы управления, оперативно устраняются.

166. Важно, чтобы действия на отключение не происходили слишком часто, особенно тогда, когда они не требуются для защиты станции или населения. Это не только нарушает нормальное, продуктивное использование станции, но и может явиться причиной снижения безопасности из-за последствий внезапных и скачкообразных изменений и привести к излишнему износу, который может угрожать надежности систем безопасности.

167. Таким образом, наиболее важные нейтронно-физические и термогидравлические переменные параметры автоматически удерживаются в рабочем диапазоне. Это осуществляется посредством систем обратной связи, которые действуют на электрические и механические средства управления в момент, когда переменные параметры начинают выходить за рамки рабочего диапазона. Тем самым происходит восстановление нормального состояния эксплуатации. Пределы диапазона нормальной эксплуатации выбираются таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации действия обратной связи предотвращали достижение переменными параметрами заданных значений срабатывания систем аварийной защиты.

#### 4.2.2.2. Автоматические системы безопасности

168. *Принцип: предусмотрены автоматические системы безопасной остановки реактора, поддержания его в остановленном и охлаждаемом состоянии и ограничения любого выхода продуктов деления, который, возможно, мог бы произойти, если бы эксплуатационные условия превысили определенные заранее заданные значения.*

169. Несмотря на высокое качество проектирования и строительства, а также на наличие всех средств саморегулирования атомной электростанции, ожидается, что по внутренним или внешним для станции причинам иногда может произойти последовательность событий, превышающая защитные возможности нормальных систем управления станции. Такие гипотетические отказы представляют собой широкий диапазон инициаторов аварий, с учетом которых производится оценка проекта. Предусматриваются необходимые инженерно-технические средства безопасности, которые даже при наиболее тяжелых из этих проектных аварий обеспечат ограничение повреждения станции, в особенности повреждения активной зоны. При таких обстоятельствах мощность реактора будет под контролем, охлаждение активной зоны будет поддерживаться, а радиоактивные материалы, высвободившиеся из топлива, будут удержаны соответствующими физическими барьерами.

170. Действия в обход автоматических систем безопасности предотвращаются жесткими требованиями. На существующих и будущих станциях уделяется внимание улучшению систем безопасности с точки зрения надежности и времени срабатывания.

171. Срабатывание и действие инженерно-технических средств безопасности является высоконадежным. Такая надежность достигается путем соответствующего использования отказобезопасных проектных решений, защитой от отказов по общей причине, а также за счет независимости систем безопасности от технологических систем станции. Конструкция этих систем обеспечивает исключение потери функций, выполняемых системами безопасности в результате отказа какого-либо одного элемента (критерий единичного отказа). В тех случаях, когда какая-либо система должна выполнять две функции: функцию безопасности и технологическую, особое внимание уделяется обеспечению того, чтобы ожидаемое или непреднамеренное выполнение функции технологического управления не оказывало влияние на функцию безопасности.

172. Апробированная инженерно-техническая практика, опыт эксплуатации и анализ безопасности требуют высокой надежности электрических и контрольно-измерительных систем, применяемых в системах безопасности. Многие механические и гидравлические системы, которые служат для останова реактора, охлаждения топлива и удержания радиоактивных материалов, зависят от электроснабжения, необходимого для работы их активных элементов, индикации их состояния и управления их работой. Таким образом, надежность систем безопасности определяется надежностью обеспечивающих их работу электрических, гидравлических и контрольно-измерительных систем. В случае модернизации или перевооружения контрольно-измерительных систем, важных для безопасности действующих АЭС, необходимо принимать во внимание взаимодействие с имеющимися устройствами и окружающие условия, такие как условия, относящиеся к энергоснабжению, вспомогательному оборудованию и электромагнитным помехам.

173. В проекте станции предусмотрена возможность испытания автоматических систем безопасности в течение всего срока службы станции, в также, когда это возможно, автоматическое самотестирование. Условия испытаний как можно точнее воспроизводят эксплуатационные условия.

#### 4.2.2.3. Целевые показатели надежности

174. *Принцип: для систем или функций безопасности устанавливаются целевые показатели надежности. Эти показатели устанавливаются на основе целей безопасности и соответствуют роли этих систем или функций при различных путях развития аварии. Предусматриваются испытания и инспектирование элементов и систем, для которых установлены целевые показатели надежности.*

175. Общее проектное требование высокой надежности систем и функций безопасности реализуется в виде конкретных целевых показателей надежности. При формулировании целевых показателей надежности учитываются надежность вспомогательных систем, необходимых для работы систем или функций безопасности, таких как электроснабжение или система охлаждающей воды. Устанавливаются соответствующие показатели надежности для обеспечения срабатывания по требованию и работы в течение заданного времени. Эти целевые показатели основываются на инженерно-техническом анализе. Для определения требуемой надежности систем и функций безопасности полезны детальные вероятностные методы. Вне зависимости от того, каким образом устанавливаются целевые показатели надежности, во время проектирования проводится анализ надежности для обеспечения соответствия

систем и функций безопасности целевым показателям. Для демонстрации того, что целевые показатели надежности не нарушаются во время срока службы станции, применяются функциональные испытания и моделирование систем. Необходимость постоянно гарантировать надежность во время эксплуатации налагает на проектировщика требование создать такие системы, которые допускают возможность своего тестирования в процессе эксплуатации и, если это возможно, в рабочих условиях и по реальным сигналам на срабатывание.

176. Для некоторых систем целевые показатели надежности, возможно, превысят те значения, которые могут быть продемонстрированы. Если необходимо обеспечить такую большую функциональную надежность, используют дополнительные независимые системы, каждая из которых способна выполнить установленную функцию безопасности. Разнопринципность и физическое разделение этих систем позволяют уменьшить возможность отказов по общей причине.

#### *4.2.2.4. Зависимые отказы*

177. *Принцип: проектные меры направлены на предотвращение потери функций безопасности в результате повреждения нескольких элементов, систем или конструкций по общей причине.*

178. Соответствующий проектный метод, направленный на предотвращение одновременного повреждения нескольких систем, определяется конкретными обстоятельствами. Используемые методы включают физическое разделение расстоянием или с помощью барьеров, защитные барьеры, резервирование в сочетании с разнопринципностью и аттестацию на устойчивость к повреждениям.

179. Некоторые события по общей причине, которые должны быть рассмотрены, могут иметь по отношению к станции внутреннее происхождение. Сюда входит: потеря общих источников электроснабжения, исчерпание запасов топлива для дизель-генераторов, потеря общих обеспечивающих функций, пожары, взрывы, затопления, летящие предметы в результате разрушения вращающихся частей или элементов, находящихся под давлением, взаимодействие систем, ошибки проектирования, эксплуатации, технического обслуживания или испытаний. Учитываются также отказы из-за необнаруженных дефектов изготовления и сооружения. Внешние для станции события по общей причине включают природные явления, такие как землетрясение, сильные ветры, наводнения, а также такие события, вызванные деятельностью человека, как падение самолета, перенос облака взрывоопасных

веществ, пожары и взрывы, которые могут произойти в результате деятельности, не связанной с атомной электростанцией. В том случае, если на площадке расположено несколько энергоблоков, события, которые могут произойти на одних блоках площадки, рассматриваются в качестве дополнительных внешних исходных событий для других.

180. Ввиду важности пожара как источника возможного одновременного повреждения нескольких элементов особое внимание в проекте станции уделяется противопожарным мерам. Насколько это возможно, на станции применяются огнестойкие материалы. В проектные технические условия включаются средства пожаротушения. Системы смазки проектируются таким образом, чтобы в них применялись негорючие смазочные материалы, или предусматривалась защита от возгорания и последствий пожаров. В проекте используются определенные методы предотвращения отказов по общей причине.

181. Среди чрезвычайных внешних опасностей, от которых предусматривается защита, особое внимание заслуживают сейсмические явления из-за серьезности угрозы, которую могут представлять землетрясения для безопасности. Атомная станция защищается от землетрясений двумя способами, а именно: путем ее размещения вдали от районов, активной геотектонической деятельности, либо существуют другие проблемы, не связанные с колебаниями земной коры (такие как ожигание почв или оползни), а также путем проектирования физических барьеров и систем безопасности, участвующих в глубокоошелонированной защите, на устойчивость к вибрационным нагрузкам, ассоциируемым с наиболее сильными землетрясениями, которые можно ожидать в районе станций на основе анализа, включающего исторический опыт и данные о тектонической активности. Такие землетрясения называются проектными. Сейсмостойкий проект станционных конструкций, элементов и систем выполняется с применением метода функций реакции, использующего соответствующий данной площадке спектр частот проектного землетрясения. В сейсмостойком проекте учитывается взаимодействие между грунтом и конструкциями, потенциальное усиление и изменение сейсмического движения конструкций станции и взаимодействие между элементами, системами и конструкциями. Проект обеспечивает, что в случае землетрясения отказ оборудования, не связанного с безопасностью, не повлияет на характеристики безопасности.

#### 4.2.2.5. Аттестация оборудования

182. *Принцип: в проекте предусматриваются такие элементы и системы безопасности, которые аттестуются применительно к окружающим условиям, существующим в тот период, когда возникнет необходимость в функционировании этих элементов и систем. В проекте и при аттестации для функционирования в нормальных и аномальных условиях учитываются эффекты старения.*

183. Условия, при которых требуется, чтобы оборудование выполняло функцию безопасности, могут отличаться от условий, в которых оно обычно находится, и на его характеристики могут повлиять старение или рабочие условия, которым оно подвергается при эксплуатации станции. Проектирование включает идентификацию условий окружающей среды, при которых оборудование должно функционировать. Сюда входят условия, ожидаемые при широком спектре аварий, включая крайние значения температуры, давления, излучения, вибрации, влажности, ударной силы струи, в том числе – их совместное действие, а для будущих АЭС – тяжелые аварии, в соответствии с целями, изложенными в пункте 25. Учитываются также последствия внешних событий, таких как землетрясение.

184. Требуемая надежность должна поддерживаться в течение всего срока службы станции. При проектировании уделяется внимание отказам по общей причине из-за эффектов старения, а также влиянию эффектов старения на способность противостоять условиям окружающей среды, возникающим при проектных авариях. Старение учитывается в проекте посредством соответствующего указания конкретных окружающих условий, технологических условий, рабочих циклов, графиков технического обслуживания, срока службы, графиков стандартных испытаний, заменяемости деталей и интервалов их замены.

185. Предпочтительно, чтобы аттестация проводилась на основе испытаний прототипного оборудования. Это не всегда осуществимо на практике применительно к вибрационным испытаниям крупных элементов или старению оборудования. В таких случаях используются результаты анализа или испытаний плюс анализа.

#### *4.2.2.6. Возможности инспектирования оборудования систем безопасности*

186. *Принцип: связанные с безопасностью элементы, системы и конструкции проектируются и сооружаются таким образом, чтобы их можно было инспектировать в течение всего срока службы для подтверждения их постоянной пригодности к работе с соответствующим запасом безопасности.*

187. Для демонстрации реализации мер безопасности в течение всего срока службы станции проводятся инспекции в процессе эксплуатации. В проекте предусматривается доступ для инспектирования, простота и периодичность инспекций. Особого внимания заслуживает требование об инспектировании в процессе эксплуатации границы контура первичного теплоносителя ввиду ее огромного значения для сохранения теплоносителя и в связи с теми условиями, в которых находится граница первого контура в течение длительного периода. При проектировании также тщательно рассматриваются вопросы радиационной защиты персонала в процессе эксплуатационных инспекций оборудования безопасности. При проектировании внимание уделяется обеспечению возможности инспектирования также и других систем безопасности, в частности, электрических кабелей, разъединителей, проходок границы системы локализации, систем охлаждения и смазки, элементов с органическими и другими материалами, которые могут утрачивать свои качества в результате старения или облучения.

#### *4.2.2.7. Радиационная защита в проекте*

188. *Принцип: для защиты персонала от радиационного воздействия и для поддержания выбросов радиоактивных эфлюентов в установленных пределах на стадии проектирования предусматриваются меры радиационной защиты.*

189. Проектировщики предусматривают защиту эксплуатационного и обслуживающего персонала от непосредственного излучения и от загрязнения радиоактивными материалами. При проектировании систем радиоактивных отходов принимаются меры по консервативному соблюдению санкционированных пределов. Проект содержит положения, обеспечивающие, что все элементы станции, содержащие радиоактивные материалы, снабжены соответствующей защитой, а радиоактивные материалы надежно локализируются. Эта защита является эффективной при повседневных операциях; она полезна также и в нестандартных обстоятельствах, таких как ремонт и техническая

модификация, когда осуществляются более разнообразные действия. Требования радиационной защиты учитываются при проектировании конфигурации станции; при этом уделяется внимание правильному расположению элементов и систем станции, требованиям экранирования, локализации радиоактивных материалов, возможностям доступа, контроля доступа, необходимости контроля и регулирования рабочих условий и дезактивации. Рассматривается применение материалов, которые не становятся чрезмерно радиоактивными с большими периодами полураспада вследствие нейтронного облучения, предотвращению таких проектных решений, которые способствуют накоплению активированного материала в труднодоступных местах, и применению отделки поверхностей, облегчающей дезактивацию. В проект станции включаются средства дозиметрического контроля персонала и помещений и дезактивации персонала.

190. На стадии проектирования также уделяется внимание радиационной защите на этапе снятия станции с эксплуатации. После окончания срока эксплуатации станции и удаления всего ядерного топлива на площадке останутся значительные количества радиоактивных материалов. Внимание уделяется выбору материалов, которые будут обладать низкой остаточной радиоактивностью в сроки, важные для снятия с эксплуатации, а также наличию удобного доступа для демонтажа.

### **4.2.3. Конкретные проектные решения**

191. Для выполнения конкретных функций безопасности требуются особые проектные решения.

#### *4.2.3.1. Защита при аварийных изменениях мощности*

192. *Принцип: реактор проектируется таким образом, чтобы защита от аварий, вызываемых ростом реактивности, была обеспечена с консервативным запасом безопасности.*

193. Авария, вызываемая ростом реактивности, – это авария, при которой происходит увеличение реактивности либо глобально, либо локально, вследствие чего мощность реактора превышает интенсивность теплоотвода, что в итоге вызывает повреждение топлива. Для противодействия такому увеличению реактивности важными являются две характерные особенности атомной станции. Одна состоит в отрицательной обратной связи по реактивности; вторая суть система, которая вводит поглотитель нейтронов или уменьшает реактивность иными способами для компенсации роста

реактивности или снижения энерговыделения. Проектные решения влияют на обе характеристики. Отрицательные коэффициенты обратной связи по реактивности не могут исключительно сами по себе предотвратить все возможные аварии, вызываемые ростом реактивности, или повреждения в результате таких аварий; тем не менее, во многих случаях они могут эффективно делать это за счет своего стабилизирующего влияния. Поэтому в проекте активной зоны реактора обычно частично используются такие внутренне присущие особенности для помощи в предотвращении аварий, вызываемых ростом реактивности. Для случаев, когда одни лишь внутренне присущие характеристики не могут предотвратить аварии, вызываемые ростом реактивности, создаются системы управления для обеспечения эффективного управления реактивностью при всех эксплуатационных условиях. Система аварийного останова реактора проектируется так, чтобы надежно и эффективно обеспечить своевременное подавление мощностных переходных процессов, вызываемых ростом реактивности, и предотвратить повреждения активной зоны по этой причине. Весьма важно добиться достижения этой цели, в этой связи обеспечивается, чтобы комбинация внутренне присущих средств обратной связи, системы контроля реактивности и системы аварийного останова достигала своих целей с хорошим запасом безопасности. Это требует экспериментального и аналитического обоснования соответствующей надежности системы останова, а также анализа, призванного подтвердить, что последствия возможных переходных процессов не будут недопустимыми. Кроме того, предусматриваются надежные средства предотвращения быстрого (ударного типа) разбавления бора (для реакторов с водой под давлением).

194. Внимание уделяется обеспечению того, чтобы внешние события, отказы оборудования и ошибки человека не могли привести к авариям, вызываемым ростом реактивности. Помимо этого, внимание обращается на предотвращение аварий, вызываемых ростом реактивности, которые могут произойти в результате действий, источник которых находится за пределами нормальной эксплуатации станции. Наиболее важные проектные меры, которые должны быть приняты, – это меры, которые сочетают ограничение скорости извлечения корректирующих, управляющих и аварийных стержней со стратегией управления стержнями и системами автоматического управления и защиты, чтобы добавление или извлечение одного управляющего стержня в реакторе с перегрузкой на мощности не могло привести к переходному процессу, который стал бы причиной существенного повреждения активной зоны, и чтобы критичность не возникала во время процесса загрузки в реакторе с периодической перегрузкой топлива. Извлечение какого-либо одного

управляющего стержня на полностью остановленном реакторе не приводит к критичности активной зоны реактора.

#### 4.2.3.2. Целостность активной зоны реактора

195. *Принцип: активная зона проектируется так, чтобы была обеспечена ее механическая устойчивость. Она проектируется таким образом, чтобы быть устойчивой к ожидаемому изменению эксплуатационных параметров в определенном диапазоне. Активная зона имеет такую конструкцию, которая не допускает, чтобы ожидаемая деформация или перемещение активной зоны во время проектной аварии снижали эффективность системы управления реактивностью либо системы аварийного останова реактора или препятствовали охлаждению топлива.*

196. Если существует резкий радиальный градиент тепловыделения в активной зоне реактора, он создает тенденцию к деформации и смещению топливных стержней. Если этому не противодействовать, может произойти деформация активной зоны, что может инициировать изменения реактивности или помешать вводу стержней либо элементов управления и защиты. В некоторых подобных случаях деформация такого типа может повлиять на гидравлические диаметры конкретных каналов теплоносителя, и, следовательно, на охлаждение топлива. Если не учитывать пространственные изменения в графите под действием излучения, то подобные эффекты могут быть вызваны также радиационными повреждениями в активных зонах с графитовым замедлителем. Для предотвращения нежелательных эффектов тепловой, механической и радиационной деформации активной зоны могут потребоваться некоторые меры предосторожности, такие как ограничительные устройства.

197. Механические ограничители предотвращают вибрации топливных стержней из-за теплогидравлических эффектов. Это, в свою очередь, предотвращает колебания нейтронно-физических параметров и излишнюю фреттинг-коррозию и износ оболочек. Тепловыделяющие сборки и другие элементы активной зоны ограничиваются таким образом, чтобы резкие изменения в положении не могли привести к внезапным или большим изменениям реактивности. Уделяется внимание тому, чтобы сами ограничивающие устройства не создавали проблем безопасности.

198. С целью проверки геометрической устойчивости активной зоны в случае возможных землетрясений, переходных процессов и других динамичных

воздействий, которым она может подвергаться, проводится подкрепленный соответствующими экспериментами анализ.

199. Важное требование безопасности – это высокое качество топливных стержней. Повреждение или деформация топлива могут воспрепятствовать процессу снижения реактивности и охлаждения. Более того, отказ оболочки топливного стержня представляет собой нарушение одного из основных барьеров глубокошелонированной защиты. Менее серьезное повреждение может уменьшить способность топлива противостоять аварийным условиям. По этим причинам при проектировании и изготовлении топлива принимаются специальные меры по обеспечению качества. Постоянная целостность топлива подтверждается путем контроля уровня радиоактивности теплоносителя во время эксплуатации.

#### *4.2.3.3. Системы автоматического останова*

200. *Принцип: в целях обеспечения безопасности в проекте предусматривается независимый от оборудования и процессов, используемых для управления мощностью реактора, быстродействующий и высоконадежный способ снижения реактивности. Функция аварийного останова обеспечивается во всех случаях, когда предпринимаются преднамеренные шаги для осуществления самоподдерживающейся цепной реакции или когда цепная реакция может начаться случайно.*

201. Системы аварийного останова являются функционально независимыми от систем управления реактивностью, используемых при нормальной эксплуатации реактора. В них могут применяться общие датчики или другие устройства только в случаях, когда анализ надежности указывает на приемлемость такого решения. При всех условиях, учитываемых в проекте, когда в активной зоне достигнута или может быть достигнута критичность, механизмы аварийного останова с достаточной отрицательной реактивностью находятся в состоянии готовности, с тем чтобы в случае необходимости они могли осуществить безопасный останов реактора. Для некоторых последовательностей развития аварии важным параметром является скорость увеличения реактивности, и требуются конструктивные меры для ее ограничения пределами, определенными в проектной основе. Электропроводка и логические цепи системы останова отделены от приборов, используемых для нормального управления таким образом, чтобы какая-либо возможность взаимного влияния требований нормального управления и требований аварийного останова отсутствовала. Системы аварийного останова

могут быть безопасно отключены только в случае, если реактор находится в заранее определенном «гарантированном заглушенном состоянии» с достаточной подкритичностью.

202. Одним из маловероятных событий, которое должно быть проанализировано, является отказ системы автоматического останова в случае, когда имелаась необходимость в ее срабатывании. Сценарий существенно зависит от конкретной станции, и он может меняться также в зависимости от обстоятельств, при которых выдается сигнал на автоматический останов. Следствием может явиться избыточный рост реактивности, избыточное давление в первом контуре, избыточные температуры топлива или некоторые другие потенциальные причины повреждения станции. Станция проектируется таким образом, чтобы эти ожидаемые переходные режимы без срабатывания аварийной защиты (ATWS) не повышали бы риск значительным образом, что соответствует технической цели безопасности, указанной в разделе 2.3. Это достигается путем существенного снижения вероятности такой аварии или принятия мер к тому, чтобы она не могла привести к серьезному повреждению активной зоны. Внимание к предотвращению таких аварий или ограничению их последствий обеспечивает достижение цели безопасности даже с учетом подобного отказа в защите станции.

#### 4.2.3.4. *Нормальный теплоотвод*

203. *Принцип: для обеспечения высоконадежного отвода тепла при нормальной эксплуатации в проекте предусматриваются системы теплоотвода. Они служат также средством для отвода тепла из активной зоны реактора в связи с ожидаемыми при эксплуатации событиями и в связи с большей частью тех типов аварий, которые могут произойти.*

204. Система теплоотвода первого контура является надежным средством охлаждения при нормальной эксплуатации. Она является также предпочтительным средством теплоотвода после останова реактора и отвода тепла остаточного энерговыделения после какого-либо аномального события или в большинстве аварийных случаев. Альтернативным средством в выполнении этой важной функции безопасности по удалению остаточного тепла могут служить другие системы, которые не обязательно являются системами безопасности, но используются при нормальной эксплуатации реактора. Их наличие и готовность дополняют глубокоэшелонированную защиту. Например, во время пожара на АЭС «Браунс-Ферри» в 1975 году для

поддержания запаса теплоносителя реактора использовались насосы приводов стержней управления.

#### 4.2.3.5. Пуск, останов и работа на малой мощности

205. *Принцип: элементы, конструкции и системы, используемые при пуске, работе на малой мощности и останове, проектируются таким образом, чтобы обеспечить сохранение или восстановление контроля реактивности, удаление остаточного тепла и целостность барьеров удержания продуктов деления, что позволяет предотвращать выброс радиоактивного материала вследствие аварий, возможных при таких режимах работы*

206. При эксплуатации на малой мощности или в остановленном состоянии станционные условия могут отличаться от условий, соответствующих работе на полной мощности (см. пункт 62). В режиме малой мощности коэффициенты реактивности могут принимать иные значения, и станция может работать в диапазоне параметров, далеко отстоящим от заданных значений определенных средств автоматической защиты. В остановленном состоянии возможно осуществление перегрузки топлива, система охлаждения реактора и защитная оболочка могут быть разуплотнены, а различные системы и элементы могут пребывать в нерабочем состоянии из-за ремонта или замены. Для проектировщика реактора и эксплуатирующей организации важно принять во внимание эти условия, чтобы предусмотреть в проекте достаточное резервирование, надежность и возможности оборудования, в том числе – контрольно-измерительного, что обеспечит надлежащее выявление условий, которые могут вести к превышению установленных пределов, и защиту в такой ситуации. Сюда включается рассмотрение условий потери запаса теплоносителя, теплоотвода и контроля реактивности.

#### 4.2.3.6. Аварийный теплоотвод

207. *Принцип: предусматриваются альтернативные средства, позволяющие восстановить и поддерживать охлаждение топлива при аварийных условиях даже в случае отказа системы нормального теплоотвода или нарушения целостности границы системы охлаждения первого контура.*

208. Некоторые аномальные условия могут привести к нарушению возможностей теплоотвода всеми нормальными активными системами станции. В реакторах определенного типа для отвода остаточного тепла в

этих обстоятельствах может быть достаточно естественной циркуляции, при условии, что граница теплоносителя первого контура не нарушена, а во втором контуре поддерживается некоторая способность теплоотвода. В других случаях, при которых может произойти серьезное повреждение активной зоны, если не предусмотрено альтернативных путей удаления тепла, необходимо обеспечить возможность аварийного теплоотвода. Такая возможность включает системы удаления остаточного тепла, системы аварийного охлаждения активной зоны и аварийные системы подачи питательной воды, чтобы обеспечить отвод тепла от второго контура. В прошлом было обнаружено, что ненадежность теплоотвода после останова реактора вносит существенный вклад в суммарный риск для некоторых атомных электростанций. Необходимость высоконадежного теплоотвода после останова привела в ряде случаев к рассмотрению возможностей использования специальных систем охлаждения, таких как целевые и защищенные системы отвода остаточного тепла и системы на основе естественной циркуляции или теплопроводности. В качестве конечного поглотителя тепла иногда рассматривается атмосферный воздух.

#### *4.2.3.7. Целостность системы теплоносителя реактора*

*209. Принцип: своды правил и нормы, относящиеся к корпусам и трубопроводам, дополняются дальнейшими мерами по предотвращению в любое время в течение всего срока службы станции возникновения условий, которые могут привести к повреждению границы системы первого контура.*

210. Граница первого контура представляет собой критическую систему, поскольку ее нарушение может привести к уменьшению возможностей охлаждения топлива, и, в экстремальных случаях, к потере функции локализации радиоактивного топлива. Особое значение в этой связи имеет корпус высокого давления реактора, поскольку катастрофический отказ этого элемента недопустим.

211. Что касается всех элементов первого контура и, в особенности, корпуса реактора, то самое серьезное внимание должно уделяться проектированию, выбору материалов, изготовлению, монтажу, инспекциям и испытаниям; при этом особый акцент делается на использование установленных сводов положений, а также на привлечение опытных поставщиков, и пристальное внимание должно уделяться достижению высокого качества. Проводится анализ, демонстрирующий, что конструкции способны выдержать напряжения, которые могут возникнуть в условиях наиболее экстремальных нагрузок.

212. Во время изготовления и после него проводятся разнообразные инспекции границы первого контура. В них используются ультразвуковые, радиографические обследования и методы контроля поверхностей. Испытания гидравлических систем избыточным давлением до значений, заметно превышающих ожидаемые при эксплуатации, подтверждают прочность системы до того, как она становится радиоактивной.

213. Выполняется анализ прочности металлических компонентов границы первого контура на основе предположения, что при изготовлении могли возникнуть достаточно небольшие по размерам дефекты, которые не были обнаружены в последующем процессе контроля из-за своих малых размеров. Такой анализ показывает, что проектные и эксплуатационные ограничения и периодические инспекции гарантируют с достаточным запасом в течение всего срока службы станции, что необнаруженные трещины не разовьются при возможных максимальных напряжениях до размеров по длине и глубине до критических параметров. Обеспечение соответствующей защиты от превышения давления предотвращает угрозу целостности контура реактора с водой под давлением. Для корпусов из ферритной стали предотвращается любая комбинация давления и низких температур, которая могла бы привести к хрупкому разрушению (включая комбинации, которые могут возникнуть при проектных авариях). В проекте станции учитываются механизмы деградации границы системы первого контура, включая усталость, коррозию, коррозию под напряжением и эффекты охрупчивания под действием облучения и водорода.

214. Для станций с газоохлаждаемыми реакторами современная практика связана с использованием корпуса реактора из предварительно напряженного железобетона. Большинство приведенных выше положений применимо к таким станциям, отличия здесь лишь в деталях, хотя эти конструкции и сильно различаются. Важное дополнительное требование для таких корпусов заключается в особом внимании, как при монтаже, так и при последующей эксплуатации, к состоянию и нагрузкам предварительно напряженных тросов, а также к состоянию изоляции, облицовки, охлаждения облицовки, проходок и других подобных средств в их реальном исполнении с последующей эксплуатацией.

215. В течение всего срока службы станции постоянная пригодность для эксплуатации границы теплоносителя подтверждается инспекционным контролем, анализом и испытаниями облученных образцов корпусного материала, контролем утечек с использованием предназначенных для этой цели систем, проведением ремонта и замены частей, когда это необходимо

и целесообразно. В проекте учитываются доступность, возможность и периодичность инспекций.

216. Корпусы реакторов из ферритной стали некоторых существующих станций подвергаются инспектированию и эксплуатационным ограничениям, которые были бы излишни, если бы понимаемые сегодня технологические вопросы были тщательно исследованы во время их изготовления. В будущем в таких корпусах реакторов следует избегать сварных швов в районах повышенных уровней нейтронного потока, в особенности продольных швов на бандаже корпуса. Стали, используемые в корпусах, и сварочные электроды должны иметь очень низкое содержание элементов, которые ускоряют деградацию под действием излучения, особенно меди и фосфора. Следует избегать использования чувствительных сталей. Применяемые стали должны хорошо поддаваться сварке и вместе со сварными швами должны обладать высокой трещиностойкостью во всем рабочем диапазоне температур. Диаметр этих корпусов должен быть достаточно большим для обеспечения существенного ослабления потока быстрых нейтронов между границей активной зоны и внутренней поверхностью корпуса.

#### *4.2.3.8. Локализация радиоактивного материала*

217. *Принцип: станция проектируется таким образом, чтобы обеспечить удержание основной части радиоактивного материала, которая может высвободиться из топлива, во всем диапазоне аварий, учитываемых в проекте.*

218. Для удержания радиоактивных материалов, которые могут высвободиться в результате аварии, необходима специальная система, если не доказано, что соответствующая защита от такого выхода радиоактивных материалов обеспечена другими средствами. Ни одна реальная система не может удержать все радиоактивные материалы, выделившиеся в результате крупной аварии, особенно ввиду большого объема радиоактивных инертных газов. Тем не менее, функция специальных систем заключается в предотвращении утечки почти всех наиболее важных радиоактивных материалов. Такие специальные системы, обеспечивающие функцию локализации, обладают общими характерными чертами.

— Имеется сооружение, ограждающее зону, в которую, в случае утраты целостности топлива, могут высвободиться радиоактивные материалы из топлива, состоящие в основном из продуктов деления.

- Локализация может быть достигнута за счет обеспечения прочности этого сооружения, достаточной, чтобы после его герметизации оно могло противостоять высокому внутреннему давлению. В таком случае это сооружение называется защитной оболочкой. Конструкция защитной оболочки обычно оснащена подсистемой, которая по требованию завершает процесс герметизации, и другими подсистемами, защищающими эту конструкцию (см. принцип в разделе 4.2.3.9). Все вместе они образуют систему защитной оболочки.
- Локализация может быть достигнута за счет придания этому сооружению свойств, которые позволяют производить сброс возникшего в результате аварии давления вовне, в то время как основная масса высвобожденных из топлива радиоактивных материалов удерживается (например, фильтрами).
- Сооружение сохраняет свою целостность как в краткосрочный, так и в долгосрочный период в условиях давления и температур, которые могут сложиться в ходе проектных аварий.
- Проемы и проходки в закрытом состоянии и другие отдельные узлы сооружения проектируются таким образом, чтобы они удовлетворяли требованиям, аналогичным требованиям, предъявляемым к самому сооружению, чтобы они не делали его уязвимым в качестве потенциальных путей выхода радиоактивных материалов.
- Если анализ показывает, что повышение температуры внутренней атмосферы защитной оболочки в результате остаточного тепловыделения реактора может создать давление, угрожающее целостности сооружения, предусматриваются меры по отводу этого тепла.

219. Должно быть доказано, что возможности локализации таковы, что выполняются проектные целевые показатели по ограничению утечки всех радиоактивных материалов. В связи с этим предусматриваются меры для проведения функциональных испытаний, позволяющих убедиться в соответствии проектным целям.

220. Предусматриваются проектные меры предотвращения условий, при которых в случае аварий радиоактивные материалы могут обойти функцию локализации и высвободиться непосредственно в окружающую среду.

#### 4.2.3.9. Защита конструкции системы локализации

221. *Принцип: если конкретные и внутренние свойства АЭС не могут предотвратить пагубного воздействия тяжелых аварий на конструкцию системы локализации, то предусматривается специальная защита от воздействия таких аварий в объеме, необходимом для достижения общей цели безопасности.*

222. Этот принцип особенно актуален в отношении существующих АЭС, имеющих конструкцию системы локализации в виде защитной оболочки. Защитная оболочка проектируется таким образом, чтобы выдерживать внутреннее давление, которое, как можно ожидать, будет создано внутри этого сооружения вследствие проектной аварии, и которое рассчитывается с использованием существенных коэффициентов безопасности. Расчеты свидетельствуют о том, что в экстремальных случаях некоторых тяжелых запроектных аварий может создаваться давление, превышающее проектное значение для конструкции защитной оболочки. В большинстве случаев это превышающее значение будет ниже, чем предельная прочность защитной оболочки.

223. Если последовательность развития тяжелой аварии приводит к возникновению давления, превышающего оцененную предельную прочность защитной оболочки, это означает, что в таких условиях возможен отказ этого сооружения. Если катастрофический отказ защитной оболочки случится на ранних этапах развития аварии, может произойти значительный выброс радиоактивного материала, что требует принятия защитных мер вне станции. Эти обстоятельства могут внести существенный вклад в расчетный риск.

224. В том случае, если такой вклад столь велик, что противоречит цели безопасности, предусматриваются специальные меры по защите конструкции защитной оболочки. К таким мерам, которые реализуются или обсуждаются в конкретных случаях, относятся дожигатели водорода, автокаталитические рекомбинаторы, вентиляционно-фильтрующие системы, спринклерные системы и системы удержания обломков топлива (см. таблицу II).

225. Как отмечалось в пунктах 25 и 27, для улучшения функции защитной оболочки и/или локализации в случае тяжелой аварии на будущих АЭС может быть использован более систематический подход.

226. Аналогичные соображения применимы к конструкциям систем локализации, не рассчитанным на высокое внутреннее давление.

#### 4.2.3.10. Мониторинг состояния безопасности станции

227. *Принцип: отбор и отображение параметров, контролируемых на щите управления, осуществляются таким образом, чтобы операторы имели четкую и однозначную картину состояния условий станции, важных для безопасности, особенно для целей идентификации и диагностики автоматического срабатывания и функционирования систем безопасности либо нарушения функций глубокоэшелонированной защиты.*

228. Жизненно важным элементом глубокоэшелонированной защиты является постоянное знание и осмысление эксплуатационным персоналом рабочего состояния станции. В этой связи щит управления оснащен средствами отображения информации о переменных параметрах станции, необходимой для установления состояния при нормальной эксплуатации, для обнаружения и диагностики аномальных условий и для наблюдения за результатами корректирующих действий, осуществляемых системами контроля и безопасности. Для отображения данных на щите управления рассматривается информация о событиях как внутреннего так и внешнего происхождения. Предусматривается раннее предупреждение о возникающих неполадках, в том числе информация систем контроля незакрепленных предметов, контроля за избыточными и необычными вибрациями или шумами, а также систем обнаружения утечек теплоносителя или необычных уровней излучения, температур или влажности.

229. Средства передачи и отображения информации включают измерительные приборы и индикаторы состояния, средства отображения изменения параметров во времени, приоритетную сигнализацию и различные диагностические вспомогательные средства, а также надежную индивидуальную связь между персоналом щита управления и работающим на удалении эксплуатационным и обслуживающим персоналом. Проектировщики обеспечивают наличие у операторов средств контроля наиболее полезной и важной информации, и чтобы их внимание не отвлекалось второстепенной информацией. Опытный эксплуатационный персонал, а также эксперты по инженерной психологии, оказывают помощь проектировщикам в определении наиболее целесообразной организации и представления этих данных.

#### 4.2.3.11. Сохранение способности управления

230. *Принцип: помещение щита управления проектируется таким образом, чтобы оно неизменно было пригодно для пребывания при нормальных условиях эксплуатации, ожидаемых аномальных событиях и авариях, учитываемых в проекте. На случай возникновения обстоятельств, при которых помещение щита управления может оказаться непригодным для пребывания или поврежденным, на удалении от основного щита управления предусматривается независимый контроль и возможности управления наиболее важными функциями, необходимыми для поддержания полного расхолаживания, останова реактора и локализации радиоактивных материалов.*

231. В проекте предусматриваются меры защиты рабочей среды в помещении щита управления от аномальных условий, которые могут затруднять эффективные действия или угрожать здоровью операторов. Подобные условия могут быть вызваны событиями на станции, или являться результатом каких-либо внешних по отношению к станции событий. В том случае, если обстановка на щите управления по какой-либо причине ухудшилась, операторы должны получить об этом четкое предупреждение. Предусматривается соответствующее оборудование для принятия мер индивидуальной защиты.

232. Можно представить, хотя и маловероятные, ситуации, в которых помещение главного щита управления станет непригодным для пребывания или будет повреждено до такой степени, что пользоваться им более невозможно. На случай такой ситуации предусматриваются альтернативные средства, обеспечивающие поддержание безопасных условий станции. Предусматривается одно или несколько дополнительных мест, оснащенных контрольно-измерительной аппаратурой и необходимыми средствами управления, чтобы операторы могли, находясь в таких местах, осуществлять действия, обеспечивающие выполнение и длительное поддержание основных функций безопасности по останову реактора, отводу остаточного тепла и удержанию радиоактивных материалов. Иногда могут оказаться необходимыми действия, которые ведут к изменениям характеристик системы и которые производятся в удаленных местах, например, местное изменение положения некоего клапана. В тех случаях, когда действия управления и контроля, как ожидается, будут осуществляться из различных пунктов, между такими пунктами устанавливается надежная связь.

#### 4.2.3.12. Обесточивание станции

233. *Принцип: атомные станции проектируются таким образом, чтобы одновременная<sup>6</sup> потеря внутреннего и внешнего электроснабжения переменным током (обесточивание станции) не вела к быстрому повреждению топлива.*

234. Электроснабжение весьма существенно для систем безопасности атомной электростанции. Оценки безопасности показывают, что последствия обесточивания станции могут являться важнейшими факторами повышения суммарного риска. Надежность электроснабжения должна соответствовать требованиям надежности, предъявляемым к системам безопасности, которые оно обеспечивает. Для обеспечения высокой надежности проектом предусматривается как нормальное, так и резервное электроснабжение. Иногда надежность резервного электроснабжения для систем безопасности дополнительно усиливается разнообразными источниками энергоснабжения, такими как прямоприводные дизели, прямоприводные паровые турбины и электроаккумуляторы для контрольно-измерительных приборов и других элементов, использующих постоянный ток.

235. Атомные электростанции проектируются, в частности, таким образом, чтобы они в течение определенного периода могли выдержать без потери функции безопасности одновременную потерю внутреннего и внешнего электроснабжения переменным током (обесточивание станции). Указанный период зависит от конструкции станции, надежности систем охлаждения активной зоны, приводимых в действие другими средствами, возможности рассеяния остаточного тепла иными способами, например, с помощью естественной циркуляции и теплопроводности, а также специальных мер с целью восстановления охлаждения или электроснабжения до того, как произойдут повреждения.

236. На некоторых АЭС для улучшения реагирования на обесточивание станции применяются дополнительные источники электроэнергии (например, подключение к гидроэлектростанции или установка газотурбинных генераторов).

---

<sup>6</sup> Использование слова «одновременная» не подразумевает, что потеря внутреннего и внешнего электроснабжения обязательно происходит в одно и то же время.

#### 4.2.3.13. Контроль аварий в пределах проектных основ

237. *Принцип: на этапе проектирования принимаются меры для контроля аварий в пределах проектных основ, включая указание комплекса информационных и контрольно-аппаратных средств, необходимых персоналу станции для слежения за ходом и вмешательства в ход развития аварии.*

238. Для принятия мер реагирования и контроля аварий в пределах проектных основ персонал станции обеспечивается соответствующим оборудованием безопасности, контрольно-измерительной аппаратурой и эксплуатационными процедурами. В проекте предусмотрено, что при аномальных событиях в первую очередь срабатывают автоматические средства для восстановления нормальных условий введением обратных связей нейтронно-физического и технологического управления. Все это резервируется штатными средствами по остановке реактора, постоянному охлаждению и защите от выброса радиоактивных материалов. Дальнейшая защита обеспечивается автоматическим срабатыванием инженерно-технических систем безопасности. С помощью этих мер при любом варианте аномального развития событий соответствующим образом спроектированные системы осуществляют автоматические действия в течение, по меньшей мере, заданного периода времени, за который эксплуатационный персонал может оценить состояние систем, рассмотреть возможность и наметить последующее направление действий для тех условий, при которых действия автоматических систем станции окажутся недостаточными. Для использования в этих обстоятельствах в проекте предусматриваются диагностические средства поддержки и симптомно-ориентированные аварийные процедуры. Обычно время для принятия оператором решения о действиях составляют 10-30 минут или более в зависимости от обстановки.

239. Роль оператора в этих обстоятельствах заключается в проверке правильности реакции всех систем на аномальные условия, в своевременной диагностике аномального события, во вмешательстве, если это необходимо, и в восстановлении ключевых функций безопасности. В поддержку выполнения этих задач предусматриваются системы отображения информации и показаний контрольно-измерительных приборов, включая системы отображения параметров безопасности и другие сложные вычислительные средства, помогающие эксплуатационному персоналу определять тенденции и выполнять диагностику развития проектных аварий.

#### *4.2.3.14. Хранение свежего и отработавшего топлива*

*240. Принцип: в проекте станции предусматриваются меры хранения и обращения со свежим и отработавшим топливом таким образом, чтобы обеспечивалась защита работников и предотвращались выбросы радиоактивного материала.*

241. Для обращения со свежими и отработавшими топливными сборками и их хранения необходимы соответствующие хранилища. Объемы хранения свежего и отработавшего топлива варьируются в зависимости от проекта станции и конкретных требований перегрузки. Способ содержания свежего и отработавшего топлива в хранилищах должен обеспечивать его безопасное и подкритическое состояние для всех ожидаемых условий хранения. При проектировании хранилищ и ячеек хранения топлива принимаются во внимание внешние нагрузки и силы (например, в случае землетрясения). Поскольку отработавшее топливо содержит большие количества продуктов деления, предусматриваются меры по экранированию излучения и средства безопасности, используемые при погрузке сборок в транспортные контейнеры. Целостность оболочек отработавшего топлива сохраняется при помощи надежных и резервируемых средств удаления остаточного тепловыделения. Также предусмотрены возможности для проведения обследования свежего и отработавшего топлива, для проверки, манипуляции и хранения поврежденного топлива, а также для извлечения топлива с целью выполнения корректирующих действий (например, для отправки за пределы площадки на исследование после облучения). При эксплуатации упомянутых установок важными элементами являются контроль выбросов радиоактивности, обеспечение подкритичности, меры физической защиты и непрерывное охлаждение отработавшего топлива.

#### *4.2.3.15. Физическая защита станции*

*242. Принцип: проект и эксплуатация АЭС предусматривают необходимые меры по защите станции от повреждения и по предотвращению несанкционированного выброса радиоактивных материалов вследствие недозволенных действий отдельных лиц или групп лиц, в том числе посягательство на ядерные материалы, их несанкционированное переключение или изъятие, а также саботаж в отношении станции.*

243. Защита станции и оборудования от несанкционированных действий уже осуществляется проектными средствами, имеющих иное назначение, такими как размещение резервируемого оборудования систем безопасности

в разных помещениях станции и обеспечение наличия резервного щита управления. Дополнительные меры физической защиты обеспечиваются при помощи сочетания в проекте охранных средств и приборов, несения охраны, подходящего расположения и конструкции средств контроля доступа. Вопросы физической защиты рассматриваются на ранних этапах планирования атомной электростанции. Дополнительно, на этапе проектирования проводится анализ системы физической защиты на основе потенциальных угроз. Активная программа защиты действует с момента получения первой партии топлива до заключительных этапов снятия с эксплуатации. Для эффективного противодействия любым возможным угрозам разрабатываются процедуры чрезвычайных мер физической защиты.

244. Меры физической защиты координируются с программами, связанными с ядерной безопасностью, чтобы физическая защита не несла в себе угрозу для ядерной безопасности. Например, меры физической защиты, предусмотренные на случай чрезвычайных обстоятельств, не должны угрожать ядерной безопасности станции.

### 4.3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И СООРУЖЕНИЕ

245. Первейшее требование безопасности состоит в том, чтобы АЭС конструировалась и сооружалась в соответствии с целями проекта. Это осуществляется при постоянном внимании к целому ряду вопросов, начиная с широкого аспекта ответственности участвующих организаций и заканчивая усердием, компетентностью и внимательностью каждого рабочего.

#### 4.3.1. Оценка проекта с точки зрения безопасности

246. *Принцип: сооружение АЭС начинается только после того, как эксплуатирующая организация и регулирующий орган удостоверятся путем соответствующих оценок, что основные аспекты, связанные с безопасностью станции, решены удовлетворительно, а оставшиеся вопросы подлежат разрешению в период до запланированного начала эксплуатации.*

247. Возможности проектировщиков по внесению изменений в средства безопасности станции становятся все более ограниченными по мере изготовления и строительства. По этой причине необходимо координировать оценку безопасности с графиком изготовления и сооружения для обеспечения

учета важных для безопасности решений и своевременности лицензионных решений.

248. Анализ безопасности осуществляется примерно на этапе завершения предварительного проекта. Этот общий анализ проходит рассмотрение в регулирующих органах с целью обеспечения соблюдения регулирующих требований на данном этапе или в будущем и безопасности эксплуатации рассматриваемой станции. Такой порядок может предусматривать наличие незакрытых вопросов, которые, как ожидается, будут решены в период сооружения до начала эксплуатации. При необходимости на этапе строительства устанавливаются дополнительные контрольные точки, чтобы можно было рассмотреть удовлетворительность окончательного проекта, монтажа и проверить соответствие требованиям оборудования, важного для безопасности.

#### **4.3.2. Достижение качества**

249. *Принцип: изготовители и строители выполняют свои обязательства по обеспечению высокого качества оборудования и сооружения путем использования установленных и хорошо проверенных технических методов и процедур в сочетании с практикой обеспечения качества.*

250. Непосредственную ответственность за поставку оборудования и сооружение с удовлетворительным качеством в соответствии с техническими условиями несет изготовитель станции, успехи которого в этой области зависят от эффективности его практики и процедур и от того, как он им следует. При изготовлении и сооружении руководствуются подробными техническими условиями на процессы и изделия и на методы испытаний и инспекций. Выбираются те изготовители оборудования, которые продемонстрировали свои способности в выполнении специальных и строгих, часто являющихся специфическими для ядерной промышленности, требований к атомным электростанциям, в основе которых лежат своды положений и нормы, содержащие приемочные критерии для конечной продукции. Часто проверку и подтверждение компетентности поставщиков важно для безопасности оборудования осуществляют третьи стороны.

251. Изготовитель устанавливает процедуры контроля документации и технологических процессов, идентификации и контроля материалов и элементов, графики инспекций и испытаний, систему отчетных документов, контрольные точки и процедуры по исправлению отклонений, и все это в целом находится под воздействием всей иерархии практики обеспечения качества. Изготовитель несет ответственность за разработку и обоснование

своей практики изготовления, методов контроля качества, за подготовку персонала и создание удовлетворительных рабочих условий.

252. Хотя непосредственная ответственность за качество поставляемого оборудования и станции лежит на изготовителе, эксплуатирующая организация реализует свою общую ответственность за безопасность станции посредством соответствующих собственных мер, либо используя действующие по ее поручению организации, для рассмотрения и редакции практики и документации изготовителя и подрядчиков, в том числе, практики и организации обеспечения качества. Для важных единиц оборудования, связанных с безопасностью, предусмотрен анализ этих мер регулирующими органами.

#### 4.4. ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

253. До начала эксплуатации необходимо продемонстрировать, что законченная станция готова к работе. С этой целью готовится и осуществляется хорошо спланированная и соответствующим образом документированная программа ввода в эксплуатацию. В выполнении этого этапа участвует эксплуатирующая организация, включая будущий эксплуатационный персонал. По мере завершения монтажа и испытаний каждого компонента происходит постепенная передача станции эксплуатационному персоналу.

254. К тому моменту, когда программа ввода в эксплуатацию достигает стадии загрузки топлива, все важные для безопасности компоненты должны быть переданы эксплуатирующей организации. В отдельных случаях этот процесс включает промежуточную стадию, на которой ввод в эксплуатацию эффективно осуществляет другая организация, действующая по поручению будущего оператора станции.

##### 4.4.1. Проверка проекта и сооружения

255. *Принцип: с тем чтобы продемонстрировать, что станция в целом и в особенности компоненты, важные для безопасности и радиационной защиты, сооружены и функционируют в соответствии с целями проекта и для обеспечения обнаружения и устранения недостатков, разрабатывается и реализуется программа ввода в эксплуатацию.*

256. Для обеспечения достижения целей проекта в программу ввода в эксплуатацию включаются проверки оборудования и его функциональных

характеристик, а также мер радиационной защиты. Испытания осуществляются последовательно, при этом, прежде всего, достигаются менее трудные условия; опорные точки используются для получения адекватных результатов испытаний до перехода к следующей стадии. Программа ввода в эксплуатацию и ее результаты подлежат надзору и рассмотрению регулируемыми органами. Некоторые фазы ввода в эксплуатацию осуществляются во время строительства. Испытываются элементы систем; по мере завершения испытываются также и готовые системы. Отклонения от целей проекта, обнаруженные при этих испытаниях, оцениваются, исправляются и доводятся до сведения эксплуатирующей организации, чтобы в полном объеме учесть их возможное влияние на эксплуатацию станции. В тех случаях, когда проведение полных испытаний элементов и систем в реальных условиях невозможно, проводится комбинация испытаний в условиях, максимально приближенных к реальным.

257. Ввод станции в эксплуатацию продолжается вплоть до загрузки топлива, достижения критичности и набора мощности. Результаты ввода в эксплуатацию подвергаются тщательному рассмотрению регулируемыми органами. Кроме того, они используются проектировщиками для совершенствования проектов будущих станций.

#### **4.4.2. Аттестация эксплуатационных процедур и процедур функциональных испытаний**

258. *Принцип: как часть программы ввода в эксплуатацию проводится аттестация процедур нормальной эксплуатации станций и ее систем и процедур функциональных испытаний, осуществляемых на этапе эксплуатации.*

259. Процедуры, которые должны применяться на этапе эксплуатации, разрабатываются до и во время ввода в эксплуатацию на основе информации, предоставленной проектировщиком и изготовителями. Этап ввода в эксплуатацию используется для проверки этих эксплуатационных процедур применительно к станции и системам, для проверки методов, которые будут использоваться для функциональных испытаний оборудования, связанного с безопасностью, и в целом для проверки станции. Для аттестации эксплуатационных процедур и процедур функциональных испытаний используются полномасштабные тренажеры. Эта деятельность обеспечивает также существенную подготовку и обучение эксплуатационного персонала, его ознакомление с расположением, реакцией, особенностями и взаимодействием

систем. Это – одна из главных причин подключения эксплуатационного персонала в процесс ввода в эксплуатацию на его раннем этапе.

#### **4.4.3. Сбор базовых данных**

*260. Принцип: на этапе ввода в эксплуатацию производится сбор подробных диагностических данных по элементам, имеющим особое значение для безопасности, и регистрация первоначальных рабочих параметров систем.*

261. В период ввода в эксплуатацию и на ранних этапах эксплуатации осуществляется сбор базовых данных для использования в качестве контрольных точек для дальнейшего эксплуатационного надзора с целью обнаружения начала деградации элементов станции. Этот процесс сбора включает основополагающие по своей важности обследования и испытания корпусов реактора и других элементов границы первого контура. В целом, для всех связанных с безопасностью параметров, обычно измеряемых и контролируемых во время эксплуатации, должны иметься базовые данные, полученные при вводе в эксплуатацию.

#### **4.4.4. Пусконаладочные работы**

*262. Принцип: при осуществлении программы ввода в эксплуатацию определяются и документируются рабочие характеристики систем безопасности и технологических систем в реальном исполнении. Проводится настройка рабочих точек, с тем чтобы они соответствовали проектным значениям и анализам безопасности. Корректируются процедуры подготовки персонала и ограничивающие условия для эксплуатационных операций, чтобы они точно отражали рабочие характеристики систем в реальном исполнении.*

263. В течение предэксплуатационного периода проводятся испытания и калибровка технологических систем и систем безопасности. Получаемая информация показывает, где необходимо внести коррективы, чтобы привести к единой базе станцию, ее тренажер, анализ безопасности, подготовку эксплуатационного персонала и эксплуатационные процедуры. Таким образом, достигается правильная работа станции при приведении ее в нормальное эксплуатационное состояние.

## 4.5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ

264. Эксплуатирующая организация несет ответственность за обеспечение всего необходимого оборудования, персонала, процедур и практики управления, необходимых для безопасной эксплуатации, включая создание рабочей атмосферы, в которой безопасность рассматривается как жизненно важный фактор и вопрос личной ответственности всего персонала. Иногда может показаться, что акцент на безопасность может вступить в противоречие с требованием достижения высокого коэффициента готовности и удовлетворения всех потребностей производства электроэнергии. Это скорее кажущееся, чем реальное противоречие; в крайнем случае, оно может быть временным, поскольку те связанные с проектированием, сооружением и управлением эксплуатацией факторы, которые способствуют достижению безопасности, обычно совпадают с факторами, которые вносят вклад в надежность эксплуатации. Надежность не может обеспечиваться за счет компромиссов в текущих вопросах безопасности.

### 4.5.1. Организация, ответственность и кадры

265. *Принцип: эксплуатирующая организация несет полную ответственность за безопасную эксплуатацию АЭС на основе четкой организационной структуры, находящейся в подчинении руководителя станции в рамках его линейных полномочий. Руководитель станции обеспечивает наличие всех элементов, необходимых для безопасной эксплуатации станции, включая достаточную численность квалифицированного и опытного персонала.*

266. Повседневная ответственность за безопасность станции лежит на руководителе станции, который обеспечивает наличие всех элементов, необходимых для достижения безопасности, а также действие фактора безопасности в качестве направляющего во всех операциях, осуществляемых на станции. Поддержку руководителю станции оказывает исполнительное руководство эксплуатирующей организации, которое в этих целях выделяет соответствующие финансовые, технические, материальные и людские ресурсы, в том числе, персонал химической и радиационной защиты. Ответственность за безопасность на всех уровнях эксплуатирующей организации и при выполнении всех функций четко отражается в должностных инструкциях.

267. В штате имеется квалифицированный персонал достаточной численности для осуществления всей нормальной деятельности без излишних задержек и напряжения, включая надзор за работой подрядчиков

в периоды повышенной рабочей нагрузки, например, при остановках для технического обслуживания и ремонта. В штатном расписании предусматривается также возможность замены персонала на ключевых должностях, и учитывается выбывание персонала и время, необходимое для переподготовки кадров.

268. Проводится анализ потребностей в кадрах на случай нарушения нормальной эксплуатации с целью обеспечения выполнения любых специализированных задач, таких как управление аварией, оценка и контроль повреждений, пожаротушение, поисково-спасательные работы, первая медицинская помощь, дозиметрический контроль за пределами площадки и коммуникация за пределами площадки. Для обеспечения этих кадровых потребностей учитывается наличие чрезвычайных служб в районе размещения АЭС.

#### **4.5.2. Процедуры анализа безопасности**

269. *Принцип: для обеспечения постоянного надзора и контроля эксплуатационной безопасности станции и для оказания помощи руководителю станции в выполнении им всех своих обязанностей в области безопасности эксплуатирующая организация постоянно осуществляет процедуры анализа безопасности АЭС.*

270. В рамках обычной деятельности на станции осуществляется линейный процесс управления безопасностью, которая охватывает все аспекты повседневных операций и предусматривает информирование руководства станции. Помимо этого, эксплуатирующая организация обеспечивает возможности для проведения независимого анализа безопасности либо силами самой организации, либо с помощью специализированных институтов или других организаций. Основная цель этого состоит в том, чтобы в вопросах, важных для безопасности, руководитель станции получал в своей подотчетности поддержку благодаря порядку, не зависящему от давления текущих проблем эксплуатации станции. Как бы ни осуществлялось такое независимое рассмотрение, оно является деятельностью, отделенной от эксплуатации станции, и обеспечивает постоянную проверку обоснованности установленной руководством станции практики обеспечения безопасности и выполнения требований безопасности. Отчеты об этой деятельности являются официальными и направляются непосредственно высшему руководству эксплуатирующей организации. В этой работе особое внимание уделяется учету опыта эксплуатации, изучению аномальных событий и зафиксированных недостатков как на данной, так и на аналогичных станциях; рассмотрению

обоснованности эксплуатационных процедур и их изменений; модификациям станции, относящихся к безопасности; подготовке и аттестации персонала; реагированию на регулирующие требования; общему отношению руководства и персонала к вопросам безопасности станции.

271. В отдельных случаях, представляющих особую важность для безопасности, таких как преднамеренное изменение режимов работы станции, необычные испытания или эксперименты, изменения основных инженерно-технических характеристик станции или пределов и условий безопасной эксплуатации, линейным оперативным персоналом станции и персоналом, ответственным за безопасность, сначала составляются специальные процедуры; затем они подвергаются независимому рассмотрению, которое является частью системы получения официального разрешения.

#### **4.5.3. Осуществление эксплуатации**

272. *Принцип: эксплуатация осуществляется полномочным персоналом при соблюдении им установленного порядка ведения работ и под строгим административным контролем.*

273. Эксплуатацию станции осуществляет только соответствующим образом подготовленный и квалифицированный персонал, который своими действиями постоянно демонстрирует стремление к безопасной и надежной эксплуатации. Этот персонал осознает значение для безопасности как своих действий, так и последствий ошибок. Эксплуатация станции проводится в атмосфере, способствующей безопасности благодаря дисциплинированности персонала, недопущению неприемлемого порядка работы и стремлению к поддержанию чистоты и порядка. Руководители и начальники смен способствуют закреплению желательного поведения и практики. Операторы рабочей смены постоянно контролируют состояние станции для подтверждения того, что элементы и системы удовлетворительно выполняют свои функции или находятся в соответствующей готовности. Они обеспечивают обнаружение отклонений от требуемых условий или состояний станции, выявление недостатков и быстрое выполнение корректирующих действий. Проводятся расследования причин срабатывания предупредительной сигнализации, и предпринимаются необходимые действия. Исследуются необычные явления (шумы, видимые изменения технологических характеристик или характеристик активной зоны) и принимаются соответствующие меры в случаях, если существует угроза ключевым элементам либо наблюдается необъяснимая реакция на управляющие действия систем нормальной эксплуатации или систем безопасности. Обычная практика на щите управления и станции в целом

включает соблюдение контрольных перечней, регистрацию существенных данных по станции, постоянное ведение эксплуатационных журналов, передачу сведений и указаний следующей смене и регулярные обходы станции в течение работы смен. Особое внимание уделяется контролю при изменении состояния станции.

274. Эксплуатация осуществляется на основе иерархии утвержденных процедур, подлежащих строгому документированному контролю. Для отклонения от этих процедур необходимо разрешение на уровне, соответствующем важности таких отклонений для безопасности. Производится постоянное обновление письменных процедур. Техническое обслуживание и надзор за состоянием элементов и систем станции подлежат строгому контролю; разрешение на техническое обслуживание дается уполномоченным на то персоналом. Модификации станции, важные для безопасности, осуществляются только в соответствии с утвержденными процедурами. Станция сохраняет конфигурацию, соответствующую проектному замыслу и анализу безопасности за счет соблюдения процедур, включающих строгую систему отчетности об изменениях конфигурации и ее анализ через определенные интервалы времени. Осуществляется постоянное обновление чертежей и описаний станции.

275. Существует официальная система передачи распоряжений и информации, связанной с надежной и безопасной эксплуатацией станции. Эта система включает надежную и легкодоступную регистрацию указаний и потенциально важной информации, а также фактов получения и восприятия указаний и распоряжений.

276. Реализуются меры, обеспечивающие поддержание оперативного эксплуатационного и обслуживающего персонала в полной физической и умственной готовности к работе. Если выясняется, что какой-либо работник находится под воздействием алкоголя или наркотических средств, воздействующих на сознание, применяются дисциплинарные меры. Дальнейшее злоупотребление алкоголем или наркотиками этим лицом служит причиной отстранения от занимаемой должности.

277. Особое внимание уделяется физическим средствам и административным процедурам, направленным на предотвращение несанкционированных преднамеренных или непреднамеренных действий со стороны персонала станции или иных лиц, которые могли бы угрожать безопасности.

#### 4.5.4. Подготовка персонала

278. *Принцип: в целях безопасного и эффективного выполнения эксплуатационным персоналом, персоналом, занимающимся техническим обслуживанием и ремонтом, персоналом, обеспечивающим техническую поддержку, персоналом химической и радиационной защиты своих обязанностей внедряются программы подготовки и переподготовки. Особенно интенсивно проводится подготовка персонала, занятого на щите управления; она включает использование станционных тренажеров.*

279. Программа подготовки персонала включает установление требований к подготовке, разработку содержания и материалов для подготовки, осуществление программы и оценку результатов. Официальная подготовка операторов, ремонтного персонала, персонала, обеспечивающего техническую поддержку, а также персонала химической и радиационной защиты охватывает такие ключевые области технологии, как нейтронная физика, теплогидравлика и радиационная защита в той степени, в какой это необходимо для выполнения поставленных задач. Подготовка операторов способствует развитию как теоретических, так и практических знаний о станции и ее работе. Сюда входит полное знание конфигурации станции, местоположения важных элементов и систем, местонахождения и функций их органов управления и результатов воздействия последних, а также нормальное расположение систем станции. Акцент делается на системы, значимые для безопасности. Лица, проходящие подготовку, изучают задачи, связанные с нормальной эксплуатацией станции и реакцией станции на отказы, которые могли бы в отсутствие контрмер привести к авариям с повреждениями. Этот аспект подготовки персонала направлен на улучшение диагностических навыков. Подготовка охватывает уроки, извлеченные из опыта эксплуатации как данной, так и других станций. Операторы изучают эксплуатационные процедуры как в нормальных, так и в аварийных условиях. Программы подготовки операторов включают лекционные занятия, использование тренажеров, обучение на рабочем месте и ознакомление со станцией, после чего выдается официальное разрешение осуществлять эксплуатацию (например, в форме лицензии).

280. Посредством программ подготовки операторы, ремонтный персонал, персонал технической поддержки, персонал химической и радиационной защиты получают информацию о принципиальных результатах всех выполненных ВОБ станции, демонстрирующих важность систем, которые предотвращают повреждения станции или тяжелые аварии. Они получают

знания о местонахождении всех значительных количеств радиоактивных материалов на станции и мерах, направленных на предотвращение их распространения. Наиболее существенным является то, что при подготовке эксплуатационного персонала подчеркивается важность поддержания станции в рамках ее эксплуатационных пределов и условий. Внимание акцентируется на последствиях нарушений этих пределов. Подчеркивается важность поддержания подкритичности при неработающей станции, непрерывного и постоянного охлаждения активной зоны и контролируемого удержания всех радиоактивных материалов. Предусматривается периодическая переподготовка персонала с целью поддержания и обновления понимания и знаний, важных для безопасной и эффективной эксплуатации станции, в особенности для работы в аномальных и аварийных условиях. В систему первоначальной подготовки и переподготовки включаются отражающие реальность тренажеры. При подготовке операторов подчеркивается командный характер работы, особенно при упражнениях на тренажере, моделирующих действия в случае инцидента и аварии.

281. Предусматривается дополнительное обучение для подготовки персонала к выполнению специализированных функций, необходимых в случае аварии. При определении необходимости такой подготовки и ее объема учитываются наличие предусмотренных резервных средств и мер, а также наличие соответствующих служб за пределами площадки станции. Предусматривается конкретная подготовка для всех работников, которые должны быть задействованы согласно планам аварийных мероприятий.

282. Подготовка персонала технического обслуживания и ремонта выходит за рамки основного профессионального обучения и включает ознакомление с потенциальными последствиями технических или процедурных ошибок для безопасности. Подготовка и аттестация персонала технического обслуживания и ремонта отражает осознание факта, что часто причиной имевших место в прошлом случаев недостаточной эксплуатационной надежности станции или ложного, случайного либо ошибочного срабатывания систем безопасности являлись ошибки в практике и процедурах технического обслуживания и ремонта. Подготовка ремонтного персонала включает рассмотрение таких инцидентов. При проверке знаний персонала технического обслуживания и ремонта проверяется его знакомство с этим опытом. При подготовке персонала технической поддержки, персонала химической и радиационной защиты и прочих сотрудников принимается во внимание важность их служебных обязанностей для безопасности.

283. При подготовке старших сотрудников эксплуатационного и управленческого персонала подчеркиваются особые проблемы управления атомной электростанцией при первоочередном требовании обеспечения безопасности и необходимости изучения аварийных процедур. Эта подготовка включает также обсуждение опыта эксплуатации и роли руководителя/контролирующего лица в обеспечении соблюдения норм и практики эксплуатации.

#### **4.5.5. Эксплуатационные пределы и условия**

284. *Принцип: для выявления границ безопасной эксплуатации станции определяется набор эксплуатационных пределов и условий. Кроме того, устанавливаются минимальные требования в отношении наличия персонала и оборудования.*

285. Как об этом говорилось в разделе 4.2.2.1., набор ненарушаемых пределов безопасности определяет крайние значения диапазона эксплуатационных переменных и условий, в пределах которого, согласно консервативному анализу, не могут произойти нежелательные явления или неприемлемые повреждения станции. Для ряда ключевых параметров станции, которые контролируются автоматическими системами, устанавливаются эксплуатационные пределы нормальной работы и, при необходимости, точки срабатывания аварийной защиты. Для того чтобы ожидаемые переходные процессы не привели к нарушению пределов безопасности, эксплуатационные пределы и точки срабатывания аварийной защиты, устанавливаются консервативно, на основе надежных анализов. Эксплуатационные пределы и условия определяются для всех стадий ввода в эксплуатацию, работы на мощности, снижения мощности при останове и стояночного режима, подъема мощности, технического обслуживания, испытаний и перегрузки топлива. Проводятся плановые испытания и инспекции для перекалибровки приборов, измеряющих и отображающих значения тех переменных параметров, для которых установлены пределы безопасности, а также для проверки правильности точек срабатывания аварийной защиты.

286. Работу или готовность систем безопасности обеспечивают дополнительные условия. Эти условия определяются в соответствии с надежностью систем и ожидаемых от них ответной реакцией. Устанавливаются также минимальные требования по персоналу, в особенности для щита управления. Действие этих условий может быть временно приостановлено только для хорошо обоснованных испытаний или для других особых целей, при наличии компенсирующих мероприятий, предварительном анализе

безопасности и после получения разрешения на уровне, соответствующем важности вопроса.

287. Первоначальный набор эксплуатационных пределов и условий, а также любые последующие изменения должны проходить анализ безопасности и утверждаться эксплуатирующей организацией и регулирующим органом в соответствии с их значением для безопасности. Важнейшей частью культуры безопасности является понимание персоналом станции причин установления пределов безопасности для эксплуатации и последствий их нарушений. Эксплуатационные пределы не могут быть осознанно нарушены кроме как в соответствии с официальными процедурами, обеспечивающими полную ясность как в отношении влияния на безопасность, так и в отношении обеспечения всех необходимых компенсирующих условий.

#### **4.5.6. Нормальные эксплуатационные процедуры**

288. *Принцип: нормальная эксплуатация станции осуществляется на основе подробных, обоснованных и официально утвержденных процедур.*

289. Эксплуатационные процедуры станции устанавливаются на основании проекта и анализа безопасности и обосновываются компьютерным моделированием, на этапе ввода в эксплуатацию и опытом эксплуатации. Они достаточно подробны для того, чтобы операторы могли выполнять свои функции на станции без их дальнейшего уточнения. В том, что касается безопасности, при правильном соблюдении эти процедуры обеспечивают непревышение эксплуатационных пределов или условий станции и готовность необходимых связанных с безопасностью элементов, систем и конструкций. В эти процедуры включены требования, охватывающие периодические испытания, калибровку и инспекции систем безопасности. Особое внимание в этих процедурах уделяется изменениям эксплуатационных состояний, работе на малой мощности, условиям испытаний и случаям, при которых преднамеренно осуществляется отключение того или иного оборудования систем безопасности. В процедурах, относящихся к загрузке и разгрузке активной зоны, внимание уделяется предотвращению незапланированной критичности или других аварий, которые могли бы произойти при таких операциях. Пересмотр эксплуатационных процедур осуществляется только после разрешения в соответствии с установленным порядком, а документы, определяющие процедуры эксплуатации, подлежат контролю со стороны администрации в соответствии с системой обеспечения качества. При серьезном пересмотре эксплуатационных процедур операторы проходят

по ним подготовку до их ввода в действие. Для специальных испытаний применяются особые процедуры и меры контроля.

#### **4.5.7. Аварийные эксплуатационные процедуры**

290. *Принцип: для обеспечения основы приемлемого реагирования оператора на аномальные события разрабатываются, документируются и утверждаются аварийные эксплуатационные процедуры.*

291. Инженерно-технические системы безопасности, предусмотренные на случай аномальных событий, учитываемых в проекте станции, срабатывают автоматически сразу же после начала такого события. Подготовка эксплуатационного персонала предусматривает использование им некоторого периода, определенного при проектировании как «никаких немедленных действий оператора не требуется», для обнаружения и идентификации причин такого автоматического срабатывания. Дополнительная информация, поступающая к операторам от контрольно-измерительных и отображающих систем, помогает им принять решение о действиях по предотвращению или локализации повреждений станции. Имеются также аварийные эксплуатационные процедуры на случай аварий, учитываемых в проекте, а также для любых запроектных аварий, предположительно вносящих значительный вклад в риск. Обычно эти процедуры предусматривают ответные меры, основанные на диагностике происходящего события. Если своевременная диагностика данного события невозможна, или если дальнейшая оценка причин события приводит к отмене первоначального диагноза в аварийных эксплуатационных процедурах определяется реакция на наблюдаемые симптомы, исходя не столько из природы самого события, сколько из состояния станции, которого можно ожидать с учетом этих симптомов. Действия на основе симптомно-ориентированных процедур предназначены для восстановления ключевых функций безопасности. Аварийные эксплуатационные процедуры содействуют также долгосрочному восстановлению после аварии и ограничению ее радиологических последствий для персонала станции и населения. Эти процедуры являются частью программы подготовки эксплуатационного персонала и персонала радиационной защиты. К ним относятся процедуры, применимые в конечных аварийных ситуациях, направленные на облегчение управления тяжелыми авариями.

#### 4.5.8. Процедуры радиационной защиты

292. *Принцип: персонал радиационной защиты эксплуатирующей организации устанавливает письменные процедуры по контролю, управлению действиями и защите персонала, осуществляет повседневный контроль радиационной обстановки на станции, дозиметрический контроль облучения персонала станции, а также мониторинг выбросов радиоактивных эфлюентов.*

293. Специализированный персонал под контролем руководства станции обеспечивает функционирование всеобъемлющей службы радиационной защиты. Она включает дозиметрический контроль персонала и регистрацию доз, измерение радиационных уровней в ключевых зонах, измерение радиоактивных выбросов станции, контроль при выполнении дезактивации и очистки и при подготовке радиоактивных отходов для хранения или захоронения, а также надзор и контроль доступа персонала в радиационно-опасные зоны. Установлены также обязанности персонала дозиметрического контроля на случай аварийной ситуации. Некоторые из этих функций радиационной защиты могут выполняться эксплуатационным персоналом после прохождения необходимой подготовки. При необходимости устанавливаются письменные процедуры, охватывающие функции радиационной защиты.

294. Персонал радиационной защиты в необходимых случаях имеет прямой доступ к старшему руководству станции с целью оказания консультативной помощи и обеспечения соблюдения процедур радиационной защиты. Руководство станции и персонал радиационной защиты побуждают сотрудников станции к контролю своих собственных доз облучения и к поддержанию повседневных доз облучения на допустимом на практике низком уровне.

295. Для содействия обеспечению радиационной защиты при некоторых видах внутростанционной деятельности по техническому обслуживанию и ремонту и надзору предусматривается специальное оборудование. Это особенно важно для систем, связанных с безопасностью: возможность облучения персонала не должна вести к ослаблению внимания к системам безопасности. Работники, которые должны выполнять свои задачи в условиях высоких дозовых нагрузок, проходят подготовку по использованию специального оборудования и на макетах систем, где им предстоит работать.

#### **4.5.9. Инженерно-техническая поддержка эксплуатации**

296. *Принцип: в течение всего срока службы станции обеспечивается квалифицированная инженерно-техническая поддержка по всем дисциплинам, важным для безопасности.*

297. Для обеспечения постоянной безопасной эксплуатации АЭС требуется поддержка инженерно-технической организации, к которой в случае необходимости можно обратиться за помощью при модификациях станции, ремонте, специальных испытаниях и за необходимой аналитической поддержкой. Такие ресурсы могут существовать в самой эксплуатирующей организации или могут быть запрошены в организациях поставщиков либо в специализированных организациях. Ответственность за обеспечение требуемыми ресурсами лежит на эксплуатирующей организации.

298. Решаются вопросы постоянного наличия в ядерной отрасли инженерных кадров, обладающих необходимыми знаниями и компетентностью. Сюда входит рассмотрение потенциальных кадровых потерь ввиду конкуренции со стороны других секторов промышленности за привлечение экспертных инженерных знаний, а также влияния сокращения штатов и утраты экспертных знаний в связи с уходом на пенсию и закрытием АЭС. Все отмеченные факторы ведут к потере ключевого и опытного персонала и их знаний о ядерной отрасли. Как было отмечено в пункте 121, для обеспечения безопасности и сохранения ее в течение многих лет важно, чтобы были определены необходимые дополнения к базовым профессиональным знаниям.

#### **4.5.10. Учет опыта эксплуатации**

299. *Принцип: руководство станции принимает меры для выявления и глубокого анализа важных для безопасности событий, скорейшего принятия всех необходимых корректирующих мер и распространения соответствующей информации об этих событиях. Руководство станции имеет доступ к связанному с безопасностью опыту эксплуатации других АЭС во всем мире.*

300. Важность для безопасности эффективной программы учета опыта эксплуатации подчеркивалась в основополагающем принципе из раздела 3.3.8, касающемся опыта эксплуатации и исследований в области безопасности. Руководитель станции безотлагательно сообщает высшему руководству эксплуатирующей организации и в регулирующий орган о

любых аномальных событиях, важных для безопасности, чтобы их воздействие можно было должным образом проанализировать, идентифицировать коренные причины и передать эту информацию на другие атомные электростанции. Соответствующим образом передается и информация о надлежащей эксплуатационной практике, если будет сделан вывод о том, что она потенциально может значительно способствовать повышению безопасности.

301. Независимо от общих анализов, которые могут проводиться по аномальным и потенциально опасным событиям, руководитель станции реализует необходимые меры, направленные на предотвращение повторения аналогичных событий на своей станции, или, по меньшей мере, обеспечивающие, чтобы такое повторение не могло привести к аварии. Любые соответствующие модификации как оборудования, так и процедур осуществляются только после того, как соответствующая оценка безопасности покажет, что изменения не скажутся отрицательно на безопасности станции, и после того, как будут приняты меры обеспечения качества, соответствующего значению модификации для безопасности.

302. Руководящий персонал станции использует связанную с безопасностью информацию, полученную из опыта эксплуатации других АЭС, в качестве источника полезных уроков для повышения безопасности собственной станции.

303. Регулярное техническое обслуживание и надзор, осуществляемые персоналом станции или персоналом других аналогичных станциях, представляет собой источник информации о системах и элементах, важных для безопасности. В этой связи полезна концентрация информации через группы владельцев атомных станций. Производится сбор и обработка информации, которая затем представляется для проведения анализа тенденций либо на самой станции, либо в сотрудничестве с другими аналогичными станциями, в целях идентификации зарождающихся отказов или деградации, например, в результате старения. Принимаются меры для предотвращения отказов или для замедления и обращения вспять неблагоприятных тенденций, обнаруженных в результате обработки такой информации.

304. Руководство станции осознает значение оценки риска для безопасности станции и сотрудничает в проведении оценок риска, предоставляя необходимые для них данные.

#### **4.5.11. Техническое обслуживание и ремонт, испытания и инспекции**

305. *Принцип: важные для безопасности конструкции, элементы и системы в целях поддержания их способности удовлетворять проектным требованиям в течение всего срока службы станции проходят необходимый регулярный планово-предупредительный и упреждающий ремонт, инспекции, испытания и обслуживание. Эта деятельность осуществляется в соответствии с письменными процедурами в сочетании с мерами по обеспечению качества.*

306. Когда атомная станция вводится в эксплуатацию, начинается осуществляться регулярный и планово-предупредительный ремонт и эксплуатационный надзор, чтобы конструкции, элементы и системы продолжали функционировать, как запланировано, и чтобы их способность удовлетворять проектным целям не уменьшалась в результате старения, износа и действия других ухудшающих факторов. Для повышения эффективности такой программы применяется анализ тенденций (например, износа и вибраций). Эта деятельность играет важную роль в предотвращении отказов при последующей эксплуатации. Обнаруженные таким образом недостатки своевременно исправляются. Если речь идет о важных системах, связанных с безопасностью, необходимо выполнение работ на основании утвержденных письменных процедур. Эти процедуры обеспечивают информированность персонала штаба управления о состоянии любых проводимых работ подобного рода.

307. Выполняется утвержденный график инспекций, базирующихся на оценках в период проектирования и испытаниях во время ввода в эксплуатацию; на основе опыта в него вносятся изменения. Особое внимание уделяется наблюдению за системой глубокоэшелонированной защиты, в частности, границей первого контура, которая в ходе эксплуатации подвергается нейтронному облучению, циклическим тепловым нагрузкам и нагрузкам давления, старению, которое является нормальным следствием эксплуатации. При необходимости проводятся испытания на извлекаемых образцах, которые были облучены в рабочих условиях. Деятельность по техническому обслуживанию и ремонту планируется и осуществляется с учетом важности систем, связанных с безопасностью, а также того, что неосмотрительная практика технического обслуживания и ремонта может уменьшить потенциальные преимущества глубокоэшелонированной защиты.

308. Одним из важнейших элементов обеспечения готовности важных функций безопасности в любой момент, когда в них возникает потребность, являются периодические функциональные испытания систем безопасности.

Частота, объем и содержание таких испытаний определяются, исходя из требуемой надежности и практической возможности имитировать соответствующую функцию. В том случае, если полная демонстрация функций безопасности при периодических испытаниях невозможна, для демонстрации надежности функции безопасности проводятся испытания отдельных элементов и частей системы.

309. Поскольку неправильное проведение технического обслуживания и испытаний может создавать проблемы, рассматриваются вопросы оптимизации таких аспектов технического обслуживания и ремонта, как периодичность и масштабы планово-предупредительных ремонтов, а также вопросы использования инструкций изготовителей, опыта эксплуатации и анализа тенденций, подготовки персонала и процедур.

310. Облучение персонала во время технического обслуживания и ремонта контролируется и ограничивается путем реализации рабочих планов радиационного контроля, тренировочных учений и осуществления дозиметрического контроля.

311. Для достижения высокого уровня безопасности при техническом обслуживании и ремонте необходимо, чтобы основной обслуживающий персонал имел представление об аспектах безопасности той работы, которую он выполняет. Поэтому обслуживающий персонал тщательно готовится к выполнению своих обязанностей, чтобы уменьшить возможную в этих случаях вероятность ошибки человека. Иногда для технического обслуживания и ремонта необходимо отключение каких-либо систем безопасности. Это допустимо только в соответствии с тщательно составленными, проверенными и утвержденными письменными процедурами и при наличии компенсирующих мер, предусмотренных в разделе 4.5.5. Связанный с этим риск оценивается и признается приемлемым. Персонал технического обслуживания проходит подготовку на конкретном оборудовании, которое он обслуживает. В тех случаях, когда работы проводятся лицами, не входящими в состав квалифицированного и подготовленного персонала станции, за их действиями осуществляется надзор (а их результаты проверяются) лицами из персонала станции, прошедшими полную подготовку, аттестованными для выполнения таких работ и понимающими их значение для безопасности.

#### **4.5.12. Обеспечение качества при эксплуатации**

312. *Принцип: эксплуатирующая организация реализует программу обеспечения качества при эксплуатации, которая содействует*

*достижению удовлетворительных показателей всей деятельности на станции, важной для ее безопасности.*

313. Этот конкретный принцип распространяет на область эксплуатации основополагающий принцип обеспечения качества (раздел 3.3.2). Программа обеспечения качества при эксплуатации поддерживает действия линейных руководителей, ответственных за обеспечение качества выполняемых работ, включая руководителя станции, который несет ответственность за безопасность всей станции.

#### 4.6. УПРАВЛЕНИЕ АВАРИЕЙ

314. Среди крайне маловероятных запроектных аварий есть такие, которые могли бы привести к возникновению обстоятельств, в которых поддержание достаточного охлаждения активной зоны невозможно, или в которых может произойти либо существует угроза деградации топлива. На случай таких обстоятельств, несмотря на малую вероятность их возникновения, предусматриваются определенные меры. Управление аварией как часть мер по предотвращению аварий включает действия, которые должны быть осуществлены операторами в ходе развития аварии после того, как условия станции вышли за рамки проектных, но до того, как они перерастут в реальную тяжелую аварию. Такие действия операторов могут изменить или обратить вспять ход аварии. Управление аварией как часть мер по смягчению последствий аварии включает конструктивные действия эксплуатационного персонала в случае тяжелой аварии, направленные на предотвращение дальнейшего развития такой аварии и облегчение ее последствий. Управление аварией включает действия, которые могут быть предприняты для защиты функции локализации или иного ограничения всех потенциальных выбросов радиоактивного материала в окружающую среду.

315. Вышеизложенные принципы, связанные с анализом опыта эксплуатации, слежением за состоянием станции и удержанием под контролем проектных аварий, также могут способствовать повышению потенциала управления аварией. Помимо этого специально для управления аварий предусматриваются дополнительные меры.

316. Цель управления запроектными авариями должна заключаться в возвращении станции в контролируемое состояние, при котором, по существу, прекращается ядерная цепная реакция, обеспечивается постоянное охлаждение топлива и локализация радиоактивных материалов. При

управлении аварией используются в полном объеме имеющиеся возможности станции, включая, в случае необходимости, возможности некоторых систем, выходящие за рамки их изначально запланированных функций, и использование для достижения этой цели некоторых временных или специализированных систем. Управление аварией должно обладать способностью реагирования на конкретные обстоятельства события, даже если они, возможно, оказались неожиданными. Следует результативно воспользоваться любым имеющимся запасом времени, отделяющим момент правильного диагностирования симптомов от угрожающего выброса продуктов деления в окружающую среду. Для диагностики запроектных событий и реализации действий по управлению аварией эксплуатационный персонал может располагать несколько большими запасами времени, чем в случае проектной аварии.

317. Способность эффективно применять управление аварией зависит от подготовки эксплуатационного персонала, предоставления информации на щит управления и возможности управлять событиями оттуда. Это существенно повышает вероятность того, что оператор сможет получить достаточные указания на неблагоприятное состояние, а также обладать знаниями и иметь необходимое оборудование для осуществления корректирующих действий.

#### **4.6.1. Стратегия управления аварией**

318. *Принцип: при подготовке руководства по стратегии управления аварией используются результаты анализа реакции атомной электростанции на потенциально возможные запроектные аварии.*

319. Проводится анализ запроектных аварий, которые могут привести к серьезной деградации активной зоны и нарушению барьеров, предотвращающих выброс радиоактивного материала. Идентифицируются симптомы, по которым можно распознать конкретные запроектные аварии. Также идентифицируются меры, которые могут быть приняты оператором для значительного уменьшения масштабов повреждения станции или радиационных эффектов. Эти меры могут включать использование обычных систем станции нормальным или нестандартным образом или особых средств, предусмотренных на станции специально для управления аварией.

320. Постоянно ведущийся анализ тяжелых аварий, дополнительные научно-исследовательские и конструкторские испытания, направленные на их моделирование, расширяют имеющиеся знания о том, как протекают тяжелые аварии. Типичным примером может служить предпринимаемые в

международном масштабе значительные усилия по выполнению аналитических и экспериментальных исследований присутствия воды на внешней поверхности корпуса реактора (для реакторов с водой под давлением) с целью установления зависимости эффективности охлаждения от размеров корпуса. Такая деятельность ведет к новым физическим мерам и/или к совершенствованию руководства по управлению тяжелыми авариями.

321. По мере увеличения степени тяжести аварии и уменьшения вероятности ее возникновения все менее определенными и более трудными для конкретизации становятся меры, которые следует принимать, поскольку они зависят от конкретных характеристик станции. Успех или неуспех предписанной стратегии управления тяжелой аварией определяется проектной компоновкой станции, мощностью, расположением и резервированием станционных аварийных систем, наличием запасных поглотителей тепла и других средств поддержания равновесного состояния станции. Аналогичным образом, способность защитной оболочки противостоять потенциальному избыточному давлению, горизонт корпуса давления реактора, геометрия и размер шахты реактора, геометрия приемков играют роль в принятии стратегических решений по сохранению целостности защитной оболочки. При совершенствовании руководства по управлению тяжелыми авариями все эти факторы принимаются во внимание.

322. На будущих станциях для предотвращения и смягчения последствий тяжелых аварий будут применяться цели, указанные в пунктах 25 и 27, и это окажет воздействие на степень и масштабы управления авариями на таких станциях.

#### **4.6.2. Управление аварией – подготовка персонала и процедуры**

323. *Принцип: осуществляется подготовка и переподготовка персонала атомной станции по тем процедурам, которым персонал должен следовать в случае возникновения аварий, выходящих за рамки проектных основ.*

324. Эксплуатационный персонал, в рамках своей программы подготовки, знакомится с особенностями анализа, описанного в принципе раздела 4.6.1. Процедуры, используемые для управления аварией, представляют собой аварийные эксплуатационные процедуры, включая те части, которые связаны с конечными аварийными ситуациями. Процедуры, относящиеся к конечным аварийным ситуациям, являются общими по своему характеру и используются, чтобы напомнить операторам о возможностях станции по смягчению хода

развития и последствий тяжелых аварий. Эти конечные процедуры, кроме того, являются гибкими и, таким образом, они могут быть приспособлены к неопределенностям наиболее экстремальных аварий. Подготовка и тестирование операторов станции обеспечивает их знакомство с симптомами запроектных аварий и с процедурами управления аварией. Незаменимым средством подготовки персонала являются тренажеры. Однако они должны правильно воспроизводить ход аварии, по меньшей мере до того момента, когда происходит обширное повреждение топлива. Определяются задачи персонала, входящего в специализированную группу, которая будет консультировать операторов в случае запроектной аварии. Эта бригада включает персонал, знакомый с результатами анализа тяжелых аварий для данной станции.

325. Так как существующие обучающие тренажеры, как правило, не моделируют серьезные повреждения активной зоны, подготовка в области управления тяжелыми авариями сосредоточена на обходах станции, занятиях в аудиториях по изучению сопутствующих явлений и на стратегиях и/или руководствах по преодолению соответствующих угроз и рисков.

#### **4.6.3. Инженерно-технические средства управления аварией**

326. *Принцип: операторы обеспечиваются оборудованием, контрольно-измерительными приборами и вспомогательными средствами диагностики на случай возможной необходимости управления ходом и последствиями запроектных аварий.*

327. Развитие аномального поведения станции вследствие отказа оборудования или ошибки оператора может быть при определенных обстоятельствах весьма быстрым. В этом случае эксплуатационный персонал должен будет быстро установить причину и спланировать соответствующие корректирующие действия. Для помощи в этом предусматривается специальное оборудование. Сюда относятся контрольно-измерительные приборы с отображением показаний на щите управления, аттестованные для окружающих условий и способные обеспечить информацией, необходимой для распознавания аномальных условий, принятия решений по исправлению ошибок и определения эффекта от корректирующих действий. Примерами контрольно-измерительной аппаратуры, которая предусмотрена специально для управления аварией, служат системы определения изменения объема теплоносителя в контуре реактора с водой под давлением, средства контроля сверхвысоких давлений в защитной оболочке, средства контроля водорода и средства контроля активности теплоносителя первого контура.

328. Важной чертой проекта атомной станции во всех случаях является потенциал смягчения последствий аварий. Свидетельство этого – использование конструкций систем локализации и защитной оболочки. Благодаря заложенным в проекте запасам безопасности некоторое оборудование оказывается полезным в более тяжелых обстоятельствах, чем это предусматривалось первоначальными техническими условиями. В последние годы с целью ослабления тяжелых аварий в проекты станций были внесены определенные изменения, направленные на восстановление и поддержание функций охлаждения активной зоны и локализации. В некоторых случаях эти изменения включают использование вентиляционно-фильтрующих систем, дожигателей водорода и пассивных автокаталитических рекомбинаторов (см. таблицу II).

#### 4.7. СНЯТИЕ С ЭКСПЛУАТАЦИИ

329. *Принцип: при проектировании и эксплуатации станции внимание уделяется мерам, облегчающим снятие с эксплуатации и обращение с радиоактивными отходами. После окончания эксплуатации и удаления со станции отработавшего топлива осуществляется управление радиационными рисками таким образом, чтобы в процессе снятия станции с эксплуатации обеспечивалась охрана здоровья работников и населения.*

330. Остановленная станция эксплуатируется, пока не будет осуществлено ее снятие с эксплуатации, и в соответствии с этим она подпадает под действие обычных процессов и процедур контроля в целях обеспечения безопасности. В частности, применимы те принципы, которыми руководствуются в случае остановленного состояния станции (см. раздел 4.2.3.14). После окончания эксплуатационной деятельности и удаления со станции отработавшего топлива по-прежнему остается значительная радиационная угроза, которая требует контроля в целях обеспечения охраны здоровья работников и населения. Процесс удаления оборудования станции и его дезактивации можно облегчить в том случае, если на этапе проектирования уделить должное внимание вопросам снятия с эксплуатации и обращения с образующимися вследствие этого процесса радиоактивными отходами. Примерами тому могут быть применение материалов с целью минимизации остаточной активности (во временных масштабах, сопоставимых с временными рамками снятия с эксплуатации), минимизации перевозки радиоактивного материала, что таким образом минимизирует активацию долгоживущих радионуклидов, особенно легкоподвижных, таких как  $^{36}\text{Cl}$  и  $^{14}\text{C}$ , а также проектирование,

обеспечивающее простоту удаления. Подобные факторы в настоящее время учитываются при проектировании по иным причинам, таким как обеспечение простоты технического обслуживания, необходимость замены элементов и минимизация доз, получаемых работниками. Тем не менее, на этапе проектирования в ходе аудитов проекта будет также рассмотрено влияние проектных решений и изменений проекта на итоговый процесс снятия с эксплуатации и захоронения отходов. Аналогичным образом, в ходе эксплуатации и технического обслуживания и ремонта уделяется должное внимание тому факту, что станция будет в конечном итоге снята с эксплуатации. По этой причине, например, с должным качеством ведется регистрация данных контроля загрязнения и инцидентов, связанных с загрязнением. Эти данные помогут определить характеристики и разделить потоки отходов, возникающих в процессе снятия с эксплуатации и требующих захоронения, а также облегчат планирование радиационной защиты на этапе снятия с эксплуатации. Наконец, еще одним способом ограничения в процессе снятия с эксплуатации объема требующих захоронения отходов является снижение образования отходов до разумно достижимых уровней.

#### 4.8. АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ

331. Аварийное планирование и готовность предусматривают деятельность, необходимую для обеспечения возможности принятия в случае аварии всех мер, которые требуются для защиты населения и персонала станции, и упорядоченного принятия решений об использовании соответствующих служб.

332. В 1986 году вступила в силу Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии. В случае ядерной аварии в одном из государств – участников данной Конвенции, влекущей за собой реальный или потенциальный выброс радиоактивных материалов, который может привести к трансграничным эффектам, значимым для радиационной безопасности других государств, данное государство должно уведомить непосредственно или через МАГАТЭ те государства, которые могут быть затронуты этой аварией. Способность действовать в соответствии с этой Конвенцией является существенным аспектом аварийной готовности.

##### 4.8.1. Планы аварийных мероприятий

333. *Принцип: для обеспечения реализации защитных мер в случае аварии, которая ведет или потенциально может привести к значительному*

*выбросу радиоактивных материалов на площадке и за ее пределами, до пуска станции разрабатываются планы аварийных мероприятий, на основе которых периодически проводятся учения. Вокруг станции определяются зоны аварийного планирования, позволяющие осуществлять дифференцированное реагирование.*

334. Для принятия мер на площадке и вне ее в целях защиты населения от любых серьезных выбросов радиоактивных материалов за пределы станции готовятся соответствующие планы аварийных мероприятий. Эти планы надлежащим образом проверяются посредством учений с задействованием их составляющих коммуникации и логистики и обновляются на основе полученного опыта. Регулирующий орган анализирует такие проверки и, при необходимости, присутствует на них. В планах аварийных мероприятий определяются организационные меры, и распределяется ответственность за действия в аварийной ситуации; они являются достаточно гибкими и допускают возможность адаптации к конкретным условиям по мере их возникновения.

335. В планах аварийных мероприятий определяются действия, которые будут предприняты в случае тяжелой аварии для восстановления контроля над станцией, защиты персонала и населения и быстрой передачи необходимой информации регулирующему органу и другим компетентным органам. Установленные вокруг станции зоны аварийного планирования служат географической основой для принятия решений по реализации защитных мер как части дифференцированного реагирования. Такие меры при необходимости включают оперативное уведомление, укрытие и эвакуацию, радиозащитную профилактику и обеспечение защитным оборудованием, радиационный контроль, контроль за входом и выходом, дезактивацию, медицинскую помощь, снабжение продуктами питания и водой, контроль сельскохозяйственной продукции и распространение информации.

#### **4.8.2. Средства аварийного реагирования**

336. *Принцип: для целей аварийного реагирования за пределами площадки предусмотрен постоянно оборудованный аварийно-технический центр. На площадке предусмотрен аналогичный центр для руководства действиями в аварийной ситуации на станции и для поддержания связи со структурой аварийного реагирования за пределами площадки.*

337. Аварийно-технический центр за пределами площадки – это место, где определяются и инициируются все действия в аварийной ситуации, которые отличны от мер на площадке, направленных на восстановление контроля за

станцией и защиту персонала. Он оснащен надежными средствами связи с аналогичным центром на станции, со всеми важными подразделениями организаций и служб аварийного реагирования, таких как полиция, пожарная охрана, а также с государственными и общественными информационными агентствами. Поскольку коммерческая телефонная связь в аварийной ситуации может оказаться ненадежной, обеспечиваются также другие виды связи, например, выделенные телефонные линии или радиосвязь. В аварийно-технических центрах поступает информация о метеорологических условиях на площадке и об уровнях возможного излучения. Имеются карты местности с указанием зон аварийного планирования и их характеристик. Предусмотрены средства постоянной регистрации важной входящей и исходящей информации.

338. Местоположение аварийно-технического центра на площадке позволяет определять и инициировать все меры на площадке, не связанные с непосредственным удержанием станции под контролем. Он оснащен контрольно-измерительными приборами, передающими важные условия станции. Данный центр является местом, где будет осуществляться сбор данных об условиях на станции для передачи в аварийно-технический центр за пределами площадки. Предусматривается защитное оборудование для аварийного персонала.

#### **4.8.3. Оценка последствий аварии и радиологический мониторинг**

339. *Принцип: ответственный персонал на площадке имеет в своем распоряжении средства раннего прогнозирования масштабов и значимости любого выброса радиоактивных материалов в случае аварии, позволяющие проводить быструю и непрерывную оценку радиологической обстановки и устанавливать необходимость применения защитных мер.*

340. Руководство станции располагает методами оценки, позволяющими прогнозировать потенциальное облучение в результате реального или ожидаемого выброса радиоактивных материалов. Для оценки параметров источника выброса и мощности выброса используется мониторинг на площадке. Для получения данных за пределами площадки предусматриваются средства в виде мобильных групп радиологического мониторинга, а во многих случаях – сеть стационарных постов мониторинга. Имеются также аппаратура для быстрого анализа и интерпретации уровней и характера радиоактивности в большом количестве образцов.

341. Решение о необходимости применения защитных мер принимается на основе рекомендаций эксплуатирующей организации и уровней вмешательства

или руководств, установленных компетентными национальными или международными организациями. Соответствующие компетентные органы должны быстро получать информацию и быть способными принимать решения в соответствии с требованиями обстановки.



## Добавление

### ИЛЛЮСТРАЦИЯ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

А.1. Использование глубокоэшелонированной защиты при проектировании и эксплуатации АЭС основано на трех основополагающих принципах (разделы 3.2.1.-3.2.3). Глубокоэшелонированная защита определяет основу обеспечения безопасности большинства АЭС. Применение этой концепции в течение ряда лет позволило уточнить и усилить ее. Все анализы безопасности атомных электростанций, как детерминистические, так и вероятностные, связаны с оценкой характеристик станции, зависящих от использования различных режимов глубокоэшелонированной защиты и надежности этих режимов.

А.2. Существует множество таких режимов защиты населения и окружающей среды от возможности возникновения и от последствий аварий на АЭС, варьирующихся в зависимости от тех проблем, с которыми сталкиваются станции при различных аномальных событиях. Указанные режимы можно классифицировать исходя из сложности этих проблем; мерой их сложности может служить степень экстраординарности требований к оборудованию и к работе персонала или масштаб результирующих повреждений станции.

А.3. Концепция глубокоэшелонированной защиты, применяемая к существующим АЭС, иллюстрируется на рис. 3. Первая строка относится к стратегии глубокоэшелонированной защиты, имеющей две стороны: первая – предотвращение аварии, вторая – смягчение последствий аварии. На следующей строке рис. 3 приводится описание пяти эксплуатационных состояний АЭС:

- состояние 1: нормальная эксплуатация, в том числе состояние останова
- состояние 2: ожидаемые при эксплуатации события
- состояние 3: сложные события при эксплуатации и проектные аварии
- состояние 4: тяжелые аварии
- состояние 5: ситуации после тяжелой аварии.

А.4. Эксплуатационные состояния представлены в упорядоченном виде в соответствии с их тяжестью, возрастающей слева направо. Классы состояний начинаются с нормальной эксплуатации, при которой не возникает никаких опасностей для станции. Проблемы, вызываемые ожидаемыми событиями при эксплуатации преодолеваются непосредственно в результате правильного

срабатывания обычных систем станции. Более серьезные проблемы могут быть связаны с третьей категорией сложных событий при эксплуатации, границу которой составляют проектные аварии. Для таких событий в дополнение к защите, обеспечиваемой обычными системами станции, требуются инженерно-технические средства безопасности. Самыми последними на шкале тяжести событий помещены запроектные аварии; для них необходимы меры по управлению аварией, которые могут ограничить последствия нанесенного ущерба.

А.5. Размеры соответствующих прямоугольников в строке «Состояния» никоим образом не отражают уровень вероятности указанных в них состояний. Если бы была представлена наглядная шкала вероятности, то на диаграмме можно было различить лишь нормальные эксплуатационные события, как имеющие достаточно высокую вероятность. Тем не менее, приведенная здесь диаграмма дает простую систему координат глубокоэшелонированной защиты, необходимой для каждого состояния.

А.6. Третья строка на рис. 3 обозначает уровень глубокоэшелонированной защиты, связанный с каждым конкретным эксплуатационным состоянием. Основные цели, достижение которых обеспечивается применением принципов глубокоэшелонированной защиты, приведены для каждого уровня в четвертой строке. Одно из важных положений подхода глубокоэшелонированной защиты состоит в минимизации возможностей для отклонения текущего эксплуатационного состояния в сторону более тяжелых эксплуатационных состояний. Принимаемые для этого меры включают обеспечение соответствующих проектных пределов, использование самоограничивающихся характеристик, работы в стабильной отказоустойчивой области параметров, опору на пассивные средства безопасности и адекватную защиту от внешних событий. Необходимые средства, предусмотренные для достижения этих целей, указаны в пятой строке рис. 3.

А.7. Название шестой строки диаграммы – «Контроль». Она показывает, что нормальная станционная деятельность удовлетворяет требованиям в отношении событий, происходящих при нормальной эксплуатации, или же ожидаемых при эксплуатации событий. Отдельный набор мер потребуется для сложных эксплуатационных событий, имеющих значительно меньшую вероятность возникновения. На верхнем краю диапазона событий такие меры начинают включать управление аварией, в том числе меры по обеспечению удержания продуктов деления и других радиоактивных *материалов* в случаях, когда, возможно, происходит некоторое повреждение топлива. В отношении

Стратегия	Предотвращение аварии			Смягчение последствий аварии			
Эксплуатационное состояние станции	Нормальная эксплуатация	Ожидаемые события при эксплуатации	Проектные и сложные эксплуатационные состояния	Тяжелые запроектные аварии	Ситуация после тяжелой аварии		
Уровень глубокоэшелонированной защиты	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5		
Цели	Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов	Контроль за нарушениями нормальной эксплуатации и обнаружение отказов	Контроль аварий, тяжесть которых не превышает постулированного в проектных основах уровня	Контроль тяжелых состояний станции, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелых аварий, в том числе защита системы локализации	Смягчение радиологических последствий развития значительных выбросов радиоактивных материалов		
Необходимые средства	Консервативный проект и качество строительства и эксплуатации	Системы контроля, локализации и защиты и другие средства надзора	Инженерно-технические средства безопасности и аварийные процедуры	Дополнительные меры и управление аварией, в том числе защита системы локализации	Аварийное реагирование за пределами площадки		
Контроль	Нормальная эксплуатационная деятельность		Контроль аварий в пределах проектных основ	Управление аварией			
Процедуры	Нормальные эксплуатационные процедуры		Аварийные эксплуатационные процедуры	Конечная часть аварийных эксплуатационных процедур			
Реагирование	Системы нормальной эксплуатации		Инженерно-технические средства безопасности	Специальные проектные средства	Аварийная готовность за пределами площадки		
Состояние барьеров	Область установленных приемлемых проектных пределов топлива		Опас топлива	Тяжелое повреждение топлива	Плавление топлива	Неконтролируемое плавление топлива	Утрата функции локализации

Цветовой код

НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

ПОСТУЛИРОВАННЫЕ АВАРИИ

АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ

РИС. 3 Обзор глубокоэшелонированной защиты

тяжелых запроектных аварий в полном масштабе осуществляется управление аварией и управление тяжелой аварией с использованием – в целях уменьшения масштаба аварии и смягчения ее последствий – обычных систем станции, инженерно-технических средств безопасности, специальных проектных средств и аварийных мер за пределами площадки.

А.8. Остальные строки показывают, каким образом соответственно процедуры, реагирование и целостность барьеров могут зависеть от класса событий и их тяжести. В каждом случае полную картину дает вертикальная ось, проведенная через событие указанной степени тяжести.

А.9. Например, запроектная авария, тяжесть которой соответствует нижней части диапазона, может вести к повреждению активной зоны реактора, которое исключает повторное использование топливных элементов, возможно, с обширными искривлениями и нарушениями оболочек топливных стержней, но без расплавления самого топлива. Такая авария может привести к выделению части радиоактивных материалов в первый контур теплоносителя с последствиями, выходящими за рамки того, что детально представлено в аварийных эксплуатационных процедурах. В этом случае эксплуатационный персонал для уменьшения масштабов выброса радиоактивных материалов из первого контура теплоносителя и возвращения станции в контролируемое и охлаждаемое состояние будет использовать менее директивные и более индикативные конечные эксплуатационные процедуры. Эти процедуры предполагают использование обычных систем станции, инженерно-технических средств безопасности и специальных проектных средств. Уменьшение тяжести на этом уровне может быть настолько успешным, что не произойдет сколь угодно значительного выхода радиоактивных материалов за пределы системы локализации, а следовательно, аварийные меры за пределами площадки не потребуются.

А.10. На рис. 4 приведена вторая, дополнительная, иллюстрация глубокоэшелонированной защиты, где показано соотношение физических барьеров и уровней защиты, которые взяты вместе образуют глубокоэшелонированную защиту. На рисунке показано взаимодействие между этими элементами в виде последовательности препятствий между радиоактивным материалом в его нормальном состоянии и любым ущербом для населения или окружающей среды вследствие его распространения в результате аварии.

А.11. В центре рисунка – радиоактивный материал. Первый уровень глубокоэшелонированной защиты представляет собой сочетание консервативного проекта, обеспечения качества, деятельности по надзору и общей культуры безопасности, которая усиливает каждое из последовательных препятствий на пути выхода радиоактивных материалов.

А.12. Первые три физических барьера – это топливная матрица, оболочка топливного стержня и граница системы первого контура. Эти три барьера

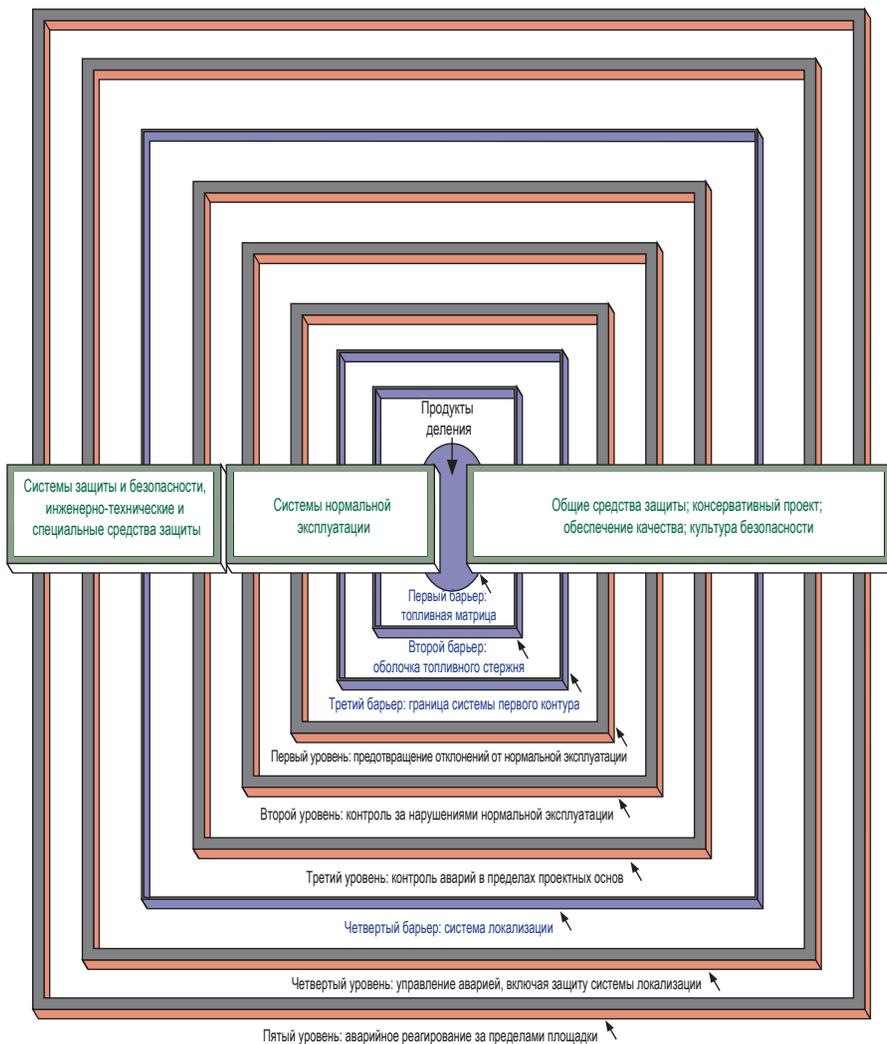


РИС. 4. Соотношение физических барьеров и уровней защиты в глубокоэшелонированной защите.

имеются на всех работающих сегодня или планируемых АЭС; на некоторых газоохлаждаемых реакторах имеется также еще один барьер в виде графитового замедлителя, в который включены частицы топлива с графитовым или керамическим покрытием.

А.13. Второй уровень глубокоэшелонированной защиты – это контроль за эксплуатацией, включая реагирование на нарушение нормальной эксплуатации

или на любой признак отказа систем. Этот уровень защиты предусматривается для обеспечения постоянной целостности первых трех барьеров. В совокупности они представляют собой системы нормальной эксплуатации и барьеры.

А.14. Третий уровень защиты обеспечивается теми инженерно-техническими средствами безопасности и защитными системами, которые предусмотрены для предотвращения развития отказов оборудования и ошибок персонала в проектные аварии, а проектных аварий – в тяжелые аварии, а также для удержания радиоактивных материалов внутри системы локализации.

А.15. Система локализации представляет собой четвертый барьер, который предусматривается в том случае, если нельзя показать, что эта функция может быть обеспечена иными средствами.

А.16. Четвертый уровень защиты состоит из мер, включающих управление аварией и управление тяжелой аварией и направленных на сохранение целостности системы локализации.

А.17. Пятый уровень – это меры аварийного реагирования за пределами площадки с целью уменьшения последствий выброса радиоактивных материалов во внешнюю среду.

А.18. Рис. 3 и 4 в основном относятся к существующим станциям. Для будущих станций они претерпят изменения, поскольку вероятность и последствия отказов барьеров будут уменьшены. В настоящее время проекты будущих станций не разработаны достаточно подробно для того, чтобы можно было составить эквивалентные диаграммы.

## **УКАЗАТЕЛЬ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРМИНОВ (по номерам пунктов)**

- Аварии, вызываемые ростом реактивности: 192–194  
Аварийная готовность: 23, 146, 332  
Аварийная готовность за пределами площадки: 23  
Аварийные эксплуатационные процедуры: 279, 290, 291, 324, А.9  
Аварийный теплоотвод: 207, 208  
Автоматические системы безопасности: 165, 168–173  
Анализ риска: 14  
Анализ тенденций параметров безопасности: 304  
Аттестация оборудования: 182  
Аттестация эксплуатационных процедур: 256, 257
- Ввод в эксплуатацию: 37, 77, 104, 133, 144, 241, 253–262, 285, 289, 307  
Вентиляционно-фильтрующие системы: 224  
Вероятностная оценка безопасности: 2, 60, 61, 102, 129, 280  
Вероятностный метод и анализ: 101, 175  
Вибрации крупных элементов: 185  
Внутренне присущие средства обратной связи: 193  
Возможности инспектирования оборудования систем безопасности: 186  
Время для принятия оператором решения : 238  
Выбор площадки: 23, 74, 131, 133, 134, 181  
Высокие технологии: 90
- Глубокоэшелонированная защита: 8, 23, 28, 44, 45, 46–55, 62, 64, 116–117, 124, 126, 133, 181, 199, 204, 227, 228, 307, А.1, А.3, А.5, А.6, А.10, А.11, рис. 3, А.13, рис. 4
- Детерминистический метод и анализ: 21, 100, 101  
Дифференцированное реагирование в аварийной ситуации: 335  
Дожигатели водорода: 223, 328  
Документация по техническому обоснованию безопасности: 97, 98, 152
- Единичный отказ: 171
- Зависимые отказы: 177  
Запроектные аварии: 146, 222, 291, 314, 318, 319, 324, А.4, А.7  
Защита системы локализации: 221  
Защитная оболочка: 27, 62, 97, таблица II, 128, 206, 218, 222–225, 321, 327, 328  
Значительное повышение риска: 14

Изготовление и сооружение: 71, 179, 245, 247, 250  
Инженерно-технические средства безопасности: 21, таблица I, 64, 65, 97, 146, 169, 171, А.4, А.7, А.9, А.14  
Инженерно-технические средства безопасности для управления аварией: 324–326, А.7  
Исследования в области безопасности: 23, 40, 76, 103, 109, 300

Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии: 332  
Конкурирующие энергоисточники: 14  
Конструкция, устойчивая к ошибке человека: 92  
Коренные причины: 85, 110  
Критичность: 257, 289  
Культура безопасности: 2, 20, 29–34, 50, 57, 116, 117, 133, 134, 151, 287, А.11

Локализация: 23, 48, 65, 187, 189, 210, 217–226, 230, 232, 314, 328, А.9, А.14, А.15, А.16

Мониторинг состояния безопасности станции: 227

На разумно достижимом низком уровне: 16  
Надежный долгосрочный поглотитель тепла: 142  
Наилучшие эксплуатационные методы: 115, 116, 119–123  
Наличие персонала и оборудования: 284  
Независимая проверка: 39  
Незапланированная критичность: 289  
Нормальный теплоотвод: 203, 207

Обеспечение качества: 50, 59, 74–84, 93, 153, 199, 249, 251, 252, 289, 305, 312, 313, А.11  
Обесточивание станции: 233–236  
Обратная связь по реактивности: 193  
Ожидаемые переходные режимы без срабатывания аварийной защиты : 202  
Осуществимость планов аварийных мероприятий: 140, 141  
Ответственность эксплуатирующей организации: 35, 297  
Отказы по общей причине: 126, 171, 180, 184  
Оценка безопасности: 2, 34, 60, 61, 76, 96, 97, 102, 103, 129, 234, 280, 301

Подбор и подготовка кадров: 79  
Подготовка и переподготовка: 94, 278  
Пороговые эффекты: 52  
Предельная прочность защитной оболочки: 222, 223

Предотвращение аварий: 20, 22, 25, 26, 45, 64, 126, 144, 314, А.3  
Принципы безопасности и регулирующие требования: 4–6  
Проверка проекта: 255  
Проектные аварии: Таблица I, 237–239, 315  
Процедуры, относящиеся к конечным аварийным ситуациям: 291, 324

Работы с высокими дозовыми нагрузками: 107  
Радиационная защита: 12, 16–18, 104, 106, 108, 188, 189, 255, 256, 279–281, 291, 295, 330  
Радиологический контроль: 339, 340  
Разнопринципность: 58, 62, 126, 176, 178  
Реалистичное моделирование в оценке безопасности: 157  
Регулирующие требования: 6, 151, 248, 270  
Руководитель станции: 265, 266, 269, 270, 300, 301, 313

Самооценка: 83–85, 116, 117  
Серьезное повреждение активной зоны: 21, 27, 56, 60, 130, 147, 162, 202, 208, 325  
Симптомно-ориентированное аварийное реагирование: 235–237, 288, 289, 316–320  
Системы аварийного останова: 195, 201  
Системы автоматического останова: 200–202  
Системы удержания обломков топлива: 224  
Системы управления технологическими процессами : 164  
Смягчение последствий аварии: 45, 63–66, 117, 314, 328, А.3  
Снятие с эксплуатации: 104, 133, 190, 243, 329, 330  
Сохранение способности управления: 230  
Средства для применения на будущих АЭС : 25–27, 124–132  
Станции, имеющие несколько энергоблоков: 179  
Старение: 114, 120, 182–185, 303, 306, 307  
Стохастические эффекты: 18  
Стремление к совершенству: 1

Теплоотвод естественной циркуляцией: 208  
Техническая поддержка: 266, 278–280, 282, 296  
Тренажеры: 278, 279, 324, 325  
Трециностойкость: 216  
Тяжелые аварии: 19, 22–25, 27, таблица I, 51, 60, 66, 102, 113, 114, 124, 129, 183, 222, 225, 281, 291, 320, 322, 324, 325, 328, А.3, А.7, А.14

Управление аварией: 23, 27, таблица I, 60, 64–66, 92, 116, 133, 146, 268, 314–327, А.7, А.16

Управление безопасностью: 31

Учет эксплуатационного опыта : 133, 289, 299

Физическое разделение элементов, связанных с безопасностью: 58, 178–181

Функции безопасности: 47, 62, 93, 126, 177, 191, 232, 239, 291, 308

Целевые и защищенные системы отвода остаточного тепла: 208

Целевые показатели безопасности: 100, 129

Целевые показатели надежности: 2, 174–176

Целостность активной зоны: 195

Целостность системы теплоносителя : 209

Целостность системы теплоносителя реактора: 209

Человеческий фактор: 89–95

Экспертные рассмотрения: 86–88, 116, 117, 157

Эксплуатационные пределы и условия: 280, 284, 285

Эксплуатационные процедуры: 58, 144, 152, 238, 259, 263, 270, 279, 288–291, 324, А.9

## **ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Абагян, А.А.	Ma, Y.
Allan, C.J.	Matsuura, S.
Baer, A.	Quéniart, D.
Birkhofer, A. ( <i>председатель</i> )	Sajaroff, P.
Chang, S.H.	Taylor, R.H.
Gonzalez-Gomez, E.	Vita, J.
Kakodkar, A.	Winkler, B.C.
Levy, S.	

### **РАБОЧАЯ ГРУППА ИНСАГ**

Allan, C.J.	Quéniart, D.
Birkhofer, A.	Sajaroff, P.
Kakodkar, A.	Taylor, R.H.
Levy, S. ( <i>председатель</i> )	

### **ПРИГЛАШЕННЫЕ ЭКСПЕРТЫ**

Frescura, G.	Madden, V.
--------------	------------

### **СОТРУДНИКИ МАГАТЭ**

Höhn, J.	Zhong, W. ( <i>секретарь по научным вопросам</i> )
----------	---

Г-н В. Чжун (W. Zhong) из Секретариата МАГАТЭ является ответственным сотрудником по связанным с ИНСАГ вопросам в Департаменте ядерной безопасности.



## СПИСОК УЧАСТНИКОВ РАЗРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВЕРСИИ 75-INSAG-3

### ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Birkhofer, A.	Nozawa, M.
Chung, K.T.	Rabold, H.
Dai, C.	Сидоренко, В.А.
Edmondson, B.	Tanguy, P.
Kouts, H.J.C.	Veeraraghavan, N.
Lepecki, W.	Vuorinen, A.P. ( <i>председатель</i> )
Meneley, D.	

### РАБОЧАЯ ГРУППА ИНСАГ

Edmondson, B.	Meneley, D.
Kouts, H.J.C. ( <i>председатель</i> )	Vuorinen, A.P.

### РАБОЧАЯ ГРУППА ЭКСПЕРТОВ

Domaratzki, Z.	Исаев, А.
Guimbail, H.	Krüger, F.W.
Harrison, J.R.	Mattson, R.J. ( <i>председатель</i> )
Herttrich, P.M.	Prêtre, S.
Högberg, L. ( <i>сопредседатель</i> )	Soda, K.

## ПРИГЛАШЕННЫЕ ЭКСПЕРТЫ

Bukrinski, A.M.

Mattson, R.J.

## СОТРУДНИКИ МАГАТЭ

Almeida, C.

Константинов, Л.В.

Bliselius, P.

Laaksonen, J.T.

Collins, H.

Lederman, L.

Fischer, J.

Niehaus, F.

Franzen, L.F.

Novak, S.

Giuliani, P.

Palabrica, R.

Haydin, M.

Rosen, M.

Iansiti, E. (*секретарь по  
научным вопросам ИИНСАГ*)

Salo, A.

Jankowski, M.

Thomas, B.

Karbassioun, A.

Толстых, В.Д.

Kenneke, A.

Yaremy, E.

## ПУБЛИКАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

75-INSAG-1	Итоговый доклад о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле	1988
75-INSAG-2	Характеристики источника выброса радионуклидов при крупных авариях на атомных электростанциях с легководными реакторами	1988
75-INSAG-3	Основные принципы безопасности атомных электростанций	1989
75-INSAG-4	Культура безопасности	1991
75-INSAG-5	Безопасность ядерной энергетики	1994
75-INSAG-6	Вероятностный анализ безопасности	1994
75-INSAG-7	Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1	1993
INSAG-8	Общая основа для оценки безопасности атомных электростанций, сооруженных в соответствии с ранее принятыми нормами	1996
INSAG-9	Потенциальное облучение и ядерная безопасность	1996
INSAG-10	Глубокоэшелонированная защита в ядерной безопасности	1998
INSAG-11	The safe management of sources of radiation: Principles and strategies	1999





# IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 23

## ЗАКАЗ В СТРАНАХ

В указанных странах платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы бесплатных публикаций следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

### **АВСТРАЛИЯ**

#### ***DA Information Services***

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIA

Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788

Эл. почта: books@dadirect.com.au • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

### **БЕЛЬГИЯ**

#### ***Jean de Lannoy***

Avenue du Roi 202, 1190 Brussels, BELGIUM

Телефон: +32 2 5384 308 • Факс: +32 2 5380 841

Эл. почта: jean.de.lannoy@euronet.be • Веб-сайт: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### **КАНАДА**

#### ***Renouf Publishing Co. Ltd.***

5369 Canotek Road, Ottawa, ON K1J 9J3, CANADA

Телефон: +1 613 745 2665 • Факс: +1 643 745 7660

Эл. почта: order@renoufbooks.com • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

#### ***Bernan Associates***

4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, USA

Телефон +1 800 8653457 • Факс: 1 800 865 3450

Эл. почта: orders@bernan.com • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

### **ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА**

#### ***Suweco CZ, spol. S.r.o.***

Klecakova 347, 180 21 Prague 9, CZECH REPUBLIC

Телефон +420 242 459 202 • Факс: +420 242 459 203

Эл. почта: nakup@suweco.cz • Веб-сайт: <http://www.suweco.cz>

### **ФИНЛЯНДИЯ**

#### ***Akateeminen Kirjakauppa***

PO Box 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki, FINLAND

Телефон: +358 9 121 41 • Факс: +358 9 121 4450

Эл. почта: akatilaus@akateeminen.com • Веб-сайт: <http://www.akateeminen.com>

### **ФРАНЦИЯ**

#### ***Form-Edit***

5 rue Janssen, PO Box 25, 75921 Paris CEDEX, FRANCE

Телефон: +33 1 42 01 49 49 • Факс: +33 1 42 01 90 90

Эл. почта: fabien.boucard@formedit.fr • Веб-сайт: <http://www.formedit.fr>

#### ***Lavoisier SAS***

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCE

Телефон: +33 1 47 40 67 00 • Факс: +33 1 47 40 67 02

Эл. почта: livres@lavoisier.fr • Веб-сайт: <http://www.lavoisier.fr>

#### ***L'Appel du livre***

99 rue de Charonne, 75011 Paris, FRANCE

Телефон: +33 1 43 07 50 80 • Факс: +33 1 43 07 50 80

Эл. почта: livres@appeldulivre.fr • Веб-сайт: <http://www.appeldulivre.fr>

### **ГЕРМАНИЯ**

#### ***Goethe Buchhandlung Teubig GmbH***

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, GERMANY

Телефон: +49 (0) 211 49 8740 • Факс: +49 (0) 211 49 87428

Эл. почта: s.dehaan@schweitzer-online.de • Веб-сайт: <http://www.goethebuch.de>

### **ВЕНГРИЯ**

#### ***Librotrade Ltd., Book Import***

PF 126, 1656 Budapest, HUNGARY

Телефон: +36 1 257 7777 • Факс: +36 1 257 7472

Эл. почта: books@librotrade.hu • Веб-сайт: <http://www.librotrade.hu>

## **ИНДИЯ**

### **Allied Publishers**

1<sup>st</sup> Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Mumbai 400001, INDIA

Телефон: +91 22 2261 7926/27 • Факс: +91 22 2261 7928

Эл. почта: [alliedpl@vsnl.com](mailto:alliedpl@vsnl.com) • Веб-сайт: <http://www.alliedpublishers.com>

### **Bookwell**

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA

Телефон: +91 11 2760 1283/4536

Эл. почта: [bkwell@nde.vsnl.net.in](mailto:bkwell@nde.vsnl.net.in) • Веб-сайт: <http://www.bookwellindia.com/>

## **ИТАЛИЯ**

### **Libreria Scientifica "AEIOU"**

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milan, ITALY

Телефон: +39 02 48 95 45 52 • Факс: +39 02 48 95 45 48

Эл. почта: [info@libreriaaeiou.eu](mailto:info@libreriaaeiou.eu) • Веб-сайт: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

## **ЯПОНИЯ**

### **Maruzen Co., Ltd.**

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPAN

Телефон: +81 3 6367 6047 • Факс: +81 3 6367 6160

Эл. почта: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Веб-сайт: <http://www.maruzen.co.jp>

## **НИДЕРЛАНДЫ**

### **Martinus Nijhoff International**

Koraalrood 50, Postbus 1853, 2700 CZ Zoetermeer, NETHERLANDS

Телефон: +31 793 684 400 • Факс: +31 793 615 698

Эл. почта: [info@nijhoff.nl](mailto:info@nijhoff.nl) • Веб-сайт: <http://www.nijhoff.nl>

## **СЛОВЕНИЯ**

### **Cankarjeva Založba dd**

Kopitarjeva 2, 1515 Ljubljana, SLOVENIA

Телефон: +386 1 432 31 44 • Факс: +386 1 230 14 35

Эл. почта: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Веб-сайт: [http://www.mladinska.com/cankarjeva\\_zalozba](http://www.mladinska.com/cankarjeva_zalozba)

## **ИСПАНИЯ**

### **Diaz de Santos, S.A.**

Librerias Bookshop • Departamento de pedidos

Calle Albasanz 2, esquina Hermanos Garcia Noblejas 21, 28037 Madrid, SPAIN

Телефон: +34 917 43 48 90 • Факс: +34 917 43 4023

Эл. почта: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es) • Веб-сайт: <http://www.diazdesantos.es/>

## **СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО**

### **The Stationery Office Ltd. (TSO)**

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, UNITED KINGDOM

Телефон: +44 870 600 5552

Эл. почта (заказы): [books.orders@tso.co.uk](mailto:books.orders@tso.co.uk) • (справки): [book.enquiries@tso.co.uk](mailto:book.enquiries@tso.co.uk) • Веб-сайт: <http://www.tso.co.uk>

## **СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ**

### **Bernan Associates**

4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, USA

Телефон: +1 800 865 3457 • Факс: 1 800 865 3450

Эл. почта: [orders@bernan.com](mailto:orders@bernan.com) • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

### **Renouf Publishing Co. Ltd.**

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669, USA

Телефон: +1 888 551 7470 • Факс: +1 888 551 7471

Эл. почта: [orders@renoufbooks.com](mailto:orders@renoufbooks.com) • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

### **Организация Объединенных Наций (ООН)**

300 East 42<sup>nd</sup> Street, IN-919J, New York, NY 1001, USA

Телефон: +1 212 963 8302 • Факс: +1 212 963 3489

Эл. почта: [publications@un.org](mailto:publications@un.org) • Веб-сайт: <http://www.unp.un.org>

## **Заказы платных и бесплатных публикаций можно направлять непосредственно по адресу:**

IAEA Publishing Section, Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22488 • Факс: +43 1 2600 29302

Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>





INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA  
ISBN 978-92-0-401315-3  
ISSN 1025-2193