

INSAG-14

БЕЗОПАСНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ
СРОКАМИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ
АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

INSAG-14

ДОКЛАД
МЕЖДУНАРОДНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

INSAG



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

В соответствии со статьей III своего Устава МАГАТЭ уполномочено устанавливать или принимать нормы безопасности для защиты здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

Публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы, выпускаются в Серии норм МАГАТЭ по безопасности. В этой серии охватываются вопросы ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов. **Категории публикаций в этой серии это Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности.**

Информацию о программе МАГАТЭ по нормам безопасности можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

На этом сайте содержатся тексты опубликованных норм безопасности и проектов норм безопасности на английском языке. Тексты норм безопасности выпускаются на арабском, испанском, китайском, русском и французском языках, там также можно найти глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности и доклад о ходе работы над еще не выпущенными нормами безопасности. Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Всем пользователям норм МАГАТЭ по безопасности предлагается сообщать МАГАТЭ об опыте их использования (например, в качестве основы для национальных регулирующих положений, для составления обзоров безопасности и учебных курсов) в целях обеспечения того, чтобы они попрежнему отвечали потребностям пользователей. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ в Интернете или по почте (см. адрес выше), или по электронной почте по адресу Official.Mail@iaea.org.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

МАГАТЭ обеспечивает применение норм и в соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между своими государствами-членами.

Доклады по вопросам безопасности в ядерной деятельности выпускаются в качестве **докладов по безопасности**, в которых приводятся практические примеры и подробные описания методов, которые могут использоваться в поддержку норм безопасности.

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве публикаций по **аварийной готовности и реагированию, докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **TECDOC**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиологическим авариям, учебные пособия и практические руководства, а также другие специальные публикации по вопросам безопасности.

Публикации по вопросам физической безопасности выпускаются в **Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности**.

Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из информационных публикаций, предназначенных способствовать и содействовать научноисследовательской работе в области ядерной энергии, а также развитию ядерной энергии и ее практическому применению в мирных целях. В ней публикуются доклады и руководства о состоянии технологий и успехах в их совершенствовании, об опыте, образцовой практике и практических примерах в области ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации.

БЕЗОПАСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

INSAG-14

Доклад Международной группы по ядерной безопасности

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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-14

БЕЗОПАСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

INSAG-14

ДОКЛАД МЕЖДУНАРОДНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2014 ГОД

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
веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

© МАГАТЭ, 2014

Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Август 2014 года
STI/PUB/1085

БЕЗОПАСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СРОКАМИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2014 ГОД
STI/PUB/1085
ISBN 978–92–0–407514–4
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

МОХАМЕД ЭЛЬБАРАДЕЙ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР

Деятельность Международного агентства по атомной энергии, связанная с ядерной безопасностью, основывается на ряде предпосылок. Первая и наиважнейшая 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 события. Наконец, образ ядерной энергетики имеет международный характер; серьезная авария, где бы она ни произошла, повсеместно оказывает воздействие на позицию общественности по отношению к ядерной энергетике.

В целях усиления своего вклада в обеспечение безопасности атомных электростанций МАГАТЭ учредило Международную консультативную группу по ядерной безопасности (ИНСАГ), в обязанности которой входит служить форумом для обмена информацией по вопросам ядерной безопасности, имеющим международное значение, и формулировать, когда это возможно, общеприемлемые концепции безопасности.

В настоящем докладе ИНСАГ рассмотрен общий подход к безопасному управлению сроками эксплуатации атомных электростанций. Он дает ответы на вопросы о поддержании достаточного уровня безопасности на станциях с большим сроком эксплуатации и даже после проектного срока службы.

Поддержание достаточного уровня безопасности подразумевает, в первую очередь, строгий контроль старения оборудования, согласующийся с проектными основами безопасности станции. Тем не менее, как указано в докладе 75-INSAG-3 «Основные принципы безопасности атомных электростанций», ядерная безопасность требует постоянного поиска совершенства, что подразумевает повышение безопасности эксплуатации атомных электростанций до самого высокого разумно достижимого на практике уровня при должном учете опыта и научных достижений. Кроме того, с учетом современной ситуации в ядерной отрасли во многих странах, имеющих ядерные программы, могут возникать проблемы с поддержанием соответствующей компетентности.

Упомянутые вопросы рассматриваются в данном последнем докладе ИНСАГ. Я удовлетворен тем, что получил этот доклад и рад предложить его более широкой аудитории.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
2.	ОБЩАЯ ЦЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ.....	4
3.	ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ.....	4
4.	СООБРАЖЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СООРУЖЕНИЮ	7
5.	СРАВНЕНИЕ С ПРОЕКТНОЙ ОСНОВОЙ	9
	5.1. Поддержание проектного уровня безопасности станции . . .	9
	5.2. Контроль эффектов старения.	10
	5.3. Оборудование, ограничивающее срок службы	12
	5.4. Оценка результатов надзора	13
	5.5. Предвидение возможных работ по ремонту или замене. . . .	14
6.	РАССМОТРЕНИЕ РЕФЕРЕНТНЫХ УРОВНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ	15
	6.1. Референтные уровни безопасности станции	15
	6.2. Разумно достижимое на практике повышение референтных уровней безопасности.	17
	6.3. Стабильность референтных уровней безопасности	17
7.	РАССМОТРЕНИЯ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ	19
8.	ИНФРАСТРУКТУРНАЯ ПОДДЕРЖКА БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	21
	8.1. Поддержание надлежащей компетентности	21
	8.2. Управление существенными организационными изменениями	23
	8.3. Совершенство в эксплуатации.	24
9.	ОТВЕТСТВЕННОСТЬ РУКОВОДСТВА	25

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	29
ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	31
ПУБЛИКАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	32

1. ВВЕДЕНИЕ

1. За последние десять – двадцать лет ситуация в мировой ядерной энергетике значительно изменилась. В 1970-х и 1980-х годах, в связи с растущей потребностью в энергии было построено и введено в эксплуатацию много новых атомных электростанций. Мощность этих новых станций была выше, а экономические показатели – лучше, чем у ранее построенных станций. В подобной ситуации решения о закрытии более старых установок ввиду их устаревания в техническом отношении и относительно слабых экономических показателей принимались сравнительно легко. Многие из станций раннего поколения не находились в эксплуатации свыше 20–25 лет.

2. В настоящее время в некоторых странах с возрастающим потреблением электроэнергии по-прежнему существуют программы строительства атомных электростанций. В то же время во многих странах, где станции были построены в 1970-х–1980-х годах, ввиду медленного роста потребления электроэнергии отсутствует срочная необходимость начала широкомасштабного строительства новых электростанций, будь то атомных или неатомных. Другие страны находятся в неблагоприятных экономических условиях, и даже если рост электрогенерирующих мощностей был бы желателен, значительные капиталовложения, требуемые для строительства новых атомных электростанций, в настоящий момент не представляются возможными, более того, имеют место трудности с поддержанием достаточного уровня безопасности на существующих атомных электростанциях.

3. В то же время энергетические рынки в своем большинстве становятся более открытыми и конкурентными. В подобных обстоятельствах эксплуатирующие организации, особенно те, которые ведут эксплуатацию атомных электростанций, находят весьма привлекательным продление сроков эксплуатации своих станций с наименьшими возможными затратами. Те атомные электростанции, которые были введены в эксплуатацию в течение 1970-х–1980-х годов, были обычно спроектированы в расчете на 30–40-летние сроки эксплуатации; некоторые эксплуатирующие организации в настоящее время изучают возможность продления сроков эксплуатации отдельных станций до 45, 50 или даже 60 лет.

4. Данные соображения требуют того, чтобы вопросам управления сроками эксплуатации атомных электростанций уделялось повышенное внимание. В этом отношении критическим вопросом является решение об

окончании срока службы станции. Подобное решение обычно принимается под воздействием экономических соображений, учитывающих техническое и нормативное состояние станции, а также ее технически возможный и обоснованный остаточный срок службы. Однако оно не является свободным от предшествующих решений по вопросам старения, исследований в целях модернизации и станционных модификаций. В этой связи надлежащее управление сроками эксплуатации атомных электростанций поможет свести к минимуму либо полностью снять с повестки дня преждевременные либо не являющиеся неизбежными закрытия станций.

5. Основным принципом является обеспечение в любой момент времени на каждой подобной станции высокого уровня безопасности, согласно рекомендациям доклада 75-INSAG-3 «Основные принципы безопасности атомных электростанций» [1]. Поэтому важной, особенно для тех стран, где атомные электростанции производят значительную часть поставляемой электроэнергии, является возможность предвидения проблем старения и всестороннего исследования необходимости замены станции задолго до того момента, когда по экономическим соображениям окажется невозможным поддерживать приемлемое состояние безопасности. Сооружение электростанций, использующих органическое топливо, занимает несколько лет, а в случае ядерных энергоблоков этот временной интервал даже больше. Решения о заказе сооружения новых электрогенерирующих мощностей должны приниматься своевременно и с учетом потенциальных технических трудностей на этапе проектирования и сооружения, а также необходимости получения лицензии на эксплуатацию. Обобщенно, во избежание конфликта между удовлетворением потребностей в производстве электроэнергии и состоянием безопасности атомных электростанций, проблемы, связанные со старением, должны решаться эксплуатирующими, строительными и регулирующими организациями таким образом, чтобы высокий уровень безопасности эффективно поддерживался в любой момент времени.

6. В данном докладе ИНСАГ представлен общий подход к безопасному управлению сроками эксплуатации атомных электростанций. Он дополняет доклад INSAG-8 «Общая основа для оценки безопасности атомных электростанций, сооруженных в соответствии с ранее принятыми нормами» [2], который содержит концептуальный подход к работе с различиями между уровнями безопасности действующих атомных электростанций, сооруженных в соответствии с ранее принятыми нормами, и современными уровнями безопасности. Настоящий доклад имеет дело с эволюцией безопасности атомных электростанций во взаимосвязи с условиями и историей их эксплуатации.

7. Несмотря на то, что риски и расходы, связанные с атомными электростанциями, не становятся нулевыми с окончанием срока эксплуатации, в настоящем докладе не рассматриваются ни аспекты вывода из эксплуатации, ни аспекты хранения и захоронения отработавшего топлива. Тем не менее, следует признать, что управление полным жизненным циклом атомной электростанции включает в себя вышеупомянутые аспекты и что некоторые конструкции, системы и элементы необходимы для поддержания безопасности после окончания срока эксплуатации станции, либо могли бы способствовать этому.

8. Данный доклад:

- предлагает общую цель безопасности в связи с безопасным управлением сроками эксплуатации атомных электростанций;
- рассматривает процессы старения, которые могут ухудшать целостность конструкций и элементов с течением времени;
- представляет ряд соображений по вопросам старения, которые следует принимать во внимание на этапах проектирования и сооружения новых станций;
- представляет принципы обращения с физическим старением конструкций и элементов с целью поддержания соответствия эксплуатируемых станций их первоначальной проектной основе;
- подчеркивает необходимость проверки того, являются ли уровни безопасности находящихся в эксплуатации станций по-прежнему приемлемыми, или же, возможно, требуется их повышение;
- способствует продвижению рассмотрений вопросов безопасности в качестве хорошего средства решения данных вопросов;
- обращает внимание на вопросы инфраструктуры, которые могут оказывать влияние на возможность предоставления адекватных средств безопасного управления сроками эксплуатации атомных электростанций, а также подчеркивает, что в этих областях также требуется надлежащее управление;
- указывает на различные, но при этом взаимозависимые роли эксплуатирующей организации и регулирующего органа в безопасном управлении сроками эксплуатации атомных электростанций.

2. ОБЩАЯ ЦЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель:

9. *Общая цель безопасности в области безопасного управления сроками эксплуатации атомных электростанций – поддержание уровня безопасности каждой станции в любое время выше ее референтного уровня, определяемого соответствующим обоснованием безопасности, которое, будучи основой для безопасной эксплуатации, в то же время соответствует требованиям регулирующего органа.*

10. Данная общая цель охватывает два аспекта. Во-первых, характеристики различных конструкций и элементов, связанных с безопасностью атомной электростанции, не должны в результате деградации оказаться ниже предусмотренных проектом значений, которые включают в себя запасы, учитывающие эффекты старения. Во-вторых, ожидаемый и приемлемый на момент проектирования уровень безопасности может впоследствии оказаться недостаточным, и его приемлемость для дальнейшей эксплуатации должна быть оценена.

3. ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ

11. Старение атомной электростанции, если не осуществлять должное управление им, может привести к падению уровня безопасности эксплуатации ниже референтного уровня безопасности, установленного на этапах проектирования и сооружения станции и являвшегося до начала эксплуатации приемлемым для регулирующего органа.

12. Конструкции и элементы атомной электростанции, как и любого другого промышленного объекта, подвержены физическим изменениям, вызванным старением. Физическое старение включает в себя изменения (часто - деградацию) характеристик конструкций и элементов, возникающие вследствие условий их эксплуатации или хранения; при этом скорости подобных изменений значительно различаются. Зависящие от времени деградации могут оказывать значительное воздействие на безопасность, надежность, производительность и рентабельность промышленных установок. Например, физическое старение при отсутствии надлежащего

контроля над ним может вызывать увеличение частоты и магнитуды аномальных событий и приводить к потере готовности или досрочному закрытию станции.

13. Поэтому нормальной производственной практикой является ремонт, обновление или замена отказавшего станционного оборудования, а также в отдельных случаях - станционных элементов, надежность которых оказалась под сомнением. В действительности некоторые элементы заменяются до их отказа в соответствии с графиком, учитывающим историю отказов данного или сходных изделий.

14. Особенные трудности возникают в случаях, когда некое изделие более не является доступным в силу того, что оно было в техническом отношении замещено другим, или того, что поставщик либо более не существует физически, либо более не производит данное изделие. Это затрагивает в первую очередь контрольно-измерительные системы ввиду быстрого технологического прогресса в данной области, в ходе которого цифровое оборудование и компьютеризованные системы последовательно вытесняют системы на основе реле. Эти новые технологии сами по себе меняются чрезвычайно быстро, так что проведение технического обслуживания и обеспечение наличия запасных частей для заменяемых систем может также обернуться сложной задачей задолго до окончания срока эксплуатации станции.

15. Практические методы эксплуатации атомных электростанций, разработанные четыре десятилетия назад при отсутствии значительного эксплуатационного опыта, отличаются от обычной производственной практики тем, что они в значительно большей степени базируются на эксплуатационном надзоре, мониторинге, инспекциях, тестировании и инженерной оценке. Имеется существенная связь между сроками эксплуатации атомных электростанций, которые зависят от оценки эффектов деградации, связанных с возрастом, и от определения средств обращения с этими дефектами, и деятельностью по эксплуатационному надзору, мониторингу, инспекции, тестированию и инженерной оценке. Эта связь больше, чем просто демонстрация того, что некая конкретная программа или группа программ (например, инспекции в процессе эксплуатации) может управлять развитием некоего конкретного эффекта (например, коррозией и уменьшением толщины стенки). Она требует всестороннего анализа всех связанных факторов, в том числе периодичности данных программ, строгости критериев приемлемости, масштаба корректирующих мер и облучения персонала. Такая оценка позволяет удостовериться в том,

что управление эффектами старения с помощью стратегий эксплуатации и технического обслуживания гарантирует, что конструкции, системы и элементы будут продолжать выполнять функции безопасности.

16. Срок эксплуатации атомной электростанции ограничен по тем же причинам, что и срок эксплуатации любой иной промышленной установки, а именно – по причинам физического старения конструкций и элементов. Тем не менее, некоторые особенности атомных электростанций выделяют их из общего ряда промышленных предприятий, а именно:

- механизмы деградации, непосредственно связанные с использованием ядерной энергии; типичным примером является охрупчивание корпуса реактора с водой под давлением, вызванное потоком нейтронов из активной зоны реактора;
- дозы облучения (индивидуальные и коллективные), которые работники могут получать при проведении эксплуатационного надзора; доступ в отдельные зоны возможен только после существенного снижения уровней мощности дозы или при использовании оборудования, специально разработанного для этой цели;
- потенциально высокие дозы излучения, которые могут также препятствовать выполнению ремонта или замене отдельных стационарных элементов ввиду чрезмерного риска для работающих; вновь типичным примером может являться корпус реактора с водой под давлением.

17. Выявление возможных механизмов деградации происходит с учетом опыта эксплуатации и результатов исследований. Поэтому важно, чтобы связи между эксплуатирующими организациями развивались и обеспечивали поддержку обмена информацией по опыту эксплуатации и оптимизации исследований. Однако имеются ограничения по качеству прогнозирования воздействия механизмов деградации, прежде всего потому, что испытания не всегда могут проводиться в течение длительных периодов времени, а также потому, что они могут неточно воспроизводить реальные стационарные условия. Имеются примеры возникновения трещин из-за коррозии или вибрации, которые не были предсказаны, однако реально имели место при эксплуатации атомных электростанций. Следует обращать особое внимание на ситуации, когда предлагается изменение условий эксплуатации атомной электростанции; например, небольшое повышение значений рабочих температур может повлечь за собой значительное ускорение развития коррозионных явлений.

18. В этой связи важно, чтобы в течение всего срока эксплуатации станций проводились всесторонние и систематические исследования для того, чтобы:

- расширять либо улучшать понимание существенных механизмов старения;
- определять причины любого отказа либо непредвиденной деградации, имевших место в ходе эксплуатации;
- развивать существующие и разрабатывать новые технологии для улучшения перспектив своевременного обнаружения деградации, связанной со старением;
- вести поиск возможностей для контроля скорости процессов старения либо смягчения их воздействия.

4. СООБРАЖЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СООРУЖЕНИЮ

Принцип:

19. Механизмы деградации, которые могут наносить ущерб конструкциям, системам и элементам, связанным с безопасностью атомной электростанции, принимаются во внимание на этапе проектирования. В проекте предусматриваются меры, позволяющие проводить надлежащие мероприятия по обследованию оборудования в течение всего срока эксплуатации станции в целях проверки постоянной приемлемости эксплуатации на достаточном уровне безопасности. Также во внимание принимаются потенциальные будущие требования в отношении ремонта и замены конструкций, систем и элементов.

20. Конструкции, системы и элементы, связанные с безопасностью атомной электростанции, проектируются так, чтобы можно было поддерживать их надежность на достаточном уровне в течение срока их эксплуатации. Процессы старения могут угрожать надежности и без проверок могут приводить к снижению уровня безопасности. Поэтому подобные процессы учитываются на этапе проектирования, и предусматриваются меры, ограничивающие до приемлемого уровня воздействие любого механизма деградации на безопасность станции; что включает в себя спецификацию условий эксплуатации для конструкций, систем и элементов.

21. Особое внимание обращается на надежность оборудования, предназначенного для выполнения какой-либо функции безопасности в условиях аварии. Подобное оборудование проходит аттестацию, учитывающую не только возможные в случае аварии условия окружающей среды, но и эффекты старения. Аттестованный статус должен поддерживаться в течение всего срока эксплуатации станции, что может влечь за собой необходимость периодической замены оборудования.

22. Также признается факт потенциального роста вероятности отказа по общей причине в связи с деградацией резервируемых элементов. Рассмотрение процессов старения, таким образом, может приводить к введению в проект разнообразия в целях обеспечения поддержания достаточного уровня надежности.

23. Там, где это осуществимо практически, проект содержит меры, предусмотренные для проведения эксплуатационного надзора, мониторинга, инспекций и испытаний конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью станции, что необходимо для подтверждения их функциональных возможностей в течение срока эксплуатации станции. В случае если предусмотренные проектом меры не позволяют осуществлять мероприятия эксплуатационного надзора, мониторинга, инспекций и тестирования соразмерно важности для безопасности конструкций, систем и элементов, предусматриваются альтернативные средства для компенсации потенциальных невыявленных отказов.

24. На этапе проектирования внимание также обращается на минимизацию времени, усилий, затрат и физических препятствий для осуществления мероприятий по эксплуатационному надзору и техническому обслуживанию, включая ремонт или замену, которые могут потребоваться для сохранения функциональных возможностей станции. Подобный подход содержит в себе потенциал уменьшения не только затрат на эксплуатацию станции, но и, что более важно, доз участвующих работников.

25. Старение конструкций, систем и элементов начинается на этапе сооружения. Ошибки либо просмотры на этом этапе, затрагивающие оборудование, связанное с безопасностью станции, могут иметь последствия, ограничивающие срок ее эксплуатации. Поэтому управление работами и деятельность по надзору на этапе сооружения выполняются с большой тщательностью.

26. Следующие соображения важно принимать во внимание на этапе сооружения:

- избегать неподходящих методов работы;
- проводить тщательное рассмотрение предлагаемых изменений проекта;
- предусматривать достаточные уровни обеспечения качества на площадке станции;
- контролировать окружающую оборудование среду, особенно для площадок, расположенных вблизи морского побережья.

5. СРАВНЕНИЕ С ПРОЕКТНОЙ ОСНОВОЙ

5.1. ПОДДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТНОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТАНЦИИ

Принцип:

27. Для достижения общей цели безопасного управления сроками эксплуатации атомных электростанций предусматриваются адекватные меры, подтверждающие, что характеристики различных конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью каждой станции, остаются лучше своих предельных значений, принятых на этапе проектирования.

28. Оборудование атомной электростанции, как и любой другой промышленной установки, подвержено старению. Физическое старение предполагает возникновение с течением времени изменений в оборудовании вследствие его эксплуатации или воздействия окружающих условий и может приводить к деградации характеристик ниже уровней, предусмотренных в документации по обоснованию безопасности, которая разрабатывается на этапе проектирования и соответствует требованиям регулирующего органа.

29. Эффективное применение вышеупомянутого принципа предполагает, что:

- ограничивающие функциональные характеристики различных элементов оборудования, связанного с безопасностью станции, определены и проанализированы;
- механизмы деградации данных элементов оборудования установлены, и необходимые меры, наподобие соответствующих инструкций по эксплуатации и технических условий, предусмотрены в целях минимизации ожидаемых деградаций; ведется постоянный контроль эффектов старения, и результаты используются для прогнозирования потенциального остаточного срока службы станции;
- введена в действие политика технического обслуживания, обеспечивающая своевременное принятие подходящих решений в целях поддержания характеристик безопасности в пределах допустимых диапазонов посредством ремонта, замены или корректировки условий эксплуатации.

5.2. КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТОВ СТАРЕНИЯ

Принцип:

30. *Мероприятия эксплуатационного надзора, такие, как мониторинг, обследования, инспекции и проверки, проводятся в целях обнаружения аномальных изменений характеристик или состояния различных конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью станции, сообразно важности для безопасности данного оборудования.*

31. Отдельные неблагоприятные эффекты механизмов деградации могут быть обнаружены на основании изменений рабочих характеристик или состояния конструкций, систем и элементов. Для большинства механизмов деградации, являющихся постепенными, надлежащий мониторинг может предоставить время, достаточное для прогнозирования скорости деградации и, при необходимости, осуществления корректирующих мер.

32. Объем и частота мероприятий эксплуатационного надзора зависят от важности для безопасности соответствующих конструкций, систем и элементов, а также от знания механизмов деградации. Например, в объем инспекций в процессе эксплуатации для пассивных элементов включаются критические сварные соединения и зоны высоких механических напряжений, такие, как углы патрубков, переходные муфты и гибы. Для конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью станции, мероприятия эксплуатационного надзора осуществляются даже в тех

случаях, если возможные эффекты известных механизмов деградации, согласно расчетам, должны проявиться значительно позднее или же вообще не должны приводить к отказу. Опыт показывает, что такие мероприятия надзора являются важными (например, в случае коррозии).

33. В более общем смысле, мероприятия эксплуатационного надзора соответствуют второму уровню глубокоэшелонированной защиты, согласно определению, данному в докладах 75-INSAG-3 и INSAG-10 [1, 3]. Такие мероприятия являются весьма важными для выявления на ранней стадии неизвестных прежде механизмов деградации, либо непредвиденных уровней деградации. В зависимости от развития знаний, особенно в связи с опытом эксплуатации и результатами исследований, эти мероприятия могут быть улучшены или модифицированы в течение срока эксплуатации атомной электростанции. Как пример, в ряде случаев в системах трубопроводов наблюдалась тепловая стратификация. Там, где это явление не было учтено на этапе проектирования, оно может приводить к дополнительным напряжениям, что ускоряет процессы старения затронутых систем трубопроводов. Поэтому потребовался большой объем измерений в целях установления реальных нагрузок на такие трубопроводы и оценки их остаточного срока службы для того, чтобы решения об их замене могли приниматься своевременно.

34. Реальное изменение состояния оборудования может значительно отличаться от ожиданий, имевших место при проектировании, и при этом положительно или отрицательно влиять на безопасность. Надлежащее прогностическое моделирование требует точных входных данных по параметрам материалов и окружающей среды, которые влияют на характер и кинетику соответствующих механизмов деградации; сказанное применимо, например, к упоминавшейся выше тепловой стратификации. Здесь может оказаться полезным осуществление отбора проб на оборудовании атомных электростанций, находящихся в эксплуатации в разные периоды времени.

35. При проведении мероприятий эксплуатационного надзора, а также работ по ремонту и замене могут быть использованы специальные устройства, разработанные для этих мероприятий и работ и позволяющие снизить до минимального возможного уровня связанные с их выполнением дозовые нагрузки на персонал. Кроме того, в настоящее время реализация масштабных инспекционных программ в целях выявления непредвиденной деградации либо установления хода деградации может быть ограничена возможностями имеющихся в распоряжении методов; в особенности это относится к методам неразрушающего контроля. В этой связи имеется

потребность в реализации исследовательских программ и развитии деятельности, относящейся к диагностическому оборудованию, в целях повышения возможностей оценки реального состояния стареющих атомных электростанций.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ОГРАНИЧИВАЮЩЕЕ СРОК СЛУЖБЫ

Принцип:

36. *Составляется и периодически пересматривается перечень оборудования атомной электростанции, которое может ограничивать в техническом отношении срок ее эксплуатации. Подобные станционные элементы подлежат особому надзору и периодической повторной оценке их остаточного срока службы с учетом существующего опыта эксплуатации и улучшения знания механизмов деградации.*

37. Преимущества хорошей программы управления старением состоят в том, что срок эксплуатации атомной электростанции на практике ограничивается лишь деградацией:

- элементов, замена которых нереальна ввиду ее технической сложности и связанных с этим затрат (например, корпуса реактора, внутренней защитной оболочки здания реактора, большей части электрических и контрольно-измерительных кабелей);
- элементов, замена которых после отказа не эффективна экономически ввиду ограниченного ожидаемого остаточного срока эксплуатации станции (например, парогенератора, отказавшего за несколько лет до истечения ожидаемого срока эксплуатации корпуса реактора).

38. Тем не менее, срок эксплуатации атомной электростанции может также быть ограничен в том случае, если бы потребовалась замена слишком большого числа элементов одновременно (или в течение короткого промежутка времени), ввиду состояния их деградации. Решение эксплуатирующей организации об ограничении срока эксплуатации конкретной станции или поколения станций может вытекать из общего видения состояния всей совокупности конструкций, систем и элементов.

39. Потенциальные сроки эксплуатации элементов, считающихся не подлежащими замене, оцениваются и периодически обновляются в целях обеспечения возможности прогнозирования потенциального срока

эксплуатации станции. Параллельно также оцениваются и периодически обновляются потенциальные остаточные сроки эксплуатации основных элементов, замена которых возможна, в целях обеспечения возможности для принятия решений о необходимости и времени их капитального ремонта или замены. Кроме того, выполняются проверки в целях подтверждения того, что не возникнет необходимости проведения в течение короткого промежутка времени замены слишком большого числа элементов, что создало бы еще одно возможное ограничение для экономически обоснованной эксплуатации в будущем.

5.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАДЗОРА

Принцип:

40. Результаты эксплуатационного надзора подлежат всесторонней оценке. Если эти результаты показывают, что фактическое поведение связанного с безопасностью станции элемента хуже ожидаемого, в нужный момент времени осуществляются необходимые корректирующие меры, зависящие от важности данного элемента для безопасности; подобные мероприятия включают в себя в уместных случаях модификации условий эксплуатации станции, повышенный объем мониторинга, более частые тестирования и немедленную либо заблаговременную замену элемента станции. Более того, корректирующие меры также рассматриваются и в отношении других сходных элементов, в том числе – элементов на других станциях.

41. Результаты мероприятий по надзору полезны для улучшения прогностических моделей, используемых для изучения возможных эффектов, вызванных механизмами старения, поскольку они позволяют выявить недостатки таких моделей, требуя больший объем данных или лучшее понимание преобладающих механизмов.

42. Собранные данные эффективно используются для оценки будущего состояния конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью станции, и для создания базиса для обоснованных решений в отношении срока эксплуатации станции.

5.5. ПРЕДВИДЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ РАБОТ ПО РЕМОНТУ ИЛИ ЗАМЕНЕ

Принцип:

43. *Заблаговременно определяются программы, связанные с возможными работами по ремонту или замене, так чтобы они могли выполняться в плановом и систематическом порядке (своевременно обеспечивая, например, разработку соответствующих специальных инструментальных средств и подходов ALARA). Это в особенности важно для обращения с такой деградацией, которая могла бы одновременно воздействовать на значительную часть средств производства энергии в стране.*

44. Конструкции, системы и элементы, связанные с безопасностью атомной электростанции, содержат как стандартно заменяемые изделия, так и изделия, замена или ремонт которых является трудным и/или дорогим процессом; кроме того, возможны трудности, связанные с уровнями излучения или загрязнения в тех зонах, где по плану должны проходить работы по ремонту или замене.

45. В этой связи полезно как можно раньше определить момент времени, когда потребуется проведение работы по ремонту или замене, для того чтобы планировать программы работ достаточно заблаговременно, не создавая угрозы своевременности выполнения, качеству работы или, более того, связанным с этим затратам. Длительные задержки или излишние затраты могут отрицательно повлиять на решения о дальнейшей эксплуатации станции.

6. РАССМОТРЕНИЕ РЕФЕРЕНТНЫХ УРОВНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1. РЕФЕРЕНТНЫЕ УРОВНИ БЕЗОПАСНОСТИ СТАНЦИИ

Принцип:

46. *Референтный уровень безопасности атомной электростанции повышается, насколько это практически достижимо, в течение всего ее срока эксплуатации с учетом прогресса в знаниях, в особенности за счет учета опыта эксплуатации, а также с учетом уровней безопасности новых станций.*

47. В разделе 2 настоящего доклада сформулирована общая цель безопасности в области безопасного управления сроками эксплуатации атомных электростанций, где отмечено, что уровень безопасности каждой станции поддерживается в любое время выше ее референтного уровня, определяемого соответствующим обоснованием безопасности, которое, будучи основой для безопасной эксплуатации, в то же время соответствует требованиям регулирующего органа. Исходный референтный уровень безопасности станции – это ее проектный уровень безопасности, такой, какой был принят регулирующим органом до начала эксплуатации станции.

48. Здесь подчеркивается, что в разумно достижимой на практике степени референтный уровень безопасности станции повышается с течением времени. Логическое обоснование состоит в том, что ожидаемый срок эксплуатации станции охватывает десятилетия; и то, что некогда рассматривалось в качестве приемлемого уровня безопасности, может быть расценено как недостаточное 30, 20 или даже 10 лет спустя.

49. В качестве примера: в отношении частоты тяжелых повреждений активной зоны (которая может рассматриваться как один из показателей уровня безопасности станции) в докладе 75-INSAG-3 [1], опубликованном в 1988 году, дается следующая формулировка: *«Целевым показателем для существующих атомных электростанций в соответствии с технической целью безопасности является вероятность серьезного повреждения активной зоны ниже примерно 10-4 на год эксплуатации станции. Реализация основных принципов безопасности на будущих станциях должна привести к достижению улучшенного целевого показателя, не превышающего 10-5 таких событий на год эксплуатации станции. Меры*

по управлению и ослаблению последствий тяжелых аварий должны снизить вероятность больших выбросов за пределы площадки, для которых необходимы быстрые контрмеры вне площадки, по меньшей мере в 10 раз».

50. Аналогичные рассуждения применяются к степени реализации концепции глубокоэшелонированной защиты на станциях разных поколений, с учетом, например:

- набора внутренних исходных событий, рассмотренных на этапе проектирования;
- набора внешних событий, рассмотренных на этапе проектирования (включая проектирование сейсмостойких конструкций);
- работы систем контроля и управления;
- надежности систем безопасности (включая резервирование, предотвращение отказов по общей причине и функциональное дублирование).

51. Улучшение фактического уровня безопасности станции достигается либо путем совершенствования общего качества ее эксплуатации, либо посредством повышения требований безопасности, применимых к станции; в этом отношении особое внимание уделяется результатам вероятностных оценок безопасности, которые в уместных случаях идут в дополнение к детерминистическим правилам проектирования. Поэтому имеет смысл проводить сравнение текущих требований безопасности, применимых к станции, с требованиями безопасности, применимыми к самым новым станциям, для того чтобы сделать вывод о том, являются ли текущие требования безопасности по-прежнему достаточными и приемлемыми.

52. С этой целью рекомендуется с максимально возможной четкостью установить и документировать текущие требования безопасности, применимые к станции, и то, как они эволюционировали с момента времени, относящегося к этапу проектирования. Это документальное отражение позволяет установить референтный уровень безопасности для конкретной станции.

53. В общем случае, однако, установки с большим сроком эксплуатации не удовлетворяют всем требованиям безопасности, установленным для новых станций, хотя реализация компенсирующих мер может иногда иметь результатом достижение близкого уровня безопасности, или, по крайней мере, уровня безопасности, улучшенного по сравнению с проектным. Например, в отдельных странах на находящихся в эксплуатации станциях

были реализованы конкретные меры, направленные на предотвращение расплавления активной зоны, для ситуаций, которые не были приняты во внимание на этапе проектирования (таких, как полная потеря нормальных и аварийных источников энергоснабжения, или полная потеря конечного поглотителя тепла). На существующих станциях также реализуются меры управления авариями в целях уменьшения выбросов в окружающую среду в случае такого маловероятного события, как расплавление активной зоны.

6.2. РАЗУМНО ДОСТИЖИМОЕ НА ПРАКТИКЕ ПОВЫШЕНИЕ РЕФЕРЕНТНЫХ УРОВНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Принцип:

54. Должен осуществляться поиск усовершенствований, но решения о повышении референтного уровня безопасности станции реально принимаются только в тех случаях, когда это разумно достижимо на практике, т.е. когда результирующая общая польза для безопасности перевешивает вероятные потери эксплуатационного времени, затраты и физические трудности осуществления соответствующих модификаций.

55. Не представляется возможным дать обобщенное определение того, что является разумно достижимым на практике. Заключение о том, какое именно повышение в действительности предпринимается, обычно является результатом дискуссионного процесса с участием как эксплуатирующей организации, так и регулирующего органа. Этот дискуссионный процесс основывается на документации по обоснованию безопасности, включающей, в необходимом объеме, детерминистические и вероятностные исследования, а также анализы затрат и выгод.

6.3. СТАБИЛЬНОСТЬ РЕФЕРЕНТНЫХ УРОВНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Принцип:

56. Предпочтительным является поэтапное повышение референтного уровня безопасности, сопровождающееся соответствующим пересмотром применимых правил и норм и внедрением станционных модификаций.

57. Безопасность атомной электростанции основывается не только на конструкциях, системах и элементах (которые могут быть

модернизированы со времени проектирования), но также и на том, насколько эксплуатационный персонал соблюдает требования к оборудованию в ходе повседневной эксплуатации и технического обслуживания. Частое изменение или накопление изменений, связанных со стационарными модификациями, процедурами или организацией, вносит некоторую неопределенность в представления оператора и не способствует проявлению чувства сопричастности или желанию соблюдать текущие нормы и процедуры. Напротив, стабильность конфигурации станции (включающей в себя ее референтный уровень безопасности) в течение разумного периода времени способствует соблюдению текущих процедур и практических методов обеспечения безопасности и проверке подобного соблюдения и таким образом вносит вклад в общее достижение хороших показателей безопасности.

58. Примером передовой практики является рассмотрение эволюции уровней безопасности находящихся в эксплуатации атомных электростанций посредством проведения рассмотрений вопросов безопасности. Подход к выполнению подобных рассмотрений обсуждается ниже.

59. В противоположность устранению недостатков по отношению к текущему референтному уровню безопасности внедрение модификаций стационарного оборудования или процедур, которое вытекает из повышения референтного уровня безопасности станции, не имеет той же степени срочности: уровень безопасности, который считается приемлемым в данный момент, не может стать неприемлемым на следующий день.

60. Таким образом, реализацию последовательных мероприятий по совершенствованию оборудования или процедур предпочтительно осуществлять, уделяя должное внимание и время детальному планированию и подготовке. Последовательный подход к усовершенствованиям способствует их реализации, а также подготовке персонала и обновлению документации. Кроме того, когда усовершенствования применимы к серии идентичных или подобных станций, во избежание одновременной реализации на всех станциях они располагаются во времени со сдвигом, с учетом возраста станций.

7. РАССМОТРЕНИЯ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Принцип:

61. *Рассмотрения вопросов безопасности проводятся в целях получения общей картины реального состояния безопасности конкретной атомной электростанции. Они включают в себя определение того, эффективно ли осуществляется управление ее старением, а также обсуждение возможной эволюции ее референтного уровня безопасности.*

62. Рассмотрения вопросов безопасности, анализирующие общее техническое состояние каждой отдельной станции, предпринимаются с целью получения уверенности в том, что эксплуатация станции в соответствии с применимыми требованиями к безопасности в течение последующего периода эксплуатации технически обоснована и возможна, и рассматривают достаточно большой период возможной будущей эксплуатации данной станции (например, десять лет). Рассмотрения вопросов безопасности проводятся с учетом референтного уровня безопасности новых станций, а также развития технологий и прогресса в сфере фундаментальных научных знаний и аналитических методов.

63. Рассмотрения вопросов безопасности вносят важный вклад в решения эксплуатирующей организации относительно продолжительности будущей эксплуатации станций и капиталовложений, которые они готовы выделить для обеспечения такой продолжительности эксплуатации.

64. Более конкретно, рассмотрения вопросов безопасности обычно включают в себя следующие элементы, непосредственно связанные с безопасным управлением сроками эксплуатации атомных электростанций:

- документация и анализ текущего референтного уровня безопасности, включая все изменения, связанные с безопасностью, реализованные в течение периода эксплуатации станции по настоящий момент;
- проверка того, что конструкции, системы и элементы, а также процедуры их эксплуатации и показатели эксплуатационной безопасности находятся в соответствии с текущим референтным уровнем безопасности станции;
- определение и расстановка приоритетов любых разумно достижимых на практике модификаций станции или процедур ее эксплуатации в целях повышения референтного уровня безопасности при

должном внимании к тому факту, что модификации станций, находящихся в эксплуатации, с большой вероятностью являются более дорогостоящими, чем модификации новых станций на этапе проектирования или сооружения. Кроме того, станционные модификации в целом являются значительно более дорогостоящими, чем модификации процедур.

65. В процессе рассмотрения вопросов безопасности изучается информация в отношении самой станции и аналогичных станций. Для рассматриваемой станции в процессе рассмотрения вопросов безопасности принимаются во внимание ее фактические индивидуальные характеристики и история эксплуатации. Документация, относящаяся к конкретным проектным особенностям конструкций, систем и элементов каждой станции, а также к переходным циклам, аномалиям, инцидентам или авариям, имевшим место при сооружении и во время эксплуатации, поддерживается в течение всего срока ее эксплуатации.

66. Одним из возможных результатов рассмотрения вопросов безопасности является тот, что разумно достижимые на практике модификации можно осуществить, не прибегая к каким-либо ограничениям эксплуатации; такие модификации могут являться составной частью программы модернизации, которая реализуется на родственных станциях. В подобном случае поэтапная программа реализации осуществляется плановым и систематическим образом. Другим возможным результатом анализа безопасности могла бы стать необходимость изменения условий и процедур эксплуатации станции; далее должно быть рассмотрено воздействие таких изменений на подготовку операторов.

67. Наконец, может создаться такое положение, когда не будет являться экономически обоснованным осуществление модификаций станции или процедур ее эксплуатации для демонстрации возможности ее безопасной эксплуатации после некоей конкретной даты; тем самым, по сути, устанавливается возможное окончание срока эксплуатации станции.

68. Возможно, что при требуемом включении в анализ безопасности новых данных или методов возникнут определенные трудности. Подобные ситуации, например, в отношении землетрясений обсуждаются в каждом конкретном случае с регулирующим органом и зависят от развития этих методов или данных, а также от предложенного возможного срока эксплуатации конкретной станции и от разумно достижимых на практике модификаций станции. Тем не менее, в результате может оказаться, что

демонстрация достаточного уровня безопасности невозможна, даже если разумно достижимые на практике модификации станции были бы реализованы.

8. ИНФРАСТРУКТУРНАЯ ПОДДЕРЖКА БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

8.1. ПОДДЕРЖАНИЕ НАДЛЕЖАЩЕЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Принцип:

69. Достаточная численность персонала, должным образом компетентного во всех областях, связанных с безопасностью атомных электростанций, поддерживается в течение всего срока эксплуатации подобных установок. Это подразумевает не только набор эксплуатационного и ремонтного персонала, прошедшего надлежащую подготовку и, при необходимости, переподготовку, но также поддержание глубокого знания станции, которое обычно обеспечивается проектировщиками и конструкторами, и способностей к проведению необходимых исследовательских работ.

70. Приведенные выше соображения относительно физического старения находящихся в эксплуатации атомных электростанций обычно понимаются достаточно хорошо. Однако безопасная эксплуатация атомной электростанции в течение полного срока ее эксплуатации основывается не только на поддержании и усовершенствовании конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью, но также и на компетентности персонала данной эксплуатирующей организации, проектной и конструкторской организаций, сотрудников научно-исследовательских учреждений.

71. По данному вопросу в докладе 75-INSAG-3 [1] отмечается в качестве принципа, что «в течение всего срока службы станции обеспечивается квалифицированная инженерно-техническая поддержка по всем дисциплинам, важным для безопасности».

«Для обеспечения постоянной безопасной эксплуатации атомной электростанции необходима поддержка инженерно-технической

организации, к которой в случае необходимости можно обратиться за помощью при усовершенствованиях станции, ремонте, специальных испытаниях и для аналитической поддержки безопасности станции. Такие ресурсы для поддержки могут существовать в самой эксплуатирующей организации или в организациях поставщиков и в специализированных организациях. Ответственность за обеспечение требуемыми ресурсами лежит на эксплуатирующей организации».

72. В докладе 75-INSAG-3 [1] также подчеркивается, что *«научно-исследовательская и опытно-конструкторская деятельность необходима для поддержания знания и компетентности в организациях, осуществляющих поддержку или регулирование деятельности атомных электростанций».*

73. В настоящее время данный вопрос является весьма важным в отдельных странах, что вытекает из современной ситуации в мировой ядерной энергетике. Возможно, например, что вскоре будет иметь место нехватка инженеров, специализирующихся в нейтронной физике, если эта дисциплина более не будет преподаваться по причине того, что она является недостаточно привлекательной для студентов. Для борьбы с этим явлением эксплуатирующие организации должны предпринять шаги в направлении поддержания на должном уровне профессиональных знаний, например, путем создания своих собственных инженерных служб или повышения компетентности в других организациях.

74. Кроме того, поддержание надлежащей компетентности в ряде специализированных областей предполагает устойчивую связь с исследовательской деятельностью. Было бы неправильным думать, что, поскольку многие атомные электростанции к настоящему моменту находятся в эксплуатации более 20 лет, не испытывая значительных трудностей, не следует ожидать возникновения серьезных проблем в отношении сроков эксплуатации атомных электростанций; надлежащее реагирование на подобные проблемы потребовало бы специфических знаний и, возможно, наличия исследовательских установок и персонала.

8.2. УПРАВЛЕНИЕ СУЩЕСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ¹

Принцип:

75. *Управление существенными организационными изменениями осуществляется в максимально возможной степени таким образом, чтобы избежать значительного воздействия на продолжающуюся безопасную эксплуатацию затронутых этими изменениями атомных электростанций.*

76. Эксплуатирующая организация выполняет тщательную оценку воздействия любого существенного организационного изменения, связанного как с самой эксплуатирующей организацией, так и с поддержкой из отрасли, как можно ранее до момента принятия соответствующего решения.

77. Тем не менее, в ряде случаев организационные изменения происходят в условиях, когда эксплуатирующая организация (или регулирующий орган) не имеет возможности влиять на события. Это может иметь место, например, в случае несостоятельности проектировщика/поставщика. Заблаговременно и на необходимую глубину разрабатываются планы действий в чрезвычайной ситуации, направленные на приспособление к изменениям в договорных взаимоотношениях. В любом случае, после оценки последствий действительно имеющего место изменения эксплуатирующая организация реализует надлежащие компенсирующие либо альтернативные мероприятия по сохранению утраченных возможностей.

78. Существенные изменения включают в себя изменения отраслевого потенциала производства новых запасных частей или поставки заменяемых элементов. Поэтому эксплуатирующие организации стремятся к установлению отношений долговременного партнерства с подрядчиками и возможными альтернативными поставщиками критических элементов.

¹ Данный вопрос подробно обсуждается в другом докладе INSAG «Управление эксплуатационной безопасностью на атомных электростанциях» [4].

8.3. СОВЕРШЕНСТВО В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Принцип:

79. *Руководство атомной электростанции постоянно стремится к совершенству в эксплуатации, наилучшим образом используя самооценки и экспертные рассмотрения для подтверждения удовлетворительных показателей эксплуатационной безопасности. В необходимых случаях определяются и реализуются меры по улучшению.*

80. Еще одной возможной проблемой, связанной со сроком эксплуатации атомной электростанции, является ухудшение показателей безопасности станции, которое может иметь место вследствие неадекватного управления и низкой культуры безопасности. Кроме того, уверенность в способности эксплуатирующей организации вести управление безопасным образом в основном базируется на предшествующих и текущих показателях работы. Поэтому постоянное совершенство в эксплуатации является основой для будущей безопасной эксплуатации.

81. Для сравнения фактического состояния станции с ожидаемым, а также для выявления любых областей, требующих улучшения, используется самооценка. Поддержка со стороны руководства эксплуатирующей организации весьма важна для получения наилучших результатов и побуждения сотрудников на всех уровнях в организации к тому, чтобы следовать этому подходу.

82. Экспертное рассмотрение проводится группой независимых экспертов, обладающих техническими знаниями и опытом в тех областях, которые подлежат оценке. Выводы такого рассмотрения основываются на комбинированной экспертной оценке команды. Подобное рассмотрение не является инспекцией или аудитом, проверяющим соответствие конкретным нормам; напротив, это – всестороннее сравнение практики данной организации с существующими и признанными на международном уровне примерами передовой практики, а также обмен экспертными суждениями, направленный на повышение эффективности проверяемой организации и ее текущей практики и процедур. Кроме того, участие в экспертных рассмотрениях, в сущности, может также служить средством поддержания и развития компетентности самого персонала, проводящего рассмотрение.

9. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ РУКОВОДСТВА

Принцип:

83. *Безопасное управление сроком эксплуатации атомной электростанции основывается на понимании и соблюдении эксплуатирующей организацией своей конечной ответственности за безопасность станции на протяжении срока ее эксплуатации. Регулирующий орган осуществляет лицензирование и регулирующий контроль станции, обеспечивает соблюдение соответствующих регулирующих положений и сохраняет свою независимость как уполномоченный орган контроля безопасности.*

84. Эксплуатирующая организация несет основную ответственность за установление и реализацию программ управления старением и оценку результатов мероприятий эксплуатационного надзора для подтверждения того, что референтный уровень безопасности действительно достигнут. Регулирующий орган выполняет тщательную оценку мероприятий по управлению старением, осуществляемых эксплуатирующей организацией, чтобы удостовериться в адекватности объема и содержания общих программ.

85. Оценка результатов эксплуатационного надзора может приводить к заключению о том, что для обеспечения реального достижения станцией своего референтного уровня безопасности требуются некоторые корректирующие меры. Адекватные корректирующие меры определяются и реализуются эксплуатирующей организацией. Регулирующий орган контролирует реализацию и при необходимости осуществляет правоприменительные действия.

86. Практика регулирующих органов различна, и в отдельных странах лицензиями на ядерную установку задаются временные ограничения. В подобных случаях любое продление лицензии на эксплуатацию атомной электростанции за пределы установленного ограничения требует выдачи новой лицензии. Это обычно происходит после рассмотрения регулирующим органом отчета по техническому обоснованию безопасности, которым подтверждается, что надлежащий референтный уровень безопасности действительно может быть обеспечен в течение нового периода эксплуатации. Какова бы ни была практика регулирующих органов, общее техническое состояние станции является предметом обсуждения между

эксплуатирующей организацией и регулирующим органом с уделением должного внимания вопросам, важным для безопасности.

87. Как изложено в разделе 7, эксплуатирующая организация атомной электростанции продумывает, какие улучшения разумно могут быть внесены в референтный уровень безопасности станции, принимая во внимание развитие технических знаний и представлений, в том числе полученных из опыта эксплуатации, а также референтные уровни безопасности для новых станций. Результаты подобных рассмотрений вопросов безопасности вносят существенный вклад в обсуждения между эксплуатирующей организацией и регулирующим органом. Реакция регулирующего органа потенциально имеет существенное влияние на решение эксплуатирующей организации относительно будущей эксплуатации станции.

Принцип:

88. *Продолжение эксплуатации атомной электростанции разрешается только на подходящий по продолжительности период времени во избежание «ползучего» продления срока эксплуатации.*

89. Ситуация, когда эксплуатация какой-либо станции была бы последовательно санкционирована на ограниченные периоды времени, могла бы привести к трудностям, поскольку необходимые решения по замене отдельных станционных элементов или по повышению референтного уровня безопасности станции могли бы быть неоправданно отсрочены. Для эксплуатируемых станций старого поколения общая стратегия в отношении будущей эксплуатации должна быть четко установлена эксплуатирующей организацией и обсуждена с регулирующим органом. После проведения оценки потенциальных остаточных сроков службы критических элементов и рассмотрения уровня безопасности станции регулирующий орган дает разрешение на эксплуатацию только при условии наличия достаточно большого потенциального остаточного срока эксплуатации станции (например, десять лет), либо точной даты окончательного останова станции.

90. Отдельные регулирующие организации могут сделать выбор в пользу оказания поддержки эксплуатирующим организациям в разработке приемлемых стратегий эксплуатации путем установления четких требований в отношении станционных элементов, важных для безопасности. Примерами этого являются задание предельных значений

ключевых параметров или разработка конкретных правил по расширению программ неразрушающего контроля, если обнаруживаются определенные уровни деградации.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Safety Series No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna (1988); and the update, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).
- [2] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Общая основа для оценки безопасности атомных электростанций, сооруженных в соответствии с ранее принятыми нормами, INSAG-8, МАГАТЭ, Вена (1996).
- [3] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Глубокоэшелонированная защита в ядерной безопасности, INSAG-10, МАГАТЭ, Вена (1998).
- [4] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants, INSAG-13, IAEA, Vienna (1999).

ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНСУЛЬТАТИВНОЙ ГРУППЫ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

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

РАБОЧАЯ ГРУППА ИНСАГ

Chang, S.H.	Quéniart, D. (<i>председатель</i>)
Levy, S.	Sajaroff, P.
Matsuura, S.	Vita, J.

ПРИГЛАШЕННЫЕ ЭКСПЕРТЫ

Carey, J.J.	Madden, V.
Frescura, G.	Servièrè, G.
Hough, M.	

Г-н В. Чжун из Секретариата МАГАТЭ является ответственным за вопросы, связанные с ИНСАГ, в Департаменте ядерной безопасности

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
INSAG-12	Basic safety principles for nuclear power plants, 75-INSAG-3 Rev.1	1999
INSAG-13	Management of operational safety in nuclear power plants	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

Librotade Ltd., Book Import

PF 126, 1656 Budapest, HUNGARY

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

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

ИНДИЯ

Allied Publishers

1st 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 • 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 • 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 • 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 • 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 • Веб-сайт: <http://www.nijhoff.nl>

Swets Information Services Ltd.

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, NETHERLANDS

Телефон: +31 88 4679 387 • Факс: +31 88 4679 388

Эл. почта: tbeysens@nl.swets.com • Веб-сайт: <http://www.swets.com>

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 • Веб-сайт: http://www.mladinska.com/cankarjeva_zalozba

ИСПАНИЯ

Díaz de Santos, S.A.

Librerías 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 • 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 • (справки): 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 • 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 • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

Организация Объединенных Наций (ООН)

300 East 42nd Street, IN-919J, New York, NY 1001, USA

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

Эл. почта: 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 • Веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA
ISBN 978-92-0-407514-4
ISSN 1025-2193