Руководства по безопасности

в области использования атомной энергии

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(Справочный материал к Правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04)

РБ – 039 – 07

НТЦ ЯРБ

gost.e-ecolog.ru

Федеральная служба
по экологическому, технологическому и атомному надзору

РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Утверждено
постановлением
Федеральной службы
по экологическому,
технологическому
и атомному надзору
от 19 ноября 2007 г.
№ 3

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(Справочный материал
к Правилам безопасности при транспортировании
радиоактивных материалов, НП-053-04)

РБ-039-07

Введено в действие
с 3 декабря 2007 г.

Москва 2007

УДК

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ (справочный материал к Правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04). РБ-039-07

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Москва, 2007

Положения настоящего руководства по безопасности (далее – Руководство) разъясняют требования безопасности, сформулированные в Правилах безопасности при транспортировании радиоактивных материалов (НП-053-04), а также дают рекомендации по способам выполнения этих требований. Настоящее Руководство является российским аналогом документа "Справочный материал к правилам МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных материалов. Руководство по безопасности", № TS-G-1.1 (далее – TS-G-1.1), изданного МАГАТЭ в Серии норм по безопасности в качестве руководства по безопасности. Основные положения настоящего Руководства аналогичны положениям этого документа МАГАТЭ, так как в НП-053-04 в основном приняты те же подходы и требования, что и в документе МАГАТЭ "Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Издание 1996. № ST-1" (далее – Правила МАГАТЭ-96). В случаях расхождения требований НП-053-04 и Правил МАГАТЭ-96 в документе даются пояснения причин такого расхождения и обоснование российских требований. В настоящем Руководстве, по аналогии с TS-G-1.1 нумерация пунктов соответствует нумерации пунктов НП-053-04. В конце каждого номера добавлена буква "С", от первой буквы названия документа – "Справочный", поэтому пункты руководства могут рассматриваться как справки к соответствующим пунктам НП-053-04. Например, номер пункта с обозначением 2.3.4-С1 дает пояснения (справку 1) по п. 2.3.4 НП-053-04, а номер 2.3.4-С2 – справку 2 по этому же пункту НП-053-04. Для удобства пользователей НП-053-04, настоящего Руководства, Правил МАГАТЭ-96 и TS-G-1.1 в настоящем Руководстве приведены номера соответствующих (по мере применимости и соответствия) пунктов Правил МАГАТЭ-96 и TS-G-1.1. Таблица соответствия пунктов НП-053-04 и Правил МАГАТЭ-96 приведена в Приложении VII, а таблица обратного соответствия – в Приложении VIII к настоящему Руководству. Многие пункты (справки) настоящего Руководства взяты с небольшими редакционными корректировками или без них из TS-G-1.1. В этом случае в конце пункта в скобках дается указание на TS-G-1.1 и соответствующий пункт. Например, в конце справки 4-С2 указано (п. 227.1 TS-G-1.1). Это означает, что содержание справки 4-С2 полностью или с небольшими редакционными корректировками, или дополнениями для связи с настоящим Руководством соответствует п. 227.1 МАГАТЭ TS-G-1.1. При использовании приложений из TS-G-1.1 с редакционными корректировками или без в качестве приложений к настоящему Руководству ссылка дается после заголовка приложения. В пунктах МАГАТЭ TS-G-1.1 часто даются ссылки на Правила, имея в виду Правила МАГАТЭ-96. При использовании этих пунктов в настоящем Руководстве под "Правилами", если специально не оговорено, понимаются и Правила МАГАТЭ-96, и НП-053-04. В заимствованных из TS-G-1.1 приложениях, по мере возможности (но не в ущерб содержанию), удалялись ссылки на библиографические источники, однако нумерация ссылок оригинала сохранялась. При наличии источников, переведенных на русский язык, название документа также представлено и на русском языке.

Выпускается впервые.*)

*) Разработано в Институте проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН) с участием специалистов Росатома и Ростехнадзора: Ершова В.Н., Тебина В.Ф., Уланова С.А., Кислова А.И., Колесникова А.С., Андросюка В.Н., Попова С.А.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ 6
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В НП-053-04 7
1. ВВЕДЕНИЕ 21
1.1. Назначение и область применения 21
1.2. Основные положения обеспечения безопасности перевозок 24
1.3. Классификация и пределы загрузки упаковок 31
2. ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОАКТИВНЫМ МАТЕРИАЛАМ, ТРАНСПОРТНЫМ УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТАМ И УПАКОВКАМ 35
2.1. Требования к радиоактивным материалам НУА-III 35
2.2. Требования к радиоактивным материалам особого вида 36
2.3. Требования к радиоактивным материалам с низкой способностью к рассеянию 37
2.4. Общие требования к упаковкам и транспортным упаковочным комплектам 38
2.5. Требования к освобожденным упаковкам 41
2.6. Требования к промышленным упаковкам 41
2.7. Требования к упаковкам, содержащим гексафторид урана 46
2.8. Требования к упаковкам типа А 47
2.9. Требования к упаковкам типа В(U) 51
2.10. Требования к упаковкам типа В(М) 61
2.11. Требования к упаковкам типа С 62
2.12. Требования к упаковкам, содержащим делящиеся материалы 63
3. ИСПЫТАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, УПАКОВОЧНЫХ КОМПЛЕКТОВ И УПАКОВОК 70
3.1. Общие положения 70
3.3. Испытания радиоактивного материала особого вида и радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию 74
3.4. Испытания транспортных упаковочных комплектов и упаковок 76
3.4.1. Общие положения 76
3.4.2. Испытания для подтверждения способности выдерживать нормальные условия перевозки 79
3.4.3. Дополнительные испытания упаковок типа А, предназначенных для жидкого радиоактивного материала 82
3.4.4. Испытания для проверки способности упаковок выдерживать аварийные условия перевозки 82
3.4.5. Испытания на водопроницаемость упаковок, содержащих делящийся ядерный материал 92
3.4.6. Испытания упаковок типа С 93
3.5. Испытания упаковок с гексафторидом урана 95
4. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ 96
4.1. Общие положения 96
4.2. Типы и обозначения сертификатов (сертификатов-разрешений) 102
4.3. Порядок использования ранее разработанных или изготовленных радиоактивных материалов особого вида и упаковочных комплектов 104
5. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРЕВОЗКЕ И ТРАНЗИТНОМУ ХРАНЕНИЮ 107
5.1. Общие положения 107
5.2. Проверка груза перед перевозкой 110
5.3. Пределы значений транспортного индекса, индекса безопасности по критичности, уровня излучений и радиоактивного загрязнения 112
5.4. Маркировка, этикетки, знаки опасности и предупредительные знаки 117
5.5. Требования к перевозке освобожденных упаковок 121
5.6. Требования к перевозке материалов НУА и ОПРЗ 123
5.7. Временное (транзитное) хранение 123
5.8. Перевозка порожних транспортных упаковочных комплектов 127
5.9. Требования к перевозке радиоактивных материалов автомобильным Транспортом 127
5.10. Требования к перевозке радиоактивных материалов железнодорожным Транспортом 129
5.11. Требования к перевозке радиоактивных материалов на судах морского и речного флота 130
5.12. Требования к перевозке радиоактивных материалов воздушным Транспортом 132

5.13. Требования к перевозке радиоактивных материалов предприятиями почтовой связи 133
5.14. Особенности оформления транспортных документов при перевозке радиоактивных материалов 133
6. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ 134
7. МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ АВАРИЯХ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 134
7.1. Общие положения и требования 134
7.2. Классификация аварий и основные требования к мероприятиям в случае аварии 135
7.3. Дополнительные требования к мероприятиям на случай аварии при перевозке водным транспортом 136
8. ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 137
Литература 137
Приложение I. СИСТЕМА Q ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ A_1 и A_2 143
ВВЕДЕНИЕ 143
ПРЕДПОСЫЛКИ 143
ОСНОВЫ СИСТЕМЫ Q 144
ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ДОПУЩЕНИЯ 145
Q_A – доза внешнего фотонного облучения 145
Q_B – доза внешнего облучения бета-излучателями 146
Q_C – доза внутреннего облучения ингаляционным путем 148
Q_D – дозы от загрязнения кожи и перорального поступления 150
Q_E – доза вследствие погружения в облако газообразных изотопов 151
ОСОБЫЕ СООБРАЖЕНИЯ 152
Рассмотрение материнских и дочерних радионуклидов 152
Альфа-излучатели 153
Нейтронные излучатели 153
Тормозное излучение 153
Тритий и его соединения 153
Радон и его дочерние продукты 154
ПРИМЕНЕНИЕ 154
Материалы с низкой удельной активностью с "неограниченными" значениями A_1 или A_2 154
Скорости утечки в нормальных условиях перевозки 155
Скорости утечки для аварийных условий 155
ТАБЛИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ Q 156
Рассмотрение физических и химических свойств 165
Облучение несколькими путями 165
Смеси радионуклидов 166
ЦЕПОЧКИ РАСПАДА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМЕ Q 166
ВЫВОДЫ 166
Литература к приложению I 168
Приложение II. УКЛАДКА И КРЕПЛЕНИЕ УПАКОВОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ 169
ВВЕДЕНИЕ 169
ТИПЫ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ 170
РАССМОТРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗОК УПАКОВКИ 171
ДЕМОНСТРАЦИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПУТЕМ ИСПЫТАНИЙ 172
ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКИ 172
Система натянутых стяжек с башмаками 173
Прямоугольная упаковка с фланцем на днище, крепящимся болтами к транспортному средству 174
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ 176
Литература к приложению II 176
Приложение III. РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ УПАКОВОК В ОТНОШЕНИИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ 178
ВВЕДЕНИЕ 178
ОБЩЕЕ РАССМОТРЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ 178
Метод 1 179
Метод 2 179
Метод 3 180
РАССМОТРЕНИЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ 181

КОЭФФИЦИЕНТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ МЕТОДА 3 183
Процедура оценки для Метода 3 184
Рассмотрение дефектов 185
Рассмотрение обеспечения качества и неразрушающего контроля 186
Рассмотрение вязкости разрушения 186
Рассмотрение напряжений 187
Литература к приложению III 188
Приложение IV. ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА И УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ, ДОЗОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ МОЩНОСТИ ДОЗЫ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ И УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ УРАНА 189
Литература к приложению IV 214
Приложение V. ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПО КРИТИЧНОСТИ 214
ВВЕДЕНИЕ 214
ОПИСАНИЕ УПАКОВКИ 215
МОДЕЛИ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПО КРИТИЧНОСТИ 215
МЕТОД АНАЛИЗА 216
ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА 218
РАСЧЕТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ 221
Общие аспекты 221
Анализ отдельной единичной упаковки 222
Оценка партий упаковок 223
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 225
Учет истории облучения (учет выгорания) 226
ВОПРОСЫ КОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ 228
Использование поглотителей нейтронов 228
Предперевозочные измерения 228
Литература к приложению V 229
Приложение VI. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕВОЗКИ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ 231
ВВЕДЕНИЕ 231
Общие аспекты 231
Область применения 232
Ответственность 232
Обеспечение качества – Базовые элементы 232
ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА 233
Организация и структура программы обеспечения качества 233
Документирование программы обеспечения качества 233
Анализ и оценка программы обеспечения качества 233
ОРГАНИЗАЦИЯ 234
Ответственность и полномочия 234
Анализ контрактов 234
Организационное взаимодействие 234
КОНТРОЛЬ ДОКУМЕНТОВ 234
Подготовка, анализ и утверждение документов 234
Выпуск и распространение документов 234
Контроль за изменениями в документах 235
КОНТРОЛЬ ЗА ПРОЕКТОМ 235
Общие положения 235
Планирование проекта 235
Входные проектные данные 235
Выходные проектные данные 235
Верификация и валидация проекта 235
Изменения проекта 236
КОНТРОЛЬ ЗА ПОСТАВКАМИ 236
Общие положения 236
Оценка и выбор поставщика 236
Данные по закупкам 236
Верификация закупок 236
Материалы, поставляемые покупателем 236
КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ 237
КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ 237
Общие положения 237
Контроль процессов – перевозка 237

Специальные процессы 237
КОНТРОЛЬ ИНСПЕКЦИЙ И ИСПЫТАНИЙ 237
Общие положения 237
Программа инспекции 238
Программа испытаний 238
Калибровка и контроль измерительного и испытательного оборудования 238
КОНТРОЛЬ НЕСООТВЕТСТВИЯ 238
КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ 238
ЗАПИСИ 239
ПЕРСОНАЛ И ОБУЧЕНИЕ 239
ОБСЛУЖИВАНИЕ 239
АУДИТ 239
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ 239
Литература к приложению VI 240
Приложение VII. Таблица соответствия пунктов Правил НП-053-04 и МАГАТЭ-96 (ST-1) 241
Приложение VIII. Таблица соответствия пунктов Правил МАГАТЭ-96 (ST-1) и НП-053-04 243

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

В настоящем Руководстве приняты следующие сокращения, используемые в НП-053-04, а также дополнительные сокращения.

АСФ	– аварийно-спасательное формирование
АЭД	– аэродинамически эквивалентный диаметр
ASTM	– американское общество по материалам и испытаниям
ГКО	– Государственный компетентный орган
ДОПОГ	– Европейское соглашение по международной дорожной перевозке опасных грузов
ЗАТО	– закрытое административно-территориальное образование
ИАТА	– Международная ассоциация воздушного транспорта
ИБК	– индекс безопасности по критичности
ИКАО (ICAO)	– Международная организация гражданской авиации
ИМО	– Международная морская организация
ИСО (ISO)	– Международная организация по стандартизации
Конвенция СОЛАС	– Международная конвенция по охране человеческой жизни на море
КСГМГ	– контейнер средней грузоподъемности для массовых грузов
МАГАТЭ	– Международное агентство по атомной энергии
МК МПОГ (IMDG)	– Международный кодекс морской перевозки опасных грузов
МНРД	– максимальное нормальное рабочее давление
МЧС России	– Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
НРБ	– Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) [1]
НРК	– неразрушающий контроль
НУА (LSA)	– низкая удельная активность
ОГ	– опасные грузы
ООБ	– отчет обоснования безопасности
ООН	– Организация Объединенных Наций
ОПБЗ	– Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке делящихся ядерных материалов (ОПБЗ-83) [65]
ОПРЗ (SCO)	– объект с поверхностным радиоактивным загрязнением
ОС ЖД	– Организация сотрудничества железных дорог
ОСЧС	– функциональная подсистема предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в организациях (на объектах), находящихся в ведении и входящих в сферу деятельности Росатома
ОСПОРБ	– Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) [2]
ОЯТ	– отработавшее ядерное топливо
ПБТРВ	– Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ-73)
ПВП ЯДМ	– Положение о порядке перевозок в Российской Федерации делящихся ядерных материалов воздушным транспортом
Правила	– Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов.

МАГАТЭ-96 (ST-1)	– Издание 1996 ST-1, МАГАТЭ, 1996 [11]
Правила МАГАТЭ	– Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Издание 1996 (исправленное). TS-R-1 (ST-1, исправленное), МАГАТЭ, 2000
ПРЗ	– программа радиационной защиты
РАО	– радиоактивные отходы
РВ	– радиоактивное вещество
РМ	– радиоактивный материал
РМНР	– радиоактивный материал с низкой способностью к рассеиванию
РМОВ	– радиоактивный материал особого вида
Росатом	– Агентство по атомной энергии
РСЧС	– Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
СТД	– стандартные температура и давление
СЦР	– самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция
ТИ	– транспортный индекс
ТУК	– транспортный упаковочный комплект
УРВТ	– уровень раскрытия вершины трещины
ФЗ	– Федеральный закон
ЯДМ	– ядерный делящийся материал
ЯМ	– ядерный материал
BSS	– международные Основные нормы безопасности [3]
TS-G-1.1	– Справочный материал к правилам МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных материалов. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Руководство по безопасности № TS-G-1.1 (ST-2). МАГАТЭ, 2005

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В НП-053-04

Общие пояснения

Принятые в НП-053-04 термины и определения соответствуют аналогичным терминам и определениям НРБ-99 [1], ОСПОРБ-99 [2], других федеральных норм и правил, а также Правил МАГАТЭ-96. В некоторых случаях, при наличии в указанных документах различных определений одних и тех же терминов, в настоящем Руководстве дается дополнительное пояснение причин принятия данного определения. Пояснения приводятся также при отклонении принятых в настоящем Руководстве определений от определений, принятых в других документах.

Пояснения к терминам и определениям

1. A_1

1-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 201.

1-С2. Термины A_1 и A_2 используются в Правилах для различных целей, в том числе для определения допустимой активности радиоактивного содержимого упаковок типа А, освобожденных упаковок, промышленных упаковок и упаковок типа B(U) для воздушных перевозок, определения допустимой потери активности из упаковок типа В и типа С, допустимого выщелачивания РМОВ и материалов НУА и др. Конкретные пояснения по применению терминов A_1 и A_2 даются в соответствующих пунктах настоящего Руководства. Общие пояснения по концепции использования системы значений A_1 и A_2, а также расчетам их конкретных значений для различных радионуклидов приведены в приложении I настоящего Руководства.

2. A_2

2-С1. См. пп.1-С1 и 1-С2.

3. Активность

3-С1. Определение соответствует НРБ-99 [1] и международным Основным нормам безопасности [3].

4. Альфа-излучатели низкой активности

4-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 227.

4-С2. Определение альфа-излучателей низкой токсичности основано на удельной активности радионуклида (или радионуклида в состоянии, в котором он перевозится). Для нуклидов с очень низкой удельной активностью необоснованно, из-за их объема, ожидать, что их попадание в организм приведет к дозам облучения, приближающимся к предельным. Такие нуклиды, как U-235, U-238 и Th-232, имеют удельную активность на 4 – 8 порядков ниже, чем Pu-238 или Pu-239 ($4 \cdot 10^3$ – $8 \cdot 10^4$ Бк/г по сравнению с $2 \cdot 10^9$ – $6 \cdot 10^{11}$ Бк/г). Хотя Th-228 и Th-230 имеют удельную активность, сравнимую по величине с Pu-238 и Pu-239, разрешается их относить к "альфа-излучателям низкой токсичности" только тогда когда они содержатся в рудах и физических и химических концентратах, что само по себе обеспечивает требуемую низкую концентрацию активности (п. 227.1 TS-G-1.1).

5. Делящиеся материалы

5-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 222.

5-С2. Цепочка деления поддерживается нейтронами. Поскольку цепная реакция зависит от поведения нейтронов, делящиеся материалы упаковываются и транспортируются в соответствии с требованиями, назначение которых – обеспечивать подкритичность и, таким образом, безопасность по критичности при перевозке. В Правилах термин "делящиеся материалы" время от времени используется то к делящимся радионуклидам, то по отношению к материалам, содержащим такие радионуклиды. Пользователи Правил должны быть внимательны по отношению к контексту, в котором используется термин "делящиеся материалы" (п. 222.1 TS-G-1.1).

5-С3. В большинстве случаев радионуклиды способны к делению, но многие из них делятся с трудом и только при наличии специального оборудования и особых условий. Отличительная особенность делящихся нуклидов, вытекающая из их определения, – способность их к СЦР под воздействием тепловых нейтронов (энергия нейтронов менее ~ 0,3 эВ) при условии накопления достаточной массы. Никаких других специальных действий, механизмов или условий не требуется. Например, Pu-238 не причисляется более к ним, потому, что, хотя он и способен поддерживать цепную реакцию деления на быстрых нейтронах в специальных лабораторных условиях, в той форме, в которой он транспортируется, но он не обладает такими свойствами. Ни при каких обстоятельствах Pu-238 не может поддерживать СЦР на тепловых нейтронах. Скорее он "делимый", чем "делящийся" (п. 222.2 TS-G-1.1).

5-С4. Как отмечено в п. 5-С3, основной принцип, использованный в Правилах при выборе нуклидов, определенных как делящийся материал, основан на легком аккумулировании достаточной массы для потенциальной критичности. Другие актиниды, имеющие возможность создать критичность, обсуждаются в ANSI/ANS-8.15-1981 [4], где представлены предельные подкритические массы для изолированных Np-237, Pu-238, Pu-240, Pu-242, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-247, Cf-249 и Cf-251. Предсказанные предельные значения подкритических масс находятся в диапазоне от нескольких граммов для Cf-251 до десятков килограммов. Отсутствие результатов критических экспериментов ограничивает знания о поведении этих нуклидов в условиях различных замедлителей и отражателей. Неопределенность данных о сечениях для многих из этих нуклидов требует, чтобы достаточное внимание (и соответствующий запас подкритичности) были обеспечены в рамках тех операций, в которых может участвовать достаточное количество этих нуклидов (или оно может быть получено при распаде до или в процессе перевозки). Рекомендации компетентного органа о необходимости и средствах выполнения оценки безопасности по критичности можно найти в требованиях, изложенных в пп. 671-682 Правил МАГАТЭ-96 для случаев, когда могут перевозиться значительные количества этих материалов (п. 222.3 TS-G-1.1).

6. Индекс безопасности по критичности (ИБК)

6-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 218.

6-С2. ИБК представляет собой новый термин, впервые введенный в Правила МАГАТЭ (и в НП-053-04). В изданиях Правил МАГАТЭ 1975 и 1985 годов (так же, как в ПБТРВ-73 и ОПБЗ-83) термин "транспортный индекс" использовался как для радиационного контроля, так и для контроля безопасности по критичности упаковок, содержащих делящиеся материалы. В этих изданиях Правил ТИ определялся как единое число, применяемое одновременно при рассмотрении вопросов радиационной безопасности и безопасности по критичности. Поскольку средства эксплуатационного контроля, необходимые для радиационной защиты и безопасности по критичности, существенно независимы, то настоящее издание Правил отделило ИБК от ТИ, который теперь определяется только из целей радиологического контроля (см. п. 243 Правил МАГАТЭ-96 и термин 33 НП-053-04). Такое разделение на два индекса дает ясное понимание основы эксплуатационного контроля упаковок с делящимися материалами и исключает потенциальные ненужные ограничения, вызванные использованием одного индекса. Однако при таком новом контроле необходимо быть осторожным, чтобы не спутать "новый ТИ" и "старый ТИ", используемый в предыдущем издании Правил. Осведомленность об этих изменениях необходима для обеспечения правильного использования этикеток для безопасности по критичности (см. пп. 544 и 545 Правил МАГАТЭ-96) и контроля критичности упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров, содержащих делящиеся материалы с использованием вновь введенного ИБК (п. 218.1 TS-G-1.1).

6-С3. ИБК представляет собой число, используемое для контроля безопасности по критичности при перевозке делящихся материалов и получаемое путем деления числа 50 на число N (см. п. 528 Правил МАГАТЭ-96 и п. 5.3.5 НП-053-04). Накопление упаковок, содержащих делящиеся материалы, требует контроля за отдельными грузами, транспортными средствами, грузовыми контейнерами и транспортными пакетами (см. пп. 566.d), 567 Правил МАГАТЭ-96), и при транзитном хранении (см. пп. 568, 569 Правил МАГАТЭ-96 и пп. 5.7.3 и 5.7.4 НП-053-04). Для осуществления такого контроля необходимо, чтобы ИБК был указан на этикетке (см. пп. 544 и 545 Правил МАГАТЭ-96), специально предусмотренной для индикации наличия делящихся материалов в упаковках, транспортных пакетах и грузовых контейнерах, содержимое которых состоит из делящихся материалов,

не освобожденных из сферы действия требований согласно п. 672 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 218.2 TS-G-1.1).

7. Исключительное использование

7-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 221.

7-С2. Выполнение начальных, промежуточных и окончательных операций по погрузке и выгрузке по указаниям грузоотправителей или грузополучателей означает либо непосредственные указания представителей грузоотправителя (грузополучателя), либо их соответствующие инструкции.

7-С3. Специфика исключительного использования, согласно определению, состоит, во-первых, в том, что перевозку должен осуществлять один грузоотправитель, который посредством достигнутых договоренностей с перевозчиком должен иметь право на единоличное использование транспортного средства или большого грузового контейнера, и, во-вторых, все начальные, промежуточные и конечные погрузочные и разгрузочные операции с грузом проводятся в строгом соответствии с указаниями грузоотправителя или грузополучателя (п. 221.1 TS-G-1.1).

7-С4. Поскольку, обычно в рамках исключительного использования отсутствуют транзитные операции с грузом, некоторые из требований, применяемых к обычным перевозкам, могут быть ослаблены. Ввиду дополнительного контроля, который практикуемого для партий груза при исключительном использовании, к ним следует применять особые положения, которые разрешают:

- использование промышленных упаковок пониженной прочности для материалов с НУА;
- перевозку упаковок, уровень излучения на поверхности которых превышает 2 мЗв/час (но не более 10 мЗв/ч), либо ТИ которых больше10;
- в ряде случаев – увеличение в 2 раза общего числа ИБК для упаковок с делящимися материалами.

Многие грузоотправители находят целесообразным добиться необходимой договоренности с перевозчиком для выполнения перевозки в условиях исключительного использования, чтобы грузоотправитель мог воспользоваться одним или несколькими из указанных выше положений (п. 218.2 TS-G-1.1).

7-С5. Для случаев с упакованными материалами с НУА в Правилах принимаются во внимание контролируемые условия погрузки и разгрузки, которые возможны при перевозке в условиях исключительного использования. Дополнительные меры контроля, применяемые при исключительном использовании должны приниматься в соответствии с инструкциями, подготовленными грузоотправителем или грузополучателем или (оба имеют полную информацию о грузе и о его потенциальной опасности) позволяющими некоторое ослабление прочности упаковки. В связи с тем,что неконтролируемое обращение с упаковками отсутствует в случаях исключительного использования, консерватизм, налагаемый в требованиях к обращению с обычными упаковками с материалами с НУА, снижен, однако эквивалентные уровни безопасности поддерживаются.

7-С6. Упаковки, с которыми возможно обращение в ходе перевозки, должны обязательно иметь допустимые уровни излучения, ограниченные для защиты работников, выполняющих операции с ними. Применение условий исключительного использования и контроль за обращением с упаковками в ходе перевозки обеспечивают уверенность в том, что предприняты необходимые меры радиационной защиты. Путем введения ограничений и пределов для допустимых уровней излучения вокруг транспортного средства допустимый уровень излучения для упаковки может быть увеличен без существенного увеличения риска.

7-С7. Поскольку в случае исключительного использования меры контроля эффективно предотвращают несанкционированное добавление РМ к партии груза и обеспечивают высокий уровень контроля за грузом со стороны грузоотправителя, в Правилах сделаны некоторые послабления, чтобы разрешить повышенное количество упаковок с делящимися материалами по сравнению с обычными грузами.

7-С8. Для исключительного использования транспортного средства или большого грузового контейнера определяющим фактором служит требование единоличного использования и требование единоличного контроля. Несмотря на то, что транспортное средство может быть использовано для перевозки только РМ, это не может быть автоматически квалифицировано как исключительное использование. Чтобы соответствовать определению исключительного использования, вся партия груза должна исходить от одного грузоотправителя или контролироваться одним грузоотправителем. Такой подход исключает практику накопления перевозчиком грузов от разных грузоотправителей на одном транспортном средстве. Даже в случае объединения перевозчиком многочисленных грузов на одном транспортном средстве это не будет исключительным использованием, так как вовлечен более чем один грузоотправитель. Однако это не препятствует квалифицированному перевозчику или грузополучателю, который объединяет перевозки более чем от одного источника, должным образом принять на себя ответственность грузоотправителя этих перевозок и быть назначенным таковым.

8. Категория

8-С1. В Правилах МАГАТЭ-96 не дается определения понятия "категория", хотя это понятие используется там полностью в том же самом значении.

9. Контейнер средней грузоподъемности для массовых грузов (КСГМГ)

9-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 224.

9-С2. Информация об использовании КСГМГ до настоящего времени отсутствует.

10. Максимальное нормальное рабочее давление (МНРД)

10-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 228.

10-С2. МНРД представляет собой разность между максимальным внутренним давлением в системе герметизации ТУК и средним атмосферным давлением на уровне моря для условий, которые определены ниже (п. 228.1 TS-G-1.1).

10-С3. Условия, внешней среды, которые следует использовать для определения МНРД упаковки, определены в пп. 653 и 654 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.9.11 НП-053-04) или для случая воздушного транспорта в п. 618 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.4.11 НП-053-04). Другие условия, которые нужно учитывать при определении МНРД, состоят в том, что упаковка предполагается необслуживаемой в течение одного года и подвергается воздействию максимальных внутренних тепловых нагрузок (п. 228.2 TS-G-1.1).

10-С4. Период длительностью один год превышает предполагаемое время перевозки упаковки, содержащей РМ, обеспечивая тем самым существенный запас безопасности для проведения транспортных операций, даже в случае потери упаковки при перевозке. Длительность равная одному году, произвольная, но такой период был согласован как верхний предел для времени, в течение которого упаковка может оставаться не обслуживаемой при транзите. Поскольку принято, что упаковка не обслуживается в течение одного года, следует принимать во внимание все химические и физические изменения с упаковкой или с ее содержимым, которые являются изменяющимися по своей природе и могут приводить к существенному повышению внутреннего давления в системе герметизации. Среди изменяющихся условий, которые должны приниматься во внимание, следует учитывать изменение в способности рассеивания тепла, газообразование вследствие радиолиза, коррозию, химические реакции, выход газа из-под оболочек топлива или других капсульных элементов в систему герметизации. Некоторые изменяющиеся условия могут приводить к снижению МНРД (например, снижение давления вследствие уменьшения выделения тепла благодаря радиоактивному распаду содержимого). Такие условия могут приниматься во внимание в случае их адекватного обоснования (п. 228.3 TS-G-1.1).

11. Материал с низкой удельной активностью (материал НУА)

11-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 226.

11-С2. Понятие "материал НУА" впервые введено в российские правила безопасности при транспортировании РМ.

11-С3. Общая цель введения понятия и классификации материалов НУА заключается в обеспечении возможности использования промышленных упаковок, к которым предъявляются менее жесткие требования, чем к упаковкам типа А, для перевозки РМ активностью более A_2. При этом уровень безопасности не становится ниже вследствие установления особых требований к физико-химическим и другим свойствам материалов НУА (средняя удельная активность, способность к рассеянию), ограничивающим их радиологическое воздействие при аварии.

11-С4. Причиной для введения категории материалов с НУА в Правила МАГАТЭ было существование определенных твердых материалов со столь низкой удельной активностью, что крайне маловероятно, чтобы при обстоятельствах, возникающих при перевозке, значительное количество этих материалов попало в тело человека, вызвав повышенную радиационную опасность. Урановые и ториевые руды, их физические и химические концентраты представляют собой материалы, относящиеся к указанной категории. Эта концепция была расширена для включения других твердых материалов на основе модели, которая предполагает крайне маловероятным нахождение человека в пыльной атмосфере столь долго, чтобы вдохнуть более чем 10 мг материала. Если удельная активность материала такова, что поглощенная масса эквивалентна поглощенной активности, предполагаемой для человека, вовлеченного в среднюю аварию с упаковкой типа А, а именно 10^{-6} A_2, то считается, что этот материал при перевозке не будет представлять опасность больше, чем опасность при перевозке упаковки типа А. Это дает предельное значение 10^{-4} $A_2/г$ для материалов с НУА (п. 226.1 TS-G-1.1).

11-С5. В Правилах учтена возможность перевозки твердых материалов НУА без какого-либо упаковочного комплекта. Вопрос возникал относительно бетонных блоков (с активностью по всей массе), облученных объектов и объектов с фиксированным загрязнением. Если удельная активность относительно низкая и активность остается внутри или фиксируется на поверхности материала НУА, то его можно рассматривать как упаковку. С целью обеспечения соответствия и безопасности, пределы излучения на поверхности неупакованных материалов НУА не должны превышать пределы, установленные для упакованных материалов. Поэтому было установлено, что в случае превышения уровней излучения на поверхности неупакованных материалов НУА, допусти-

мых для упаковок (2 мЗв/ч для неисключительного использования и 10 мЗв/ч для исключительного использования), объект должен быть упакован в промышленную упаковку, которая обеспечивает защиту при обычной перевозке. Аналогичные аргументы принимались при установлении пределов для загрязненных поверхностей неупакованных ОПРЗ (п. 226.2 TS-G-1.1).

11-С6. Преамбула к определению материалов с НУА не содержит значения предельного уровня излучения для незащищенного материала 10 мЗв/ч на расстоянии 3 м (см. п. 521 Правил МАГАТЭ-96 и п. 5.6.1 НП-053-04), поскольку это в значительно большей степени свойство количества материала, помещенного в отдельную упаковку, чем свойство самого материала (хотя в случае твердых объектов, которые не могут быть разделены, это свойство самого твердого объекта) (п. 226.3 TS-G-1.1).

11-С7. Преамбула также не содержит сведений о равномерном распределении радионуклидов в материалах с НУА. Однако установлено, что материал должен быть в такой форме, чтобы он мог характеризоваться величиной средней удельной активности. Относительно реальных материалов, перевозимых как НУА, было решено, что степень неравномерности должна варьироваться в зависимости от категории НУА. Таким образом, степень неравномерности распределения обязательно определяется для каждой категории НУА (см. например, п. 226.c)(i) Правил МАГАТЭ-96 и термин 11 НП-053-04) (п. 226.4 TS-G-1.1).

11-С8. До настоящего времени методы оценки средней удельной активности материалов НУА для условий перевозки не стандартизированы, поэтому используемые методы должны быть одобрены ГКО при выдаче сертификатов-разрешений на конструкции промышленных упаковок. Это, в частности, служит одной из причин введения в НП-053-04, в отличие от Правил МАГАТЭ-96, требования о выдаче ГКО сертификатов (сертификатов-разрешений) на перевозки промышленных упаковок типа ПУ-2 и типа ПУ-3.

11-С9. Материал НУА-1 был введен в Правилах МАГАТЭ издания 1985 для описания материалов с очень низкой удельной активностью. Такие материалы могут перевозиться неупакованными либо могут быть упакованы в промышленные упаковки типа 1 (тип ПУ-1), спроектированные в соответствии с минимальными требованиями (п. 621 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.6.1 НП-053-04). Согласно требованиям п. 226.a)(i) Правил МАГАТЭ-96 (термин 11 НП-053-04), материалы НУА-1 не могут состоять из концентратов руд, отличных от концентратов урана или тория (например, концентрат руды радия не может быть материалом НУА-1), если они не удовлетворяют требованиям п. 226.a)(iv) Правил МАГАТЭ-96 (термин 11 НП-053-04). В Правилах МАГАТЭ-96 категория НУА-1 была пересмотрена для того, чтобы учитывать:

- уточнение сферы применения правил относительно руд, отличных от урановых и ториевых в соответствии с п. 107(e) Правил МАГАТЭ-96 (п. 1.1.3 НП-053-04);
- исключение делящихся материалов в количествах, освобожденных от требований к упаковкам с делящимися материалами в соответствии с п. 672 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.2 НП-053-04);
- введение новых уровней изъятия в соответствии с п. 236 Правил МАГАТЭ-96 (термин 25 НП-053-04).

Определение НУА-1 было соответственно изменено, с целью:

- включить только содержащие природные радионуклиды руды, которые предполагается перерабатывать для использования этих радионуклидов (п. 226.a)(i) Правил МАГАТЭ-96 и термин 11 НП-053-04);
- исключить делящиеся материалы в количествах, не подпадающих под освобождение согласно п. 672 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 226.a)(iii) Правил МАГАТЭ-96 и термин 11 НП-053-04);
- добавить РМ, в которых активность распределена в пределах, до 30 раз превышающих уровень изъятия (п. 226.a)(iv) Правил МАГАТЭ-96 и термин 11 НП-053-04).

Материалы, содержащие радионуклиды с концентрациями выше, чем уровни изъятия, должны регулироваться. Целесообразно, чтобы материалы с содержанием радионуклидов, не более чем в 30 раз превышающим уровень изъятия, могли быть освобождены от части требований Правил и могли быть отнесены к категории материалов НУА-1. Коэффициент 30 был выбран для учета процедуры округления, использованной в Основных нормах безопасности [3] при определении уровней изъятия, и предоставления разумной гарантии того, что перевозка таких материалов не приводит к росту доз выше приемлемых (п. 226.5 TS-G-1.1).

11-С10. Уран с обогащением до 20% и менее может транспортироваться либо как материал НУА-1, либо в упаковке типа ПУ-1, либо неупакованным в количествах, освобожденных от требований к упаковкам с делящимися материалами. Однако количество материала, превышающее уровни освобождения (см. п. 672 Правил МАГАТЭ-96), будет предметом применения требований к упаковкам, содержащим делящийся материал, исключая, таким образом, перевозку не утверждаемых компетентным органом материалов неупакованными либо в упаковках (п. 226.6 TS-G-1.1).

11-С11. Материалы, предполагаемые к перевозке в качестве НУА-II, могут включать ядерные отходы, такие как низкоактивные смолы, отфильтрованные осадки, абсорбированные жид-

кости и другие подобные материалы получаемые от эксплуатации реактора, а также аналогичные материалы получаемые от других операций топливного цикла. Кроме того, НУА-II могут включать в себя многие элементы активированного оборудования выведенных из эксплуатации атомных станций. Поскольку материалы НУА-II могут поступать в организм человека после аварии, их предельная удельная активность основана на предполагаемом поглощении индивидуумом 10 мг материала. Очевидно, что материалы НУА-II распределены неравномерно (сцинтилляционные емкости, госпитальные и биологические отходы, отходы после вывода из эксплуатации атомной станции), поэтому их допустимая удельная активность существенно ниже, чем установленная для НУА-III. В 20 раз более низкая разрешенная удельная активность по сравнению с предельным значением для НУА-III компенсирует эффекты локальной концентрации для неравномерно распределенных материалов (п. 226.7 TS-G-1.1).

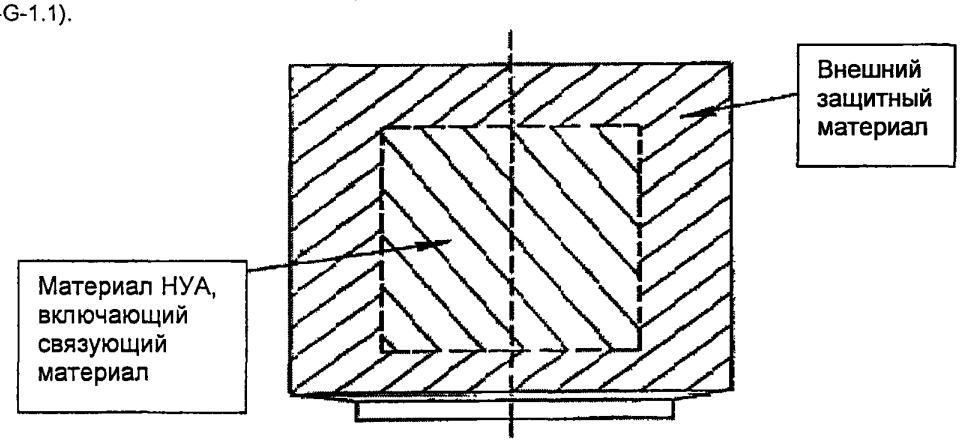
11-С12. Одни материалы, считающиеся пригодными для включения в категорию НУА-III, могут быть отнесены к равномерно распределенным материалам (концентрированные жидкости в бетонной матрице), другие (отвержденные смолы и кассетные фильтры) распределены в матрице, но не столь равномерно. Отверждение этих материалов в монолитное твердое тело, не растворимое в воде и невоспламеняемое, делает крайне маловероятным попадание какой-либо существенной их части в организм человека. Рекомендуемые нормы преследуют цель регламентировать меньшую степень равномерности распределения активности (п. 226.8 TS-G-1.1).

11-С13. Положения для НУА-III предназначены главным образом для определенных грузов с РАО, имеющими среднюю удельную активность выше предела 10^{-4} A_2/г, установленного для материалов НУА-II. Более высокий предел удельной активности 2 $\cdot 10^{-3}$ A_2/г для материалов НУА-III обосновывается:

- ограничением указанных материалов твердыми материалами в недисперсной форме, следовательно, поэтому полностью исключены порошки, а также жидкости или растворы;
- необходимостью в испытании на выщелачивание для обоснования достаточной нерастворимости указанных материалов в случае воздействия таких природных условий, как ливень (см. п. 601.2 TS-G-1.1);
- более высоким уровнем требований к промышленным упаковкам типа 3 (ПУ-3) в условиях неисключительного использования, который представляет собой то же, что и требования для упаковок типа А для твердых материалов; в случае промышленной упаковки типа 2 (ПУ-2) (п. 524 Правил МАГАТЭ-96 и 5.6.3 НП-053-04) отсутствие испытания на опрыскивание водой и испытания на глубину разрушения компенсируется испытанием на выщелачивание и эксплуатационным контролем при исключительном использовании соответственно (п. 226.9 TS-G-1.1).

11-С14. Предел удельной активности для жидкостей НУА-II 10^{-5} A_2/г, являющийся в 10 раз более строгим ограничением, чем для твердых материалов, учитывает возможность увеличения концентрации жидкости при перевозке (п. 226.10 TS-G-1.1).

11-С15. Твердый компактный связующий материал, такой бетон, битум и т.д., перемешанный с материалом НУА, не может рассматриваться в качестве внешней защиты материала НУА. Этот материал может снизить уровень поверхностного излучения и может быть принят во внимание при определении средней удельной активности. Однако если РМ окружен внешней защитой из материала, который сам не является радиоактивным, как это показано на рисунке, то он не должен приниматься во внимание при определении удельной активности материала НУА (п. 226.11 TS-G-1.1).



Материал с низкой удельной активностью, окруженный оболочкой из нерадиоактивного защитного материала

11-С16. Для твердых материалов НУА-II и для материалов НУА-III, не связанных твердым компактным агентом, в соответствии с Правилами требуется распределение активности по всему материалу. Это положение Правил не определяет требования к тому, как должна быть распределена активность. Однако важно признать, что концепция ограничения оцененной удельной активности теряет смысл для случая, когда активность определенно локализована в малой доле большого объема (п. 226.12 TS-G-1.1).

11-С17. Целесообразно предусматривать метод, с помощью которого можно судить о значимости оцененной средней активности по тому, как она была определена. Существует несколько методов, которые могут быть пригодными для этой конкретной цели (п. 226.13 TS-G-1.1).

11-С18. Простой метод оценки средней активности состоит в делении объема, занятого материалом НУА, на определенные части для последующей оценки и сравнения удельной активности каждой из этих частей. Предложено, что различие значений удельной активности частей менее чем в 10 раз считается допустимым (п. 226.14 TS-G-1.1).

11-С19. Должно быть принято решение о выборе размера частей нужных для оценки. Представленный в п. 226.14 TS-G-1.1 метод не следует использовать для объемов менее чем 0,2 м^3. Для объемов между 0,2 и 1,0 м^3 объем должен быть разделен на пять, а для объема больше чем 1,0 м^3, – на десять частей приблизительно эквивалентного размера (п. 226.15 TS-G-1.1).

11-С20. Для материалов НУА-III, состоящих из РМ, связанного компактным твердым агентом, требование состоит в том, чтобы они были равномерно распределены в этом агенте. Поскольку требование "в основном равномерно распределены" для материалов НУА-III является качественным, следует устанавливать методы, с помощью которых можно оценивать соответствие требованиям (п. 226.16 TS-G-1.1).

11-С21. Следующий метод приводится как пример для материалов НУА-III, в основном равномерно распределеннных в компактном твердом связывающем агенте. В соответствии с этим методом объем НУА вместе со связывающим агентом должен быть поделен на несколько частей. Для объема больше чем 0,1 м^3 должно быть выбрано, по крайней мере, 10 частей. Затем следует оценивать удельную активность каждой части (используя измерения, расчеты или комбинацию этих методов). Различие удельной активности между частями не должно вызывать беспокойства, если значения отличаются не более чем в 3 раза. Коэффициент 3 в этом методе гораздо более ограничителен, чем коэффициент 10, предложенный в справке 11-С18 настоящего Руководства, поскольку требование "в основном равномерно распределен" в отношении материалов НУА-III по своему замыслу должно быть более ограничивающим, чем требование "распределен по всему объему" (п. 226.17 TS-G-1.1).

11-С22. Как следствие определения материала НУА, сформулированы дополнительные требования:

а) для количества материала НУА в одной упаковке по отношению к уровню внешнего излучения незащищенного материала (п. 521 Правил МАГАТЭ-96 и п. 5.6.1 НП-053-04);

б) для общей активности материала НУА на любом транспортном средстве (п. 525 и табл. V Правил МАГАТЭ-96 и п. 5.6.5 и табл. 5.6 НП-053-04).

Оба требования могут оказаться более строгими, чем основные требования, приведенные в п. 226 Правил МАГАТЭ-96 для материала НУА. Это можно увидеть из следующего теоретического примера: если принято, что емкость 200 л заполнена твердым горючим материалом со средней удельной активностью $2\cdot10^{-3}A_2$/г, то полагается, что этот материал может перевозиться как НУА-III. Тем не менее, например, если плотность материала составляет 1 г/см^3, общая активность в баке будет $400A_2$ [$(2\cdot10^{-3}A_2$/г$)(1$ г/см$^3)(2\cdot10^5$ см$^3) = 400A_2$] и перевозка материала в качестве НУА-III должна быть запрещена из-за предела $10A_2$, установленного для внутренних водных путей, и $100A_2$ – для других видов транспорта (см. табл. V Правил МАГАТЭ-96 и табл. 5.6 НП-053-04), а также п. 525.2 TS-G-1.1 (п. 226.18 TS-G-1.1).

11-С23. Объекты, активированные, или другим образом радиоактивные и загрязненные, не могут рассматриваться, как ОПРЗ. Однако такие объекты могут быть квалифицированы как материалы НУА, поскольку объекты, имеющие распределенную активность внутри и загрязнение на поверхности, могут считаться отвечающими требованию о распределении активности по всему объему. Чтобы квалифицировать такие материалы как НУА, следует устанавливать для них предел средней удельной активности, которому они должны удовлетворять. При оценке средней удельной активности таких материалов должна приниматься во внимание вся активность, связанная с этим объектом, как распределенная внутри, так и находящаяся на загрязненной поверхности. По применимости дополнительные требования, применимые к НУА, также должны удовлетворяться (п. 226.19 TS-G-1.1).

11-С24. Уплотнение материала не должно изменять его классификацию. Для обеспечения этого масса любого контейнера, уплотняемого вместе с материалом, не должна приниматься во внимание при определении средней удельной активности уплотненного материала (п. 226.20 TS-G-1.1).

11-С25. См. также приложение I к настоящему Руководству.

12. Необлученный торий

12-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 244.

12-С2. Термин "необлученный торий" в определении материалов НУА предназначен для того, чтобы исключать из рассмотрения любой торий облучаемый в ядерном реакторе для превращения Th-232 в U-233 и являющимся делящимся материалом. Определение могло бы запрещать присутствие любого U-233, но природный торий может содержать следы U-233. Предел 10^{-7} г U-233 на 1 г Th-232 однозначно исключает из рассмотрения любой облученный торий, при этом не исключена возможность содержания следов присутствия U-233 в природном тории (п. 244.1 TS-G-1.1).

13. Необлученный уран

13-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 245.

13-С2. Термин "необлученный уран" введен для исключения из рассмотрения любого облученного в реакторе урана, как с целью превращения U-238 в Pu-239, так и с целью деления U-235. Такое определение могло бы исключать присутствие любого плутония или продуктов деления, но природный уран может содержать следы плутония и продуктов деления. В Правилах МАГАТЭ редакции 1985 пределы для содержания 10^{-6} г плутония на 1 г U-235 и 9 МБк продуктов деления на 1 г U-235 были введены для однозначного исключения из рассмотрения любого облученного урана, признавая в то же время присутствие следов плутония и продуктов деления в природном уране (п. 245.1 TS-G-1.1).

13-С3. Присутствие U-236 - более существенный показатель облучения нейтронным потоком. Величина $5 \cdot 10^{-3}$ г U-236 на 1 г U-235 была выбрана как представляющая согласованную позицию Комитета С-26 ASTM (Американское общество по материалам и испытаниям) в спецификации С-996 для обогащенного коммерческого урана. Эта величина включена в Правила МАГАТЭ издания 1996 и признает возможность следов загрязнения облученным ураном, но дает гарантии, что материал может все еще рассматриваться как необлученный. Эта спецификация представляет композицию с максимальной величиной для радионуклидов урана, для которой может быть продемонстрировано, что значение A_2 для гексафторида урана не неограниченно. Полагается, что отличие значения A_2 для двуокиси урана будет незначительным [5] (п. 245.2 TS-G-1.1).

14. Неснимаемое (фиксированное) радиоактивное загрязнение поверхности

14-С1. Определение, по сути, соответствует приведенному в ОСПОРБ [2], п. 22.

14-С2. Радиоактивные загрязнения включают в себя два типа РМ, распределенных на поверхности или внедренных в поверхность, а именно фиксированные и нефиксированные загрязнения. Принципиальных различий между фиксированными и нефиксированными загрязнениями не существует, и для их различия использовались разные условия. Для практических целей делают различия между загрязнениями, которые в обычных условиях перевозки остаются связанными (т.е. фиксированное загрязнение) и, таким образом, не могут увеличивать опасность вследствие попадания внутрь организма пероральным, ингаляционным путем или в результате рассеяния и нефиксированными загрязнениями, которые могут быть источником такой опасности. Фиксированные загрязнения представляют собой опасность только в связи с внешним облучением, в то время как нефиксированные загрязнения обладают потенциальной опасностью как внутреннего облучения ингаляционным или пероральным путем, так и внешнего облучения при загрязнении кожи, если такое загрязнение выходит с поверхности. В аварийных условиях и при определенных условиях эксплуатации, таких как некоторые погодные условия, например, выветривание, фиксированные загрязнения могут стать нефиксированными (п. 214.1 TS-G-1.1).

14-С3. Загрязнения ниже уровней 0,4 Бк/см^2 для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности, а также других альфа-излучателей с уровнем загрязнения ниже 0,04 Бк/см^2 (см. также п. 508 Правил МАГАТЭ-96) могут приводить только к незначительному облучению указанными путями (п. 214.2 TS-G-1.1).

14-С4. Любые поверхности с уровнем загрязнения менее чем 0,4 Бк/см^2 для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности или менее чем 0,04 Бк/см^2 для всех других альфа-излучателей, в соответствии с Правилами считаются незагрязненными поверхностями. Например, нерадиоактивный твердый предмет с уровнем загрязнения поверхности ниже упомянутых выше значений будет вне сферы действия Правил, и к его перевозке не предъявляются никакие требования (п. 214.3 TS-G-1.1).

15. Обедненный уран

15-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 246.

16. Обогащенный уран

16-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 246.

17. Объект с поверхностным радиоактивным загрязнением (ОПРЗ)

17-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 241.

17-С2. Понятие ОПРЗ впервые введено в российские правила безопасности при транспортировании РМ.

17-С3. Общей целью введения понятия и классификации ОПРЗ, так же, как и материалов НУА, служат обеспечение возможности использования промышленных упаковок, к которым предъ-

являются менее жесткие требования, чем к упаковкам типа А, для перевозок объектов, загрязненных РМ активностью более A_2 в неупакованном виде и в промышленных упаковках. При этом уровень безопасности не становится ниже вследствие того, что РМ на ОПРЗ распределен по большой площади, а главное находится в связанном состоянии, что ограничивает его рассеяние при аварии и соответствующие радиологические последствия.

17-С4. Различие между двумя категориями ОПРЗ сделано в зависимости от уровня загрязнения их поверхностей. Это определяет тип упаковочного комплекта, который нужно использовать для перевозки указанных объектов. Правила обеспечивают соответствующую гибкость для перевозки неупакованных объектов ОПРЗ-I или в промышленных упаковках типа 1 (ПУ-1). Более высокий уровень нефиксированных загрязнений установлен для объектов, классифицируемых как ОПРЗ-II; он нуждается в более совершенной системе герметизации, обеспечиваемой промышленными упаковками (ПУ-2) (п. 241.1 TS-G-1.1).

17-С5. Модель для ОПРЗ-I, использованная как обоснование пределов для фиксированного и нефиксированного загрязнений, основана на следующем сценарии. Объекты из категории объектов с поверхностным радиоактивным загрязнением могут включать те части объектов ядерных реакторов или другого оборудования объектов ядерного топливного цикла, которые находились в контакте с теплоносителем первого или второго контура, или при процессах, связанных с РАО, в результате которых произошло загрязнение их поверхности смешанными продуктами деления. На основе допустимых уровней загрязнения для бета- и гамма-излучателей объект с поверхностью 10 м^2 может иметь фиксированное загрязнение до 4 ГБк и нефиксированное до 0,4 МБк. В ходе обычной перевозки объект может быть в неупакованном виде при перевозке на условиях исключительного использования, но при этом необходимо его закрепление (п. 523.а) Правил МАГАТЭ-96 и п. 5.6.4 НП-053-04), чтобы гарантировать отсутствие распространения РМ из транспортного средства. Предполагается, что объект ОПРЗ-I и другой груз попадают в аварийные условия, где 20% поверхности подвергается соскабливанию и 20% фиксированных загрязнений с соскобленной поверхности освобождается. Кроме того, предполагается, что с поверхности освобождаются все нефиксированные загрязнения. Общий выход активности может быть 160 МБк для фиксированного загрязнения и 0,4 МБк – для нефиксированного. При использовании величины A_2, равной 0,02 ТБк для смешанных бета- и гамма-излучателей продуктов деления, активность выхода будет равна $8 \cdot 10^{-3} A_2$. Предполагается, что такая авария может возникнать только снаружи, поэтому согласно основному предположению системы Q, разработанной для упаковок типа А (см. приложение I к настоящему Руководству), поглощение составит 10^{-4} от очищенных радионуклидов на индивидуума вблизи места аварии. Это приводит к общему поглощению $0{,}8 \cdot 10^{-6} A_2$ и, следовательно, обеспечивает уровень безопасности, эквивалентный уровню безопасности для упаковок типа А (п. 241.2 TS-G-1.1).

17-С6. Модель для объекта ОПРЗ-II подобна модели для объекта ОПРЗ-I, хотя они могут быть загрязнены в 20 раз больше фиксированными загрязнениями и в 100 больше нефиксированными. Однако для перевозки объектов ОПРЗ-II требуется промышленная упаковка (ПУ-2). Наличие такой упаковки приведет при аварии к такому же выходу, что и для упаковки типа А. Использование доли выхода, равной 10^{-2} спровоцирует общий выход бета- и гамма-излучающих радионуклидов, равный 32 МБк для фиксированного загрязнения и 8 МБк для нефиксированного, что равно $2 \cdot 10^{-3} A_2$. Применение того же самого коэффициента поступления (поглощения), что и в п. 17-С5 настоящего Руководства, приведет к поглощению $0{,}2 \cdot 10^{-6} A_2$, обеспечивая таким образом тот же уровень безопасности, что и для упаковок типа А (п. 241.3 TS-G-1.1).

17-С7. Если общая активность ОПРЗ столь низка, что удовлетворяются пределы, установленные для освобожденных упаковок в соответствии с положениями п. 408 Правил МАГАТЭ-96, то при условии выполнения всех требований и условий контроля, применимых к перевозке освобожденных упаковок (см. пп. 515-519 Правил МАГАТЭ-96 и пп. 5.5.1-5.5.6 НП-053-04), ОПРЗ может перевозиться как освобожденная упаковка (п. 241.4 TS-G-1.1).

17-С8. ОПРЗ – объекты, которые сами не являются радиоактивными, но на поверхности которых распределены РМ. Как следствие этого определения, объекты, радиоактивные сами по себе, не могут классифицироваться как ОПРЗ. Такие объекты могут рассматриваться в качестве объектов с низкой удельной активностью, если все требования, определенные для объектов с низкой удельной активностью, удовлетворены. См. также справку 11-С23 настоящего Руководства (п. 241.5 TS-G-1.1).

17-С9. Примерами недоступных поверхностей являются:

- внутренние поверхности труб, концы которых могут быть надежно закрыты с помощью простых методов;
- внутренние поверхности эксплуатационного оборудования для ядерных установок, которые заглушены или формально закрыты;
- защитные камеры с заглушенными входами (п. 241.6 TS-G-1.1).

17-С10. Методы измерения фиксированного и нефиксированного загрязнений упаковок и транспортных средств указаны в справках 5.3.11-С2 и 5.3.11-С7 – 5.3.11-С12 настоящего Руково-

дства. Эти методы применимы к ОПРЗ. Однако для того, чтобы применять эти методы правильно, грузоотправителю нужно знать состав загрязнения (п. 241.7 TS-G-1.1).

18. Природный уран

18-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 246.

19. Программа радиационной защиты

19-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 234.

20. Радиоактивное вещество

20-С1. Определение соответствует Федеральному закону "Об использовании атомной энергии".

21. Радиоактивный материал особого вида (РМОВ)

21-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 239.

21-С2. Правила основаны на предпосылке, что потенциальный риск, связанный с перевозкой неделящегося РМ, зависит от четырех важных параметров:

- дозы на единичное поступление радионуклида (пероральным или ингаляционным путем);
- общей активности, содержащейся в упаковке;
- физической формы радионуклида;
- потенциальных внешних уровней излучения (п. 239.1 TS-G-1.1).

21-С3. Правила признают, что РМ в нерассеиваемом виде или заключенный в прочную металлическую капсулу представляет минимальную опасность загрязнения, хотя опасность прямого радиационного воздействия все же существует. Материал, защищенный таким образом от риска рассеяния в аварийных условиях, отнесен к "радиоактивным материалам особого вида". Радиоактивный материал, сам по себе являющийся дисперсным, может быть адсорбирован, абсорбирован или соединен с инертным твердым телом таким образом, что он ведет себя как нерассеиваемое твердое тело, например металлическая фольга. См. справки 2.2.2-С2, 2.2.2-С4 – 2.2.2-С6 и 2.2.3-С2 и 2.2.3-С4 настоящего Руководства (п. 239.2 TS-G-1.1).

21-С4. Если радиоактивное содержимое упаковки не является материалом особого вида, то количество РМ, которое может быть перевезено в освобожденной упаковке или в упаковке типа А, будет ограничено величиной A_2 или значением, кратным ей. Например, для упаковки типа А количество будет ограничено величиной A_2, а для освобожденных упаковок эта величина будет изменяться от A_2 до $10^{-4}A_2 - 10^{-5}A_2$, если перевозка осуществляется почтой, и будет зависеть от того, является ли материал твердым, жидким или это газ, и входит ли он в состав какого-либо изделия или прибора. Однако если материал является материалом особого вида, то пределы для упаковки изменяются от A_2 до A_1 или величины, кратной ей. В зависимости от радионуклидов A_1 может отличаться от A_2 в 1 ÷ 10 000 раз (см. табл. I Правил МАГАТЭ-96 и табл. 1 приложения 1 НП-053-04). Возможность перевозить повышенное количество РМ в упаковке, если он является РМОВ, относится только к упаковкам типа А и освобожденным упаковкам (п. 239.3 TS-G-1.1).

22. Радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию (РМНР)

22-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 225.

22-С2. Понятие впервые введено в российские правила безопасности при перевозке РМ.

22-С3. Концепция РМНР применяется только для установления исключений из требований к упаковкам типа С при перевозках воздушным транспортом (п. 225.1 TS-G-1.1).

22-С4. РМНР обладают такими свойствами, что они не могут приводить к существенному потенциальному выходу радиоактивности или облучению. Даже когда такие материалы подвергаются удару на высокой скорости или тепловому воздействию, только очень незначительная часть их может переходить в воздух. Потенциальное облучение от вдыхания распыленных материалов вблизи места аварии будет весьма ограниченным (п. 225.2 TS-G-1.1).

22-С5. Критерии для РМНР разработаны в соответствии с другими критериями безопасности, установленными в Правилах, и на основе представленных методов демонстрации приемлемых радиологических последствий. Правила требуют, чтобы характеристики РМНР были продемонстрированы без учета свойства упаковочного комплекта типа В, в котором они перевозятся (п. 225.3 TS-G-1.1).

22-С6. Радиоактивным материалом с низкой способностью к рассеянию может быть РМ сам по себе, в твердой нерассеиваемой форме либо высокопрочная герметичная капсула, содержащая РМ, ведущая себя как нерассеиваемое твердое тело. Порошки и порошкообразные материалы не могут быть квалифицированы как материалы с низкой способностью к рассеянию (п. 225.4 TS-G-1.1).

23. Радиоактивное загрязнение поверхности

23-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 214.

23-С2. Нижний уровень поверхностного радиоактивного загрязнения, ниже которого поверхность считается незагрязненной, впервые введен в российские правила безопасности при транспортировании РМ.

23-С3. См. справку 14-С2 настоящего Руководства.

23-С4. См. справку 14-С3 настоящего Руководства.

23-С5. См. справку 14-С4 настоящего Руководства.

24. Радиоактивное содержимое

24-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 235.

24-С2. Понятие "радиоактивное содержимое" включает в себя не только так называемые полезные РМ, перевозимые в упаковке, но и те материалы, которые сопровождают полезные РМ (радиоактивное загрязнение внутренних поверхностей упаковки и ее элементов, оставшиеся, например, в результате загрузки или предыдущих перевозок РМ в упаковке, загрязненная газовая среда в упаковке, активированные элементы упаковочного комплекта и т.д.). Все эти материалы следует учитывать при расчетах радиационной защиты и потерь активности из упаковки.

25. Радиоактивный материал

25-С1. Формально определение отличается от определения РМ согласно Правилам МАГАТЭ-96, п. 236.

25-С2. Главная задача данного определения заключается в объединении понятия РВ и ЯМ, принятые в Федеральном законе "Об использовании атомной энергии", в единое понятие РМ, как это принято в Правилах МАГАТЭ-96 и в российских и международных правилах перевозки опасных грузов на различных видах транспорта. Радиоактивные отходы также подпадают под определение радиоактивных материалов.

25-С3. В предшествующих изданиях Правил, единственной величиной, которая использовалась в качестве уровня изъятия при определении для целей перевозки, было значение удельной активности 70 Бк/г. Следуя публикации Основных норм безопасности (BSS) [3] и НРБ-99 [1], было признано, что эта величина не имела под собой радиологической основы. Поэтому для установления величины уровня изъятия в зависимости от вида радионуклида для целей перевозки (см. п. 401.3 или справку 1.1.3-С15 настоящего Руквоводства) были использованы критерии радиационной защиты, определенные в [3] и в [1] (п. 236.1 TS-G-1.1).

26. Резервуар

26-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 242.

26-С2. Понятие впервые введено в российские правила безопасности при перевозке РМ.

26-С3. Нижний предел емкости 450 л (1000 л для газов) включен для достижения согласованности с Рекомендациями по перевозке опасных грузов ООН (п. 242.1 TS-G-1.1).

26-С4. В п. 242 Правил МАГАТЭ-96 и термине 26 НП-053-04 рассматривается твердое содержимое в резервуаре, куда оно помещается в жидкой или газообразной форме и впоследствии отверждается еще до начала перевозки (например, гексафторид урана UF_6).

28. Система герметизации (упаковки)

28-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 213.

28-С2. Система герметизации может представлять собой всю упаковку, однако чаще это лишь ее часть. Например, для упаковки типа А система герметизации может быть в виде емкости с радиоактивным содержимым. Емкость, образующий ее свинцовый защитный контейнер и картонный ящик составляют упаковочный комплект. Система герметизации не обязательно включает в себя защиту. В случае РМОВ и радиоактивных материалов с низкой способностью к рассеянию такой РМ сам может быть частью системы герметизации (см. п. 640 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.8.7 НП-053-04) (п. 213.1 TS-G-1.1).

28-С3. Требования к герметичности системы защитной оболочки для упаковок типа B(U), типа B(M), типа C зависят от радиотоксичности радиоактивного содержимого; например, упаковки типа B(U) или типа C в аварийных условиях должны иметь выход радиоактивности, ограниченный значением A_2 в неделю. Эта привязанность к величине A_2 означает, что для самых высокотоксичных радионуклидов, таких как плутоний и америций, объемная скорость утечки должна быть значительно ниже, чем для низкообогащенного урана. Однако если делящийся материал способен выходить из системы герметизации в условиях аварии, то должно быть продемонстрировано, что вышедшее количество соответствует тем значениям, которые принимались при оценке безопасности по критичности (см. п. 628.c) Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.6.7 НП-053-04).

29. Снимаемое (нефиксированное) радиоактивное загрязнение поверхности

29-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 215 и ОСПОРБ [2], п. 23.

29-С2. См. 14-С2 – 14-С4 настоящего Руководства.

30. Специально выделенная часть палубы

30-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, но термин немного отличается от принятого в этих Правилах, п. 219.

31. Специальные условия

31-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 238.

31-С2. Специальные условия перевозки разрабатывает эксплуатирующая организация (грузоотправитель). Утверждение специальных условий осуществляет в настоящее время Росатом в порядке выполнения им функций ГКО.

31-С3. Этот тип перевозки предназначен для тех ситуаций, когда соответствие всем необ-

ходимым для данного груза РМ требованиям Правил не может быть обеспечено (например, удаление старого оборудования, содержащего РМ, когда не существует разумного способа его перевозить в утвержденной упаковке). Опасность, связанная с распаковкой и обращением с РМ может перевешивать преимущество использования утвержденной упаковки, предполагая даже, что такая приемлемая упаковка имеется.

Положения специальных условий должны компенсировать отступления от нормальных требований Правил, обеспечивая эквивалентный уровень безопасности. В соответствии с основной философией транспортных правил при разработке компенсирующих мер доверие к административным мерам следует сводить к минимуму (п. 238.1 TS-G-1.1).

32. Транспортный пакет

32-С1. Определение соответствует понятию "пакет", принятому в российских правилах перевозки грузов, в том числе правилах перевозки опасных грузов. При использовании в Правилах термин полностью соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 229.

32-С2. Понятие впервые введено в российские правила безопасности при перевозке РМ.

32-С3. Перевозка груза от одного грузоотправителя до одного грузополучателя может быть облегчена помещением различных упаковок или единственной упаковки, каждая из которых полностью соответствует требованиям Правил, в один транспортный пакет. Нет необходимости в специальных требованиях к конструкции, испытаниям или утверждению для транспортного пакета, поскольку не он, а упаковочный комплект выполняет защитную функцию. Однако следует принимать во внимание взаимодействие транспортного пакета с упаковками (п. 229.1 TS-G-1.1).

32-С4. Жесткое ограждение или объединение упаковок для удобства обращения с целью чтобы этикетки на каждой упаковке оставались видимыми, рассматривать в качестве транспортного пакета не следует, если только грузоотправитель не определяет ТИ такого транспортного пакета путем прямого измерения уровня излучения (п. 229.2 TS-G-1.1).

33. Транспортный индекс (ТИ)

33-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 243.

33-С2. ТИ имеет в Правилах многофункциональное назначение, включая его использование перевозчиком в качестве основы при отделении РМ от людей, непроявленных фотопленок и других грузов, содержащих РМ, а также ограничения уровня воздействия излучения на лиц из населения и транспортных рабочих при перевозке и транзитном хранении (п. 243.1 TS-G-1.1). .

33-С3. В Правилах МАГАТЭ-96 и в НП-053-04 транспортный индекс не играет больше никакой роли в регулировании безопасности по критичности упаковок, содержащих делящиеся материалы. Контроль за безопасностью по критичности в настоящее время обеспечивается с помощью ИБК (см. п. 218.1 и 218.2 TS-G-1.1 и 6-С2 и 6-С3 настоящего Руководства). Хотя предыдущий подход, использующий единственный индекс как для радиологической защиты, так и для безопасности по критичности, обеспечивал его простое применение на практике, современный подход с использованием отдельных ТИ и ИБК позволяет снимать существенные ограничения по разделению при перевозке и транзитном хранении упаковок, не содержащих делящиеся материалы. Причина сохранения обозначения ТИ в том, что подавляющее большинство радиоактивных грузов не содержат делящиеся материалы, и, следовательно, новое обозначение для ТИ, введенное "только для радиоактивных" материалов, могло бы создать путаницу, из-за чего пришлось бы вводить и объяснять два новых названия. Следует проявлять осторожность, чтобы не использовать неправильно величину ТИ и рассматривать величину ИБК как единственный критерий для контроля за накоплением упаковок (п. 243.2 TS-G-1.1).

33-С4. Смотри справки 5.3.5-С1 – 5.3.5-С2 настоящего Руководства.

34. Удельная активность изотопа

34-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 240.

34-С2. Определение удельной активности на практике охватывает две различные ситуации. В первом случае определение удельной активности радионуклидов, подобно определению Международной комиссии радиологических единиц (ICRU) для удельной активности элемента. Второе определение удельной активности в Правилах более точно и является массовой концентрацией активности. Таким образом, определение удельной активности дано для двух случаев и зависит от конкретного применения к тем или иным требованиям Правил. Термин "концентрация активности" также использован в некоторых пунктах Правил (например, см. п. 401 и табл. I Правил МАГАТЭ-96 и п. 1 приложения 1 НП-053-04) (п. 240.1 TS-G-1.1).

34-С3. Период полураспада и удельная активность для каждого радионуклида, приведенного в табл. I Правил МАГАТЭ-96 и в приложении 1 НП-053-04, указаны в таблице II приложения IV к настоящему Руководству. Эти величины удельной активности были вычислены с использованием следующего уравнения:

$$\text{Удельная активность (Бк/г)} = \frac{(\textit{число Авогадро}) \cdot \lambda}{\textit{атомная масса}} = \frac{4{,}18 \cdot 10^{23}}{A \cdot T_{1/2}},$$

где: A – атомный вес радионуклида;

$T_{1/2}$ – период полураспада, с;

λ – постоянная распада радионуклида = $\ln 2/T_{1/2}$, $с^{-1}$ (п. 240.2 TS-G-1.1).

34-С4. Удельная активность для любого радионуклида, не указанного в табл. I Правил МАГАТЭ-96 и в приложении 1 к НП-053-04, может быть вычислена с использованием уравнения, приведенного в справке 34-С3 настоящего Руководства (п. 240.3 TS-G-1.1).

34-С5. Удельная активность урана для различных уровней обогащения показана в табл. II.3 приложения IV к настоящему Руководству (п. 240.4 TS-G-1.1).

34-С6. При определении удельной активности материала, в котором распределены радионуклиды, вся масса этого материала или его части, т. е. масса радионуклида и масса всех других материалов, должны быть включены в массовый компонент. Следует отметить различные интерпретации удельной активности в определении материала НУА (п. 226 Правил МАГАТЭ-96 и термин 11 НП-053-04) и в табл. II приложения IV к настоящему Руководству.

35. Удельная активность материала

35-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 240.

35-С2. См. справки 34-С2 – 34-С6 настоящего Руководства.

36. Упаковка

36-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 230.

36-С2.Термины "упаковка" и "упаковочный комплект" достаточно близки, и во многих случаях в Правилах требования к упаковке фактически означают требования к упаковочному комплекту, т.е. только к части упаковки (см., например, раздел 2 Правил). Тем не менее, когда следует подчеркнуть требования именно к грузу РМ, то следует использовать термин "упаковка".

36-С3.Требования Правил, предъявляемые к упаковке, относятся к упаковке в том виде, в котором она отправляется с территории грузоотправителя.

36-С4. Для исключения ошибок в понимании термина "упаковка" в связи с принятым в других отраслях понятием "упаковка" как предмета, аналогичного таре (т. е. без содержимого), рекомендуется в транспортных документах в особо важных случаях использовать термин "радиационная упаковка".

36-С5. Термины "упаковка" и "упаковочный" комплект используются, чтобы различать совокупность компонентов для размещения РМ (упаковочный комплект) от этой совокупности компонентов плюс радиоактивное содержимое (упаковка) (п. 230.1 TS-G-1.1).

36-С6. Упаковка представляет собой упаковочный комплект вместе с радиоактивным содержимым в том виде, как они должны быть представлены для перевозки. Для обеспечения соответсвия требованиям упаковка может частично или полностью включать оборудование, необходимое для обращения с упаковкой или для ее крепления на транспортном средстве, постоянно прикрепленное к упаковке или входящее в ее конструкцию (п. 230.2 TS-G-1.1).

36-С7. Для определения, какие конструктивные элементы следует считать частью упаковки, необходимо устанавливать их использование и назначение при перевозке. Если упаковка может перевозиться только при наличии этого конструктивного элемента, то разумно предполагать его частью упаковки. Это не означает, что трейлер или транспортное средство следует считать частью упаковки (п. 230.3 TS-G-1.1).

36-С8. Поскольку упаковка может перевозиться как при наличии, так и при отсутствии определенного оборудования, может возникать ситуация, когда пригодность упаковочного комплекта и его соответствие правилам потребуется оценивать для обеих ситуаций (п. 230.4 TS-G-1.1).

36-С9. В случае, если определенное оборудование прикрепляется в процессе перевозки для обслуживания, может потребоваться анализ влияния этого оборудования в нормальных и в аварийных условиях перевозки. Для упаковок типа B(U), типа B(M) типа C, спроектированных для перевозки делящихся материалов, разработчик должен достичь согласования компетентного органа для сертификации (п. 230.5 TS-G-1.1).

36-С10. Резервуар, грузовой контейнер или контейнер средней грузоподъемности для массовых грузов с радиоактивным содержимым могут быть использованы как один из типов упаковки в соответствии с Правилами при условии, что они соответствуют требованиям, относящихся к конструкции, испытаниям и утверждению для этого типа упаковки. В качестве альтернативы резервуар, грузовой контейнер или контейнер средней грузоподъемности для массовых грузов с радиоактивным содержимым могут быть использованы как промышленная упаковка типа ПУ-2 или типа ПУ-3, если они отвечают требованиям к упаковкам типа ПУ-1, а также другим требованиям, которые особо указаны в пп. 625-628 Правил МАГАТЭ-96 и пп. 2.6.4-2.6.7 НП-053-04 (п. 230.6 TS-G-1.1).

37. Упаковочный комплект (транспортный упаковочный комплект)

37-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 231.

37-С2. См. справки 36-С5 и 36-С6 настоящего Руководства.

38. Уровень излучения

38-С1. Определение соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 233.

38-С2. Одна из ограничивающих количественных характеристик в радиационной защите от

облучения людей – эффективная доза (другими характеристиками служат эквивалентные дозы на хрусталик глаза и на кожу (см. например, раздел II-8 в [3]). Поскольку эффективная доза не является непосредственно измеряемой величиной, то следовало создать характеристики, которые были бы измеряемыми. Этими характеристиками служат "эквивалент внешней (амбиентной) дозы" для жесткого проникающего излучения и "эквивалент направленной дозы" для слабо проникающего излучения. Уровень излучения следует принимать в зависимости от обстоятельств как значение "эквивалента внешней дозы" либо "эквивалента направленной дозы" (п. 233.1 TS-G-1.1).

38-С3. В некоторых случаях следует рассматривать возможность увеличения уровня излучения за счет накопления дочерних радионуклидов в ходе перевозки. Максимальное значение уровня излучения, предполагаемое при перевозке, следует корректировать (п. 233.2 TS-G-1.1).

38-С4. В смешанных гамма – и нейтронных полях может возникать необходимость выполнения раздельных измерений. Следует обеспечивать выбор аппаратуры, подходящей для мониторинга излучаемой энергии, а также удостовериться в том, что срок поверки приборов еще не истек. Следует принимать во внимание неопределенности, связанные с калибровкой приборов, при проведении как начальных, так и контрольных измерений (п. 233.3 TS-G-1.1).

38-С5. Для нейтронных дозиметров очень часто существует явная зависимость показания прибора от уровня энергии нейтронов. Спектральное распределение нейтронов, которое использовалось для калибровки прибора, и спектральное распределение нейтронов, которое нужно измерять, могут значительно повлиять на точность определения дозы. Если зависимость показания прибора от энергии и спектральное распределение нейтронов, которое нужно измерять, известны, то следует использовать соответствующий корректирующий коэффициент (п. 233.4 TS-G-1.1).

38-С6. Правила требуют, чтобы на поверхностях упаковок и транспортных пакетов не превышались установленные уровни излучения. В большинстве случаев измерение, выполняемое с помощью ручного прибора, удерживаемого на поверхности упаковки, определяет значения на некотором расстоянии от поверхности из-за размеров самого детектора. Для измерения уровня излучения следует (по возможности) использовать прибор, размеры которого малы по сравнению с размерами упаковки или транспортного пакета. Относительно большие по сравнению с размерами упаковки приборы не следует использовать для измерения, так как это может привести к занижению измеренных значений уровня излучения. Там, где расстояние от источника до измерительного прибора велико по сравнению с объемом детектора (например, в 5 раз больше), влияние размера детектора незначительно и им можно пренебречь; в противном случае следует использовать величины, приведенные в табл. 1, для корректировки измеренных значений. Для радиографических устройств, где расстояние от источника до поверхности сохраняется минимальным, этим эффектом пренебречь нельзя, и следует делать поправку на объем детектора (п. 233.5 TS-G-1.1).

Таблица 1

Поправочные коэффициенты на размеры упаковки и детектора

Расстояние между центром детектора и поверхностью упаковки, см	Половинный линейный размер упаковки, см	Поправочный коэффициент [a]
1	>10	1
2	10 - 20 >20	1,4 1,0
5	10 - 20 20 - 50 >50	2,3 1,6 1,0
10	10 - 20 20 - 50 50 - 100 >100	4,0 2,3 1,4 1,0

[a] Показание прибора следует умножить на поправочный коэффициент чтобы получить действительное значение уровня излучения на поверхности упаковки.

38-С7. При мониторинге оребрённых контейнеров или других транспортных упаковок следует уделять внимание возможности пересечения узких пучков излучения. Измеритель мощности дозы излучения с площадью поверхности детектора, значительно большей, чем поперечная пло-

щадь пучка, который должен быть измерен, будет давать пропорционально сниженное значение мощности дозы вследствие усреднения по много большей площади детектора. Следует выбирать прибор, подходящий для такой работы (п. 233.6 TS-G-1.1).

39. Физическая защита

39-С1. Определение соответствует Правилам физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов.

39-С2. Определение несколько отличается от понятия "физическая защита", используемого в Международной конвенции о физической защите МАГАТЭ, где цель физической защиты предотвращение использования ЯМ для изготовления ядерного оружия и не учитываются возможности террористических актов с использованием самого ЯМ как радиоактивного материала.

39-С3. В то же время, в связи с возрастанием угроз терроризма с использованием ЯМ и РВ, поставленные в Правилах более широкие задачи физической защиты совпадают с целями обеспечения сохранности (security в отличие от safety) при перевозках РМ, которые начали разрабатываться в настоящее время в МАГАТЭ. Поэтому общие цели физической защиты сейчас согласно п. 5 Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов включают:

а) предупреждение несанкционированного доступа;

б) своевременное обнаружение несанкционированного действия;

в) задержку (замедление) проникновения нарушителя;

г) пресечение несанкционированных действий;

д) задержание лиц, причастных к подготовке или совершению диверсии или хищения ядерного материала.

40. Ядерный материал

40-С1. Определение соответствует Федеоальному закону "Об использовании атомной энергии".

40-С2. См. справку 31-С2 настоящего Руководства.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Назначение и область применения

1.1.1-С1. В НП-053-04 не введены определения понятий "груз" и "перевозка". Они полностью соответствуют определениям, введенным Правилами МАГАТЭ-96, в пп. 211 и 237. Из определения перевозки следует, что в юридическом плане Правила распространяются на обеспечение безопасности только вне территорий предприятий.

1.1.1-С2. Важно отметить, что в качестве груза могут рассматриваться и упаковки с РМ, и неупакованные РМ. То есть НП-053-04 и Правилами МАГАТЭ-96 разрешают перевозку некоторых РМ в неупакованном виде.

1.1.1-С3. Цель НП-053-04 – установление требований безопасности, которые должны выполняться для обеспечения безопасности перевозки РМ в России. При этом НП-053-04 не являются документом, в соответствии с которым осуществляется перевозка РМ. Радиоактивеые материалы перевозятся в соответствии с правилами перевозки опасных грузов на различных видах транспорта. Тем не менее некоторые вопросы организации и осуществления перевозок рассматриваются и в данных Правилах.

1.1.1-С4. Основная цель Правил – обеспечение постоянного и адекватного уровня безопасности, который соответствовал бы опасности, представляемой транспортируемыми РМ. Требуется, чтобы основные составляющие безопасности были обеспечены за счет конструкции упаковки. Полагаясь в первую очередь на конструкцию и подготовку упаковок, необходимость в специальных действиях в процессе транспортирования, т.е. для перевозчика, сводится к минимуму. Тем не менее некоторый оперативный контроль для обеспечения безопасности необходим (п. 104.1 TS-G-1.1).

Хотя Правила МАГАТЭ-96 обеспечивают требуемый уровень безопасности перевозки без необходимости регламентации маршрутов, регулирующие органы некоторых государств-членов МАГАТЭ ввели требования в отношении маршрутов. При введении предписаний в отношении маршрутов должны приниматься во внимание риски радиологического и нерадиологического характера при нормальных и аварийных условиях, а также демографические соображения. Подходы, используемые при установлении ограничений по выбору маршрутов, следует основывать на всех факторах, дающих вклад в общий риск при перевозке РМ, а не только на сценариях "наихудшего случая", т. е. авариях с "низкой вероятностью/тяжелыми последствиями". Поскольку регулирующие органы государства, провинции или даже какого-либо местного уровня могут быть вовлечены в решения по маршрутам, часто может потребоваться обеспечение их либо результатами оценки альтернативных маршрутов, либо очень простыми методами, которые они могут использовать (п. 108.1 TS-G-1.1).

При оценке радиологической опасности и обеспечении того, что требования в отношении маршрутов не снижают уровень безопасности, установленный в Правилах, следует проводить анализы с использованием специальных программ для оценки риска. Одна из таких программ, которую можно использовать – INTERTRAN [6], [7], [8] – была разработана в рамках координированной исследовательской программы МАГАТЭ. Это компьютерная программа, основанная на оценках воздействия на окружающую среду, доступна для использования в государствах-членах МАГАТЭ. Несмотря на большое количество неопределенностей, присущее обобщенной модели, и трудности выбора соответствующих входных данных для аварийных условий, эта программа может быть использована для расчета и понимания, по крайней мере, на качественном уровне, факторов, значительных для определения радиологического воздействия при использовании альтернативных маршрутов перевозки РМ. Эти факторы предсталяют собой важные аспекты, принимать во внимание при любом решении относительно маршрута. Для решений в отношении маршрута при единственном виде транспорта может быть принято множество упрощающих допущений, и могут быть определены общие факторы, приводящие к облегчению использования методов оценки относительного риска (п. 108.2 TS-G-1.1).

1.1.1-С5. *Правила перевозок опасных грузов (ОГ), действующие в России на различных видах транспорта*, в части перевозок РМ должны полностью учитывать требования безопасности, содержащиеся в НП-053-04.

1.1.2-С1. Правила распространяются на перевозки РМ всеми видами транспорта.

1.1.3-С1. Правила распространяются на перевозки РМ, находящихся в составе научных и иных приборов, эксплуатация которых связана с перевозками.

1.1.3-С2. Перевозка включает в себя транспортирование общим перевозчиком либо владельцем или работающим по найму, когда транспортирование представляет собой побочный процесс по отношению к использованию РМ, например, транспортные средства, перевозящие радиографические устройства, перемещаемые к или от рабочей площадки радиографа, транспортные средства, перевозящие устройства для измерения плотности, перемещаемые на стройплощадку или обратно, и передвижные буровые установки, имеющие измерительные устройства, содержащие РМ, и радиоактивные материалы, используемые для введения в нефтяные скважины (п. 106.1 TS-G-1.1).

1.1.3-С3. В Правилах под "транспортным средством" понимается как транспортное, так и перевозочное средство в терминах, принятых в Правилах МАГАТЭ-96, пп. 217 и 247.

1.1.3-С4. Правила не распространяются на РМ, служащие неотъемлемой частью транспортного средства, например, РМ тепловыделяющих сборок в ядерном реакторе на атомном ледоколе, противовесы из обедненного урана на самолетах и т.д.

1.1.3-С5. Правила не предназначены для применения при перемещении РМ, которые составляют неотъемлемую часть транспортных средств, таких как противовесы из обедненного урана или тритиевые знаки выхода, используемые в авиации; или РМ, находящихся в организмах людей или животных в медицинских или ветеринарных целях, таких как кардиостимуляторы или РМ, введенные в организм людей или животных с целью диагностики или проведения исследований. Лечащий врач или ветеринар должны давать необходимые консультации по радиологической безопасности (п. 107.1 TS-G-1.1).

1.1.3-С6. В некоторых случаях может быть достаточно трудно, определять, является ли то или иное оборудование, прибор или изделие неотъемлемой частью транспортного средства. Очевидно, этот вопрос может решаться в рамках лицензирования эксплуатации этого транспортного средства.

1.1.3-С7. Правила не распространяются на перевозки ядерных боеприпасов и ядерных зарядов в составе готовых изделий. Но это не означает, что Правила не распространяются на перевозки полуфабрикатов с РМ к ядерным боеприпасам или ядерным зарядам и тем более на РМ в виде сырья, из которого будут изготавливаться ядерные боеприпасы или заряды, либо ядерные материалы, получаемые в результате утилизации ядерного оружия.

1.1.3-С8. Правила не распространяются на РМ, имплантированные или введенные в организм человека или животного с целью диагностики или лечения, кардиостимуляторы и др.

1.1.3-С9. Продукты потребления – это предметы, доступные широкой публике, как конечному пользователю, без последующего контроля или ограничения. Это могут быть такие устройства, как детекторы дыма, светящиеся циферблаты или ионо-генерирующие трубки, которые содержат малые количества РМ. Продукты потребления находятся вне действия Правил только после продажи конечному пользователю. Любые перевозки, в том числе между производителями, дистрибьюторами и розничными продавцами, находятся в сфере действия Правил, чтобы гарантировать, что большие количества товаров, изъятых из сферы регулирования при индивидуальном потреблении, нерегулируемым образом не перевозятся (п. 107.2 TS-G-1.1).

1.1.3-С10. Для подтверждения наличия кардиостимулятора или других РМ в организме, введенных с целью лечения или диагностики, в соответствующих случаях должно иметься пись-

менное подтверждение, выдаваемое федеральным органом исполнительной власти специально уполномоченным в области здравоохранения.

В то же время Правила должны применяться при перевозке мертвых животных с такими имплантированными РМ (например, при перевозках животных на захоронение и др.), с учетом соответствующего уровня активности в организме.

1.1.3-С11. В подпунктах 1.1.3 д) и е) Правил под удельной активностью понимается концентрация активности, как указано в приложении 1 к Правилам. Под удельной эффективной активностью понимается удельная активность смеси радионуклидов, рассчитываемая по формуле, приведенной в приложении 1 п. 4 к Правилам.

1.1.3-С12. Действие Правил распространяется на природные материалы или руды, используемые в ядерном топливном цикле или подлежащие переработке с тем, чтобы использовать их радиоактивные свойства. Правила не применяются к другим рудам, которые могут содержать природные радионуклиды, но полезность которых не определяется радиоактивными свойствами этих радионуклидов, при условии, что концентрация активности (удельная активность) не превышает более чем в 10 раз уровней изъятия по концентрации. Кроме того, Правила не применяются к природным материалам и рудам, содержащим природные радионуклиды (до 10-кратного уровня изъятия по величине концентрации) и подвергнутые переработке, если физическая или химическая переработка не преследовала цели извлечения радионуклидов (например, отмытые пески и отходы при очистке глинозема). Кроме упомянутых случаев, Правила должны применяться к огромному количеству материалов, представляющих даже незначительную опасность. Однако в природе встречаются руды, концентрация радиоактивности в которых много выше уровня изъятия. Регулярное транспортирование таких руд может потребовать принятия мер по радиационной защите. Поэтому был выбран коэффициент 10-кратного превышения уровня изъятия для концентраций активности как обеспечивающий необходимый баланс между заботой о радиологической защите и практическими неудобствами, связанными с регулированием большого количества материалов с низкой концентрацией (удельной активностью) радиоактивности природных радионуклидов (п. 107.4 TS-G-1.1).

1.1.3-С13. Концентрации активности (удельная активность) РМ и пределы активности груза РМ, на которые не распространяются Правила, представлены в приложении 1 к НП-053-04.

1.1.3-С14. Принципы изъятия и их применение к перевозке РМ рассматриваются в приложении 1 к НП-053-04 (п. 401 Правил МАГАТЭ-96 (п. 107.3 TS-G-1.1).

1.1.3.-С15. В табл. 1 приложения 1 к НП-053-04 (табл. I Правил МАГАТЭ-96) приведены пределы концентрации активности и пределы активности для грузов, которые могут использоваться для изъятия материалов и груза из сферы действия Правил, включая соответствующие административные требования. Если материал содержит радионуклиды, где либо концентрация активности, либо активность груза меньше, чем пределы, приведенные в таблице, то перевозка таких материалов становится изъятой (т.е. Правила не применяются).

1.1.3-С16. Общие принципы изъятия, согласно [3], состоят в следующем:

(a) радиационные риски, которым подвергаются отдельные лица в результате осуществления изымаемой практической деятельности или изымаемого источника, достаточно низки, чтобы не возникла потребность в их регулировании;

(b) суммарное радиологическое воздействие изымаемой деятельности или изымаемого источника достаточно низко, чтобы при существующих обстоятельствах не требовать регулирующего контроля;

(c) изымаемая практическая деятельность или изымаемые источники по сути своей безопасны, в результате чего нет сколько-нибудь существенной вероятности сценариев, которые могут привести к невыполнению критериев (a) и (b) (п. 401.3 TS-G-1.1).

1.1.3-С17. Уровни изъятия в отношении концентраций активности и суммарной активности были изначально получены для включения в Основные нормы безопасности [3] на следующей основе [9]:

(a) индивидуальная эффективная доза 10 мкЗв в год для нормальных условий;

(b) коллективная доза 1 чел.-Зв в год для работы в нормальных условиях.

1.1.3-С18. Уровни изъятия были получены с использованием множества сценариев и путей облучения, которые в явном виде не относились к перевозке. Для специфичных сценариев перевозок были выполнены дополнительные расчеты [10]. Эти специализированные для перевозки уровни изъятия затем сравнивались со значениями из Основных норм безопасности. Было сделано заключение, что относительно малые различия между двумя наборами уровней не оправдывают введения в Правила ряда уровней изъятия, отличающихся от тех, которые имеются в Основных нормах безопасности [3], учитывая к тому же, что наличие различных уровней изъятия в различных видах деятельности может приводить к возникновению проблем при их взаимодействии и вызвать законодательные и процедурные сложности (п. 401.4 TS-G-1.1).

1.1.3-С19. Для радионуклидов, не перечисленных в Основных нормах безопасности, уровни изъятия были рассчитаны с использованием того же метода [9] (п. 401.5 TS-G-1.1).

1.1.3-С20. Уровни изъятия по концентрации активности должны применяться к материалу в упаковочном комплекте, а также на транспортном средстве и внутри него (п. 401.6 TS-G-1.1).

1.1.3-С21. Уровни изъятия для "общей активности" были установлены для перевозки малых количеств материалов, для которых при совместном транспортировании, маловероятно, что суммарная активность приведет к сколько-нибудь значительному радиологическому облучению, даже если уровни изъятия по "концентрации активности" превышены. Поэтому уровни изъятия по "общей активности" установлены для груза, а не для отдельных упаковок (п. 401.7 TS-G-1.1).

1.1.3-С22. В ситуации с цепочками распада значения в табл. 1, колонки 4 и 5, приложения 1 к НП-053-04 и соответствующей таблицы Правил МАГАТЭ-96 относятся к активности или концентрации активности материнского нуклида (п. 401.8 TS-G-1.1).

1.1.4-С1.Правила не распространяются на внутренние операции, включая внутренние перевозки РМ и упаковок с РМ на территории предприятий. Условно можно говорить, что Правила распространяются на перевозки от "ворот" грузоотправителя до "ворот" грузополучателя.

1.1.4-С2. Если перевозки осуществляются внутри ЗАТО, то это не значит, что такие перевозки относятся к внутренним перевозкам. Необходимо знать, является ли используемая дорога дорогой общего пользования или нет.

Иногда дорога служит (называется) дорогой производственного назначения, но перевозки по ней нельзя относить к внутренним перевозкам в понятиях Правил.

1.1.4-С3. При сомнениях в отнесении перевозок к внутренним или внешним (подпадающим под Правила) необходимо обращаться в ГКО или органы государственного регулирования безопасности.

1.1.4-С4. Для возможности эксплуатации упаковок на территории предприятий они должны удовлетворять требованиям безопасности, действующим на конкретном предприятии. Иногда такие требования (например, конструктивные требования к упаковкам) могут быть жестче требований Правил, но очевидно, что в большинстве случаев внутренние требования (правила) могут быть менее жесткими с учетом возможности принятия на предприятиях организационных мер безопасности, в том числе мер оперативного реагирования при аварии.

1.1.5-С1. Правила должны использоваться всеми работниками, связанными с выполнением операцийпо разработке, изготовлению, испытаниям и эксплуатации упаковочных комплектов для перевозки радиоактивных материалов, а также осуществляющими транзитное хранение РМ и упаковок с РМ.

1.2. Основные положения обеспечения безопасности перевозок

1.2.1-С1. В данном пункте Правил перечислены в общем виде основные положения и принципы обеспечения безопасности перевозок РМ, которые более детально, качественно и (или) количественно в виде соответствующих требований представлены в других разделах Правил. Эти положения и принципы относятся как к техническим параметрам, так и к организационным мерам при перевозках РМ.

1.2.1-С2. Указанные в данном пункте Правил положения и принципы не являются полными. Дополнительно к ним могут предусматриваться меры согласно другим нормативным правовым актам. Например, для некоторых грузов РМ могут предусматриваться особые условия перевозки (например, с использованием литерных поездов). Такие дополнительные требования могут устанавливаться как из задач обеспечения ядерной и радиационной безопасности, так и исходя из задач обеспечения физической защиты.

1.2.1-С3. Примерами других основополагающих положений и мер, определяющих уровень безопасности в области перевозок РМ, могут служить системы выдачи лицензий участникам перевозок. Деятельность государственных органов, связанных с обеспечением и регулированием безопасности перевозок РМ, достаточно многообразна и определяется положениями об этих органах.

1.2.1.1-С1. Требования к допустимым уровням излучения от РМ, упаковок и транспортных средств для различных условий перевозок представлены в пп. 2.6.2, 2.8.12, 2.9.2 НП-053-04.

1.2.1.1-С2. Требования к допустимым уровням выхода активности из упаковок приведены в пп. 2.6.2, 2.7.2, 2.8.12, 2.9.5, 2.11.3 НП-053-04.

1.2.1.1-С3. Допустимые уровни излучения и выхода активности из упаковок, предназначенных для перевозки РМ значительного уровня активности, различные для нормальных и аварийных условий.

Для упаковок с РМ относительно небольших уровней активности упаковки могут разрушаться в аварийных условиях, и соответственно не устанавливается ограничений по уровням излучений и выходу активности из таких упаковок, так как ограничение имеет место само собой вследствие ограничения активности РМ внутри упаковки.

1.2.1.1-С4. Правила не требуют полного отсутствия радиоактивного загрязнения на внешних и внутренних поверхностях упаковок и транспортных средств.

1.2.1.2-С1. Ограничение допустимого количества РМ для различных типов упаковок зависит

от степени потенциальной опасности материалов, которая, в свою очередь, определяется как активностью материалов, так и другими его физико-химическими свойствами, способствующими или не способствующими выходу этих материалов из упаковок в различных условиях перевозок. Общий подход такой – чем более опасен РМ по своим свойствам, тем более жесткие требования предъявляются к конструкции упаковочного комплекта для его перевозки и к условиям перевозки.

1.2.1.2-С2. Потенциальная опасность РМ определяется также и конкретным видом излучения данного материала, т. е., по сути, его радионуклидным составом.

1.2.1.3-С1. Кроме непосредственной радиационной опасности, некоторые виды РМ (делящиеся РМ) обладают свойствами вызывать СЦР, в результате которой выделяется большое количество тепла, ионизирующие излучения и образуются новые радионуклиды. Поэтому для обеспечения безопасности перевозок таких РМ требуется, кроме ограничения непосредственного радиационного воздействия, принятие мер, предотвращающих возникновение СЦР в условиях перевозки.

1.2.1.4-С1. Одним из основных принципов обеспечения безопасности при перевозках РМ служит осуществление перевозок РМ в упаковочном комплекте, конструкция которого способна обеспечивать безопасность перевозки без принятия дополнительных организационных и технических мер, т. е., безопасность перевозки РМ должна быть обеспечиваться конструкцией упаковочного комплекта.

1.2.1.4-С2. Принцип обеспечения безопасности конструкцией упаковочного комплекта согласуется с ответственностью грузоотправителя за обеспечение безопасности перевозок и за возможные радиационные последствия, связанные с перевозками, так как именно грузоотправитель отвечает за выбор той или иной конструкции упаковки и ее правильную подготовку к перевозке.

1.2.1.4-С3. Грузоотправитель может и должен соответствующим образом выбирать упаковочный комплект для перевозки РМ и обеспечивать правильную его загрузку РМ и подготовку к перевозке.

1.2.1.5-С1. Кроме ограничения опасных свойств отдельных упаковок с РМ при перевозках, необходимо ограничивать опасные свойства (воздействия) всего груза в целом, размещаемого на том или ином транспортном средстве.

1.2.1.5-С2. В условиях перевозок, если не принимать специальные меры, СЦР может возникать при группировании упаковок с делящимися РМ, хотя каждая упаковка в отдельности может быть подкритичной, т. е., не создавать СЦР. Поэтому для таких упаковок, кроме ограничения их количества на транспортном средстве с точки зрения ограничения радиационного воздействия от всего груза, требуется ограничение их количества по соображениям ядерной безопасности (предотвращения СЦР).

1.2.1.6-С1. Опасность при перевозках РМ в соответствии с принципом оптимизации радиационной защиты не может быть сводиться к нулю. Поэтому один из принципов обеспечения безопасности перевозок РМ – максимальная прозрачность или наглядное информирование об опасных свойствах груза путем использования маркировки, знаков опасности и др.

1.2.1.6-С2. Предполагается, что посторонние люди смогут определять по знакам и другим надписям опасный характер груза РМ и не будут предпринимать действий по вскрытию упаковок, будут стараться удалиться от упаковок с РМ и т.п. Пренебрежение информацией об опасности может приводить к тяжелым последствиям.

1.2.1.6-С3. Использование надписей, этикеток, знаков должно также облегчать выполнение соответствующих функций персоналом, транспортными рабочими представителям органов внутренних дел, таможенных органов, органов государственного регулирования безопасности и др.

1.2.1.7-С1. Подтверждение соответствия выполнения требований НП-053-04 в отношении конструкций РМ и упаковок, а также условий перевозок осуществляется путем выдачи сертификатов (сертификатов-разрешений) ГКО (Росатомом).

1.2.2-С1. НП-053-04 требуют, чтобы при перевозках РМ не были превышены основные дозовые пределы, которые в общем случае установлены в НРБ-99 [1] для персонала и населения.

1.2.2-С2. Конкретные допустимые дозовые пределы с учетом специфики конкретных операций при перевозках и занятого персонала могут быть детализированы в санитарных правилах при транспортировании радиоактивных материалов.

В частности, в главе 3 НРБ-99 [1] приведены требования к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях и указаны основные пределы доз (табл. 2).

Таблица 2

Основные пределы доз

Нормируемые величины <1>	Пределы доз	
	персонал (группа А) <2>	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год

Нормируемые величины <1>	Пределы доз	
	персонал (группа А) <2>	население
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза <3>, в коже <4>, в кистях и стопах	 150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	 15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

<1> Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

<2> Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонала приводятся только для группы А.

<3> Относится к дозе на глубине 300 мг/ $см^2$.

<4> Относится к среднему по площади в 1 $см^2$ значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/$см^2$ под покровным слоем толщиной 5 мг/$см^2$. На ладонях толщина покровного слоя 40 мг/$см^2$. Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1$см^2$ площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Там же установлены пределы годового поступления, допустимые среднегодовые объемные активности, среднегодовые удельные активности и др.

1.2.2-С3. Выполнение требований НП-053-04 должно обеспечивать непревышение основных дозовых пределов как в обычных условиях перевозок, так и в случае незначительных происшествий (нормальные условия) и аварий.

1.2.2-С4. Для оптимизации защиты и безопасности требуется принимать во внимание как нормальное, так и потенциальное облучение. К нормальному облучению относится облучение, *ожидаемое в обычных и нормальных условиях перевозки, как определено в* п. 106 Правил МАГАТЭ-96 [11] (пп. 1.1.2 и 1.3.1 НП-053-04). К потенциальному облучению относится облучение, которое не будет получено наверняка, а может являться результатом либо аварии, либо события, либо последовательности событий вероятностного характера, включая поломки оборудования и ошибки эксплуатации. В случае нормального облучения для оптимизации требуется учет индивидуальных доз и количества людей, подвергающихся облучению; кроме этого, при потенциальном облучении принимается во внимание вероятность возникновения либо аварий, либо событий, либо последовательностей событий. Оптимизацию следует документировать в ПРЗ (п. 302.1 TS-G-1.1).

1.2.2-С5. В Основных нормах безопасности [3] определены требования к радиационной защите для практической деятельности (деятельность, которая увеличивает суммарное радиационное облучение) и для вмешательства (деятельность, которая уменьшает суммарное облучение, влияя на существующие источники облучения). Систему радиационной защиты для практической деятельности, как это установлено в Основных нормах безопасности (раздел 2, Основные требования), можно резюмировать следующим образом:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения при которых полученная для человека и общества польза превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов, индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации) (п. 302.2 TS-G-1.1).

1.2.2-С6. В практике радиационной защиты существовала и продолжает существовать необходимость устанавливать нормы, связанные с величинами, отличающимися от основных дозовых пределов. Нормы данного типа обычно называют вторичными или производными пределами. Когда такие пределы соотнесены с первичными пределами посредством определенной модели, они называются производными. В Правилах использованы производные пределы (п. 302.3 TS-G-1.1).

1.2.2-С7. Примеры производных пределов в Правилах – пределы максимальной активности A_1 и A_2, максимальные уровни нефиксированного загрязнения, уровни излучения на поверхности и вблизи упаковок и разделяющие расстояния, связанные с ТИ. Правила требуют выполнения оценок и измерений для гарантии соблюдения норм (п. 302.4 TS-G-1.1).

1.2.2-С8. В задачи компетентного органа следует включать обеспечение того, чтобы вся деятельность по перевозке осуществлялась в общих рамках оптимизации защиты и безопасности (п. 302.5 TS-G-1.1).

1.2.2-С9. Для определения эффективности применения Правил, включая требования, относящиеся к ПРЗ, могут использоваться оценки компетентного органа, которые могут быть частью деятельности по обеспечению выполнения соответствия, детально представленной в [12] (см. так-

же пп. 311.1 – 311.8 TS-G-1.1. В настоящем Руководстве аналогичных пояснений нет, так как в НП-053-04 нет положений по обеспечению соблюдения правил, аналогичных п. 311 Правил МАГАТЭ-96). Особенно важна оценка того, имеет ли место эффективная оптимизация радиационной защиты и безопасности. Это может также помогать в достижении и сохранении доверия общественности (п. 304.1 TS-G-1.1).

1.2.2-С10. В п. 304 Правил МАГАТЭ-96 указывается на обязанность компетентного органа периодически организовывать проведение оценки доз облучения в результате перевозок. В НП-053-04 таких прямых указаний нет. Однако следует учитывать рекомендации МАГАТЭ, что информацию о дозах облучения персонала и населения следует накапливать и анализировать по мере необходимости. Анализы следует выполнять, если того требуют обстоятельства, например, если происходят значительные изменения в схеме перевозок или внедрена новая технология, относящаяся к РМ. Сбор необходимой информации может быть обеспечен путем комбинации радиационных измерений и оценок. В дополнение к обычным условиям необходимо анализировать и аварийные условия перевозки (п. 304.2 TS-G-1.1).

1.2.2-С11. В НП-053-04 отсутствуют определения понятий "грузоотправитель" и "грузополучатель". Применяемые понятия в основном в рамках НП-053-04 соответствуют Правилам МАГАТЭ-96 (пп. 212 и 210).

1.2.3-С1. В Нормах радиационной безопасности [1] и Основных нормах безопасности [3] установлены пределы эффективных доз для населения (1 мЗв/год) и персонала (20 мЗв) в среднем за каждый из 5 последовательных лет, но не более 50 мЗв в течение одного года. Дозовые пределы в особых обстоятельствах, пределы эквивалентных доз на хрусталик глаза, конечности (рук и ног) и кожу, а также дозовые пределы для стажеров и беременных женщин также установлены в Основных нормах безопасности, и их следует учитывать в контексте требований п. 1.2.3 (п. 305 [11]). Эти пределы применимы ко всем видам практической деятельности, связанным с облучением, за исключением облучения при медицинских процедурах и облучения от определенных природных источников (п. 305.1 TS-G-1.1).

1.2.3-С2. Для мониторинга и оценки доз облучения в п. 1.2.3 НП-053-04 (п. 305 Правил МАГАТЭ-96) приведены три категории. Для первой категории установлен диапазон доз, в котором требуются малые усилия по определению и контролю доз. Верхний предел этого диапазона равен 1 мЗв в год, который был выбран, чтобы имело место совпадение с дозовым пределом для населения. Вторая категория имеет верхний предел 5 мЗв/год, что немного отличается от требований Правил МАГАТЭ-96 (п. 305). Там установлена величина 6 мЗв/год, рассчитываемая как 3/10 от предела эффективной дозы для персонала (осредненной за 5 лет). Считается, что этот уровень представляет разумную линию раздела между условиями, когда маловероятно достижение дозовых пределов, и условиями, когда дозовые пределы могут быть достигнуты.

В НП-053-04 значение 5 мЗв/год выбрано по аналогии с пределами для персонала категории Б для упрощения пользования Правилами (не иметь излишние количества различающихся пределов). С этими же целями в НП-053-04 не включен пункт, аналогичный п. 306 Правил МАГАТЭ-96, основные задачи которого сформулированы в п. 1.2.3 НП-053-04.

К третьей категории относятся все ситуации, где ожидается превышение предела профессионального облучения 6 мЗв/год, установленного для второй категории (п. 305.2 TS-G-1.1).

1.2.3-С3. Многие транспортные рабочие относятся к первой категории, и специальных мер по мониторингу или контролю их облучения не требуется. Для второй категории понадобится программа оценки доз. Она может быть основана как на индивидуальном мониторинге (контроле), так и на мониторинге рабочих мест. Мониторинг рабочих мест часто может выполняться путем измерения уровня излучения в производственных зонах в начале и в конце данного этапа перевозки. В некоторых случаях, однако, могут также потребоваться мониторинг воздуха, проверки загрязнения поверхности и индивидуальный мониторинг. Для третьей категории индивидуальный мониторинг обязателен. Чаще всего он будет выполняться с применением приборов персональной дозиметрии, таких как пленочные дозиметры, термолюминесцентные дозиметры и, где необходимо, нейтронные дозиметры (п. 305.3 TS-G-1.1).

1.2.3-С4. Некоторые исследования отдельных операций показали наличие корреляции между дозой, полученной работниками и суммой значений ТИ всех обслуженных упаковок [13]. Маловероятно, что перевозчики, обслуживающие упаковки с суммой значений ТИ менее 300 в год, получат дозу выше 1 мЗв/год, поэтому они не нуждаются в детальном мониторинге, оценке доз и индивидуальном учете доз (п. 305.4 TS-G-1.1).

1.2.3-С5. В связи с тем, что при перевозке на условиях исключительного использования допускаются относительно высокие уровни излучения, следует уделять дополнительное внимание выполнению требований п. 1.2.3 НП-053-04 (п. 305 Правил МАГАТЭ-96), поскольку легко превысить уровень 1 мЗв, и соответственно следует предпринимать особые меры в отношении мониторинга или контроля облучения. Для правильной оценки категории облучения следует учитывать облучение, полученное как в ходе непосредственно перевозки, так и на других ее этапах, в частности, при погрузке и выгрузке (п. 305.5 TS-G-1.1).

1.2.3-С6. Уровни дозы 5 мЗв/год для персонала и 1 мЗв/год для критической группы населения [2] представляет собой специально определенные значения, предназначенные для использования при расчете разделяющих расстояний или мощностей доз для постоянно занятых производственных помещений. Расстояния и мощности дозы для удобства часто представляются в таблицах разделяющих расстояний. Значения доз, приведенные в п. 306 Правил МАГАТЭ-96 [11], предназначены только для разделяющих расстояний или расчетов и должны использоваться совместно с предполагаемыми, но реалистическими параметрами для получения приемлемых разделяющих расстояний. Использование данных значений дает разумную гарантию того, что действительные дозы при перевозке РМ будут намного ниже соответствующих годовых дозовых пределов (п. 306.1 TS-G-1.1).

1.2.3-С7. Значения уровня доз совместно с простыми надежными моделями использовались в течение многих лет при расчете таблиц разделения для различных видов транспорта. Оценка имевших место облучений показывает, что дальнейшее использование этих значений приемлемо. В частности, контроль облучения, имеющего место при воздушных и морских перевозках [14, 15], показал, что разделяющие расстояния, полученные на основе этих значений, приводят к дозам для населения ниже соответствующего годового предела, а дозы для работников, не привлекаемых к непосредственным операциям с грузом, также не превышают 1 мЗв/год. Применение разделяющих расстояний само по себе не исключает требования выполнять оценки (в соответствии с п. 305 Правил МАГАТЭ-96 и п. 1.2.3 НП-053-04) (п. 306.2 TS-G-1.1).

1.2.3-С8. В Правилах установлены требования к радиационной защите, которые должны быть выполнены при определении разделяющих расстояний (т.е. минимальных расстояний между упаковками с РМ и регулярно занятыми производственными зонами транспортного средства) и мощностей дозы в регулярно занятых производственных зонах. Для практических целей может быть полезным представлять эту информацию в виде таблиц разделения (п. 306.3 TS-G-1.1).

1.2.3-С9. Медицинское освидетельствование для персонала, связанного с обращением с источниками излучения, в том числе при транспортировании упаковок с РМ, требуется ОСПОРБ-99 [2]. Конкретные требования для различного персонала могут быть детализированы в ПРЗ.

1.2.3-С10. Требования к обучению персонала и проверке его знаний устанавливаются обычно для всех радиационно опасных работ, выполняемых персоналом на предприятии. Конкретные требования в этом отношении для работ, связанных с транспортированием РМ, могут быть детализированы в ПРЗ. По этой программе пояснения даны в справках по пункту 5.1.18 НП-053-04.

1.2.3-С11. Обеспечение информацией и обучение – составная часть любой системы радиационной защиты. Уровень разрабатываемых инструкций должен соответствовать природе и типу выполняемой работы. Работникам, привлекаемым к перевозке РМ, следует знать радиологический риск в своей работе и уметь сводить его к минимуму при всех обстоятельствах (п. 303.1 TS-G-1.1).

1.2.3-С12. Обучение следует связывать с конкретными операциями и обязанностями, конкретными защитными мерами, которые необходимо предпринимать в случае аварии или для использования конкретного оборудования. В его объем (по мере необходимости) следует включать общую информацию о радиологическом риске, знания о природе ионизирующих излучений, влиянии ионизирующих излучений и их измерении. Обучение следует рассматривать как непрерывный процесс в течение всего срока работы и проводить начальное обучение и курсы переподготовки с необходимой периодичностью. Следует периодически проверять эффективность обучения (п. 303.2 TS-G-1.1).

1.2.3-С13. Информация о конкретных требованиях к обучению опубликована в [16, 17] (п. 303.3 TS-G-1.1).

1.2.4-С1. Кроме предотвращения недопустимого облучения персонала и населения, НП-053-04 предусматривают меры по предотвращению недопустимого радиационного воздействия на непроявленные фотоматериалы путем отделения (установления разделяющих расстояний) грузов РМ от таких материалов.

1.2.4-С2. В ходе оценки влияния радиации на рентгеновские снимки в 1947 г. [18] было определено, что после обработки на них может появляться легкая вуаль, если они были подвержены гамма-облучению дозой, превышающей 0,15 мЗв. Это может препятствовать надлежащему применению снимков и приводить к ошибкам в диагностике. Другие типы фотопленок также подвержены образованию вуали, хотя требуемые для этого дозы весьма значительные. Поскольку было бы нереалистичным применять процедуру разделения, зависящую от типа фотопленки, положения Правил сформулированы так, чтобы ограничивать облучение всех необработанных фотопленок не более 0,1 мЗв в ходе перевозки от грузоотправителя до грузополучателя (п. 307.1 TS-G-1.1).

1.2.4-С3. Различие времени перевозки морским транспортом (дни и недели) и наземным или воздушным транспортом (часы и дни) означает, что используются разные таблицы разделяющих расстояний так, чтобы суммарное облучение фотопленки во время перевозки было одинаковым для всех видов транспорта. В ходе распределения и конечного использования фотопленки может потребоваться более чем один вид транспорта и более чем одна перевозка. Поэтому при раз-

работке таблиц разделяющих расстояний для конкретного вида транспорта следует связывать с этим видом транспорта только долю предельной величины, предписанной в п. 307 Правил МАГАТЭ-96 (п. 307.2 TS-G-1.1).

1.2.4-С4. При автомобильных перевозках водитель может обеспечивать достаточное разделение от фотопленок, перевозимых другим транспортным средством, оставляя при парковке вокруг своего автомобиля свободное пространство не менее 2 м (п. 307.3 TS-G-1.1).

1.2.5-С1. Требования, установленные в Правилах, если они выполняются проектировщиком упаковки, грузоотправителем, перевозчиком и грузополучателем, обеспечивают высокий уровень безопасности при перевозке РМ. Однако эти упаковки могут попадать в аварии. Пункт 1.2.5 НП-053-04 (п. 308 Правил МАГАТЭ-96) указывает, что требуются заблаговременное планирование и подготовка для обеспечения достаточного и безопасного реагирования на такие аварии. Реагирование в большинстве случаев будет аналогично реагированию на радиационные аварии на стационарных установках. Таким образом, требуется, чтобы соответствующие национальные или международные организации устанавливали аварийные процедуры, выполняемые в случае аварии при перевозке РМ (п. 308.1 TS-G-1.1).

1.2.5-С2. Планы мероприятий по предупреждению аварий и ликвидации их последствий должны иметься у участников перевозки – грузоотправителя, грузополучателя, перевозчика.

1.2.5-С3. В НП-053-04 нет определения понятия "перевозчик". Оно, по сути, соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 206. Как указывалось выше, то же самое относится к понятиям "грузополучатель" и "грузоотправитель". Определения этих понятий соответствуют Правилам МАГАТЭ-96, пп. 206, 210 и 212.

1.2.5-С4. НП-053-04 не устанавливают требований к наличию аварийных планов у государственных органов власти. Тем не менее такие планы и соответствующие государственные системы имеются. Основными государственными органами власти в этом отношении являются Росатом и МЧС России. Соответственно планы участников перевозок должны быть гармонизированы с государственными аварийными планами и согласованы в установленном порядке.

1.2.5-С5. Дальнейшее руководство можно найти в пояснениях к п.п. раздела 7 НП-053-04 и [19] (п. 308.2 TS-G-1.1).

1.2.6-С1. НП-053-04 устанавливают требования, которые должны выполняться на соответствующих этапах подготовки, организации и непосредственного осуществления перевозок РМ. Обеспечивать полный контроль выполнения всех этих требований со стороны надзорных и контролирующих органов невозможно. Программа обеспечения качества служит одним из механизмов эффективного контроля выполнения требований НП-053-04 со стороны администрации участников перевозок. Как пример, можно отметить, что в НП-053-04 установлено требование об оформлении сертификатов (сертификатов-разрешений) на конструкции используемых упаковок и перевозки РМ. Обеспечение выполнения этого требования на практике должно осуществляться, в первую очередь, самим грузоотправителем путем использования современных программ обеспечения качества.

1.2.6-С2. Программы обеспечения качества, требуемые НП-053-04, должны охватывать все работы, влияющие на безопасность.

1.2.6-С3. Обеспечение качества – это систематический и документированный метод, позволяющий гарантировать, что требуемые условия или уровень безопасности постоянно достигаются. Любая систематическая оценка и документирование выполнения работ, оцениваемых по отношению к соответствующим нормам, является формой обеспечения качества. Дисциплинированное отношение ко всей деятельности, влияющей на качество, включая, если необходимо, детализацию и верификацию удовлетворительного выполнения и(или) принятие необходимых корректирующих мер будет вкладом в безопасность перевозки и обеспечивает подтверждение того, что требуемое качество было достигнуто (п. 310.1 TS-G-1.1).

1.2.6-С4. В Правилах не содержатся детальные программы обеспечения качества вследствие большого разнообразия производственных потребностей и некоторых отличий в требованиях компетентных органов государств-членов МАГАТЭ. Структура, на которой могут основываться все программы обеспечения качества, представлена в приложении VI к настоящему Руководству (приложение IV в TS-G-1.1). С учетом ступенчатого подхода, степень детализации программы обеспечения качества будет зависеть от фазы и типа транспортной операции (п. 310.2 TS-G-1.1).

1.2.6-С5. Разрабатывать и применять программы обеспечения качества следует своевременно, до начала транспортных операций. Когда необходимо, компетентный орган будет добиваться, чтобы программы обеспечения качества применялись как часть своевременного принятия Правил (п. 310.3 TS-G-1.1).

1.2.6-С6. Под компенсирующими положениями в п. 1.2.6 НП-053-04 понимаются мероприятия по обеспечению (гарантиям) качества, выполняемые при эксплуатации упаковочных комплектов и составленные с учетом возможного отсутствия надлежащих мероприятий по обеспечению качества при изготовлении данных упаковочных комплектов.

1.2.6-С7. Дальнейшее руководство по обеспечению качества дано в [20] (п. 310.4 TS-G-1.1).

1.2.7-C1. НП-053-04 не оговаривают конкретных требований к перевозкам в специальных условиях. Однако общее требование – при перевозке в специальных условиях должен обеспечивать уровень безопасности не меньше, чем при выполнении всех установленных требований НП-053-04 для конкретного груза РМ.

1.2.7-C2. В то же время в некоторых случаях специальные условия могут достигаться достаточно простыми способами, без значительных дополнительных затрат. Например, можно учитывать защитные свойства транспортного средства, ограничивать скорость движения и (или) исключать всякое другое движение при перевозке груза РМ, выбрать специальный маршрут.

1.2.7-C3. Назначение п. 1.2.7 НП-053-04 (п. 312 Правил МАГАТЭ-96) соответствует аналогичным положениям в более ранних изданиях Правил МАГАТЭ. С самого раннего издания (1961) Правила МАГАТЭ разрешают перевозку грузов, не соответствующих всем необходимым требованиям, но это можно делать только в специальных условиях. Поскольку обычные указанные в Правилах нормативные требования не выполняются, каждый случай применения специальных условий должен специально утверждаться всеми вовлеченными компетентными органами (т.е. требуется многостороннее утверждение) (п. 312.1 TS-G-1.1).

1.2.7-C4. Концепция специальных условий призвана дать грузоотправителям возможность гибкого выбора альтернативных мер безопасности, эквивалентных тем, которые фактически предписаны Правилами. Это делает возможным как разработку новых мер контроля и методов для удовлетворения существующих и изменяющихся потребностей промышленности в длительной перспективе, так и применение специальных мер контроля при эксплуатации для конкретных грузов, когда интерес в этом носит лишь кратковременный характер. Роль специальных условий как возможного пути внедрения и испытания новых методов обеспечения безопасности, которые позже могут быть ассимилированы в специальных нормативных положениях, жизненно важна и для будущего развития Правил (п. 312.2 TS-G-1.1).

1.2.7-C5. Известно, что при перевозке могут возникать незапланированные ситуации (например небольшие повреждения упаковок или какие-либо отступления от требований Правил), требующие выполнения каких-то действий. Если при этом не возникает немедленного влияния на здоровье, безопасность и (или) физическую защиту, специальные условия могут быть приемлемым решением. Специальных условий не следует требовать в случаях несоответствий, которые могут потребовать, чтобы перевозка немедленно перешла из ситуации несоответствия в условия соответствующего контроля здоровья и безопасности. Считается, что процедуры аварийного реагирования, приведенные в [18] и программы обеспечения соблюдения Правил согласно [12] обеспечивают лучшие подходы в большинстве случаев возникновения незапланированных событий такого типа (п. 312.3 TS-G-1.1).

1.2.7-C6. Специальные условия можно применять в отношении перевозок, для которых отклонения от стандартных свойств конструкции упаковок приводят к необходимости принятия компенсирующих мер безопасности в виде более строгого эксплуатационного контроля. Детальная информация о возможных мерах дополнительного контроля, которые могут на практике использоваться с этой целью, включена в п. 825.1 TS-G-1.1 (см. конец справки 4.1.2-C8 настоящего Руководства). Информация, предоставляемая для обоснования аргументов по эквивалентной безопасности, может содержать количественные данные, если они доступны, а может варьироваться от рассмотрения суждений на основе соответствующего опыта до вероятностного анализа риска (п. 312.4 TS-G-1.1).

1.2.8-C1. Радиационная опасность может быть не единственной опасностью, связанной с содержимым упаковки РМ. Возможны и другие опасности, в том числе пирофорность, коррозия или окисляющие свойства; либо в случае выхода содержимое может реагировать с окружающей средой (воздухом, водой и т.п.), создавая в свою очередь опасные вещества. Последнее явление имеется в виду, когда в п. 309 Правил МАГАТЭ-96 (п. 1.2.8 НП-053-04) требуется обеспечивать должную безопасность от химических (т.е. нерадиоактивных) угроз и особое внимание уделять гексафториду урана (UF_6) из-за его склонности реагировать при определенных условиях как с влагой в воздухе, так и с водой, образуя фтористый водород и уранилфторид (HF и UO_2F_2) (п. 309.1 TS-G-1.1).

1.2.8-C2. Другие опасные свойства должны быть учтены грузоотправителем при организации перевозки, а ГКО и органы государственного регулирования безопасности должны принимать во внимание такие свойства РМ при выдаче сертификатов (сертификатов-разрешений).

1.2.8-C3. При повреждении системы герметизации упаковки в условиях аварии, воздух и(или) вода могут проникать внутрь и в некоторых случаях химически реагировать с содержимым. Для отдельных РМ эти химические реакции могут производить щелочи, кислоты, отравляющие вещества, потенциально опасные для окружающей среды и населения. Данную проблему следует учитывать в конструкции упаковок и при планировании процедур аварийного реагирования с целью снижения последствий таких реакций. Следует полностью принимать во внимание количество вовлеченных материалов, возможную кинетику реакций, смягчающее влияние продуктов реакций (самогашение, самозакупоривание, нерастворимость и т.п.) и возможное повышение концентрации или разбавление в окружающей среде. Подобные соображения могут накладывать ограничения на

конструкцию или применение упаковки, более жесткие, чем те, которые связаны с радиоактивной природой содержимого (п. 309.2 TS-G-1.1).

1.2.8-С4. Правила обеспечивают приемлемый уровень контроля излучения и опасности по критичности, связанный с перевозкой РМ. С одним исключением (в отношении UF_6) они не касаются опасностей, которые могут явиться следствием физического (химического) состояния (формы), в котором радионуклиды перевозятся. В некоторых случаях такая дополнительная опасность может превышать радиационную опасность. Соблюдение положений Правил, следовательно, не освобождает пользователей от необходимости учитывать все другие потенциально опасные свойства содержимого (п. 507.1 TS-G-1.1).

1.2.8-С5. Настоящее издание Правил впервые включает положения относительно упаковок, предназначенных для UF_6, основанные как на наличии присущих ему опасностей, т.е. излучения (критичности), так и химической угрозы. Учитывая большой объем перевозок, гексафторид урана представляет собой единственный продукт, для которого такие дополнительные опасности приняты во внимание в формулировке положений Правил (см. п. 629 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.7.1 НП-053-04) (п. 507.2 TS-G-1.1).

1.2.8-С6. Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов [21] классифицируют все РМ, как класс 7, хотя другие опасные свойства некоторых материалов (например, освобожденные РМ с многочисленными видами опасности) могут быть более значимыми. Рекомендации ООН предписывают выполнение испытаний для упаковочных комплектов для всех опасных грузов и классифицируют их следующим образом:

класс 1	–	Взрывчатые вещества
класс 2	–	Газы (сжатые, сжиженные, растворенные под давлением или глубокоохлажденные)
класс 3	–	Легковоспламеняющиеся жидкости
класс 4	–	Легковоспламеняющиеся твердые вещества; вещества, способные самовозгораться; вещества, выделяющие легковоспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой
класс 5	–	Окисляющие вещества, органические перекиси
класс 6	–	Токсичные и инфекционные вещества
класс 7	–	Радиоактивные материалы
класс 8	–	Коррозионные вещества
класс 9	–	Другие опасные вещества и предметы (п. 507.3 TS-G-1.1)

1.2.8-С7. Дополнительно к выполнению требований Правил относительно их радиоактивных свойств радиоактивные грузы должны подчиняться требованиям, определенным соответствующими международными транспортными организациями и применимым положениям, принятым отдельными государствами, для любых других опасных свойств. К ним, например, относятся требования к нанесению этикеток и информации, которую нужно приводить в транспортных документах, дополнительные требования к конструкции упаковки и утверждению соответствующими компетентными органами (п. 507.4 TS-G-1.1).

1.2.8-С8. Если требования к упаковкам, определенные соответствующими международными организациями в отношении дополнительной опасности, являются более серьезными, чем те, которые устанавливают Правила относительно радиационного риска, то требования в отношении дополнительной опасности будут устанавливаться стандартом [21] (п. 507.5 TS-G-1.1).

1.2.8-С9. Для РМ перевозимого под давлением, или если внутреннее давление может возрастать в процессе перевозки при температурных условиях, определенных в Правилах, или если упаковка может быть опрессована при заполнении или опорожнении, то такая упаковка может попадать под действие свода правил для сосудов, работающих под давлением, соответствующих государств (п. 507.6 TS-G-1.1).

1.2.8-С10. Проводимые испытания упаковочных комплектов для грузов с опасными свойствами, отличными от радиоактивности, предписаны в Рекомендациях ООН [21] (п. 507.7 TS-G-1.1).

1.2.8-С11. Дополнительные этикетки, указывающие на дополнительную опасность, следует размещать так, как это предусмотрено национальными и международными транспортными правилами (п. 507.8 TS-G-1.1).

1.2.8-С12. Поскольку правила, вводимые международными транспортными организациями, а также государствами часто корректируются, следует обращаться к текущим изданиям, для установления, какие дополнительные положения нужно применять относительно дополнительной опасности (п. 507.9 TS-G-1.1).

1.3. Классификация и пределы загрузки упаковок

1.3.1-С1. В данном пункте указаны три различных вида условий перевозок и три уровня степени тяжести возможных воздействий на груз РМ при перевозках. Это необходимо для дальнейшей классификации по методам испытаний упаковок.

1.3.1-С2. Обычные условия определяются теми воздействиями на груз, которые всегда имеют место на транспорте (ускорения, вибрация, колебания температуры окружающей среды, влажность и т.д.). НП-053-04, за исключением некоторых положений по температуре, ускорениям и вибрации, не устанавливают требований к испытаниям для обычных условий перевозки. Для конкретных видов транспорта они могут быть установлены дополнительно в соответствующих правилах. Также следует применять общее требование по п. 2.8.14 НП-053-04 об использовании общих промышленных стандартов для конструктивного исполнения и изготовления упаковок.

1.3.1-С3. В общем виде нормальные условия или испытания на нормальные условия определяют те ситуации и воздействия при перевозке, после которых груз РМ обычно продолжает следовать без принятия каких-то специальных дополнительных мер. Хотя они и не являются обычными условиями, тем не менее полагается, что может отсутствовать даже констатация факта такого воздействия. В НП-053-04 принято, что нагрузки в нормальных условиях могут имитироваться испытаниями на нормальные условия, указанными в НП-053-04.

1.3.1-С4. В Правилах принято, что нагрузки, которые могут воздействовать на груз РМ в аварийных условиях, могут быть имитированы испытаниями на аварийные условия, указанными в Правилах.

1.3.1-С5. Испытания на нормальные и аварийные условия не полностью и не абсолютно точно имитируют те происшествия и аварии, которые возможны при перевозке. Тем не менее имеется достаточно много обоснований, устанавливающих, что такие испытания перекрывают по степени воздействия подавляющее большинство ситуаций на транспорте.

1.3.2-С1. Классификация упаковок в НП-053-04 и в данном пункте НП-053-04 установлена в зависимости от количества и степени опасности перевозимого РМ. Общий принцип такой – чем большую опасность представляет РМ, тем более жесткие требования предъявляются к конструкции упаковки, т. е., тем большим механическим, тепловым и другим возможным при перевозке воздействиям должна противостоять конструкция, а именно:

- упаковки с наиболее опасными РМ должны удовлетворять предъявляемым требованиям во всех условиях перевозки – обычных, нормальных и аварийных;
- упаковки РМ ограниченной и достаточно низкой опасности должны удовлетворять предъявляемым требованиям при нагрузках, которые могут воздействовать на упаковки при обычной перевозке и при незначительных происшествиях, но могут быть разрушены при серьезных авариях;
- упаковки с РМ крайне малой опасности должны быть рассчитаны только на обычные условия перевозки.

1.3.2-С2. Классификация упаковок в НП-053-04 проведена по типам в зависимости от степени радиационной опасности. По степени ядерной опасности специального обозначения типа упаковки не вводиться, хотя устанавливаются конкретные требования к упаковкам с делящимися РМ, представляющими ядерную опасность.

1.3.2-С3. Конкретные требования к упаковкам различных типов указаны в соответствующих пунктах раздела 2 НП-053-04.

1.3.2-С4. Классификация упаковок в НП-053-04 полностью соответствует классификации упаковок в Правилах МАГАТЭ-96.

1.3.3-С1. Общим требованием к пределам загрузки упаковок служит требование о загрузке только того РМ, для которого упаковка была сконструирована (модернизирована) и прошла соответствующее согласование (утверждение). Более конкретные требования к пределам загрузки указаны в подпунктах данного пункта НП-053-04.

1.3.3.1-С1. Допустимые пределы загрузки освобожденных упаковок очень сильно различаются (в сотни и тысячи раз) в зависимости от физических свойств и изделия, в котором находится РМ. Увеличение допустимой активности при перевозках приборов и инструментов с РМ в общем виде обосновывается тем, что прибор сам служит дополнительным барьером против опасного воздействия материалов. Конкретные требования к таким приборам и инструментам приведены в НП-053-04.

1.3.3.2-С1. См. справки 5.6.1-С1, 5.6.1-С2 и 5.6.5-С1 настоящего Руководства.

1.3.3.2-С2. Концентрации, включенные в определения материалов НУА и ОПРЗ в Правилах МАГАТЭ издания 1973 г., были таковы, что в случае потери упаковки разрешенные материалы могли бы производить уровни излучения, превышающие приемлемый уровень для упаковки типа А в условиях аварий. Поскольку от промышленных упаковок, используемых для перевозки материалов НУА и ОПРЗ, не требуется удовлетворять предъявляемым к ним требованиям при транспортных авариях, в Правила МАГАТЭ издания 1985 были введены положения, об ограничении содержимого упаковок до количества, которое позволит удерживать уровень излучения на расстоянии 3 м от незащищенного материала или объекта в пределах 10 мЗв/ч. Не ожидается, что геометрические изменения материалов НУА и ОПРЗ в результате аварии приведут к значительному повышению этого уровня внешнего излучения. Это ограничивает аварийные последствия, связанные материалом НУА и ОПРЗ, по существу, тем же уровнем, который относится к упаковкам типа А, где значение A_1

основано на незащищенном содержимом упаковки типа А, создающем уровни излучения 100 мЗв/ч на расстоянии 1 м (п. 521.1 TS-G-1.1).

Определены пределы активности для перевозочного средства для материалов НУА и ОПРЗ; учитывалась повышенная опасность, представляемая жидкостями и газами, горючими твердыми веществами и уровнями загрязнения в условиях аварий (п. 525.1 TS-G-1.1).

1.3.3.3-С1. Величины A_1 и A_2 для одного и того же радионуклида могут существенно различаться. То есть предел активности в упаковке типа А может быть различным в зависимости от того, относится или нет данный РМ по физико-химическим свойствам к РМ особого вида.

1.3.3.3-С2. Ограничения активности содержимого упаковок типа А (A_1 для материалов особого вида и A_2 для материалов, не относящихся к особому виду) для любого радионуклида или комбинации радионуклидов выводятся на основе радиологических последствий, которые полагаются приемлемыми в рамках принципов радиологической защиты после разрушения упаковки в результате аварии. Метод определения значений A_1 и A_2 приведен в приложении I НП-053-04 (п. 401.1 TS-G-1.1).

1.3.3.3-С3. В Правилах не предписаны ограничения по количеству упаковок типа А, перевозимых на транспортном средстве. Упаковки типа А перевозятся совместно и иногда в больших количествах. В результате источник в случае аварии при таких перевозках может быть больше чем выход из единичной поврежденной упаковки. Но считается, что нет необходимости ограничивать величину потенциального источника, сокращая количество упаковок типа А на транспортном средстве. Большинство упаковок типа А содержит малую долю от значений A_1 или A_2; лишь малый процент грузов из упаковок типа А имеют активность больше чем эквивалент одной полной упаковки типа А. Исследование, предпринятое в Великобритании [22], показало, что самая большая загрузка транспортного средства с большим количеством упаковок типа А была эквивалентна менее чем пяти полным упаковкам данного типа. Опыт также показывает, что упаковки типа А хорошо проявляют себя во многих аварийных условиях. Суммирование данных об инцидентах из США [23] и Великобритании [24] за период около 20 лет дает информацию о 22 авариях с грузами множества упаковок типа А. Выход радиоактивного содержимого имел место только в двух из этих случаев. Оба они привели к выходу активности порядка $10^{-4}A_2$. Еще один пример можно найти в описании аварии, случившейся в США в 1983 г. [25] с транспортным средством, перевозившим 82 упаковки (типа А и освобожденные) с суммарной активностью на борту $4A_2$. Две упаковки были разрушены с выходом материала активностью примерно $10^{-4}A_2$ (п. 401.2 TS-G-1.1).

1.3.3.4-С1. Пределы содержимого для упаковок типа B(U) и типа B(M) указываются в сертификатах-разрешениях об утверждении (п. 415.1 TS-G-1.1).

1.3.3.4-С2. Для упаковок типа B(U) и типа B(M), предназначенных для перевозки по воздуху, пределы содержимого еще более ограничены меньшей из величин $3000\,A_1$ или $100\,000\,A_2$ для материалов особого вида и $3000\,A_2$ для других РМ (п. 416.1 TS-G-1.1).

1.3.3.4-С3. Предел $3000\,A_2$ для материала не особого вида был установлен с учетом работы по анализу риска, выполненной Хубертом и др. [26] и касающейся поведения упаковки типа В в авариях при перевозке по воздуху. Он же является пороговым значением, для которого требуется утверждение перевозки упаковок типа B(M) (п. 416.2 TS-G-1.1).

1.3.3.4-С4. Что касается предела радиоактивного содержимого для материала особого вида, то из системы Q следует, что для него значение $3000\,A_1$ было принято в качестве предела радиоактивного содержимого параллельно с пределом $3000\,A_2$ для такого материала. Однако для некоторых альфа-излучателей отношение A_1 к A_2 может достигать величины 10^4, что привело бы к эффективной потенциальной загрузке упаковки $3{\cdot}10^7A_2$ в нерассеиваемом виде. Это виделось как нежелательно высокий уровень радиоактивного содержимого, в частности, если особый вид материала частично нарушается при очень тяжелой аварии. Предполагалось, что сходство между испытанием на столкновение для материала особого вида и испытания на механическое повреждение для упаковок типа В позволяет ожидать снижения выброса в 10^2 раз по сравнению с упаковкой типа В, позволяя увеличивать источник от 100 до 300 000 A_2. В качестве консервативной оценки было принято значение $100\,000\,A_2$ (п. 416.3 TS-G-1.1).

1.3.3.4-С5. Радиоактивные материалы в нерассеиваемом виде или закрытые в прочной металлической капсуле представляют минимальную угрозу загрязнения, хотя опасность от прямого излучения остается. Дополнительная защита, обеспечиваемая для материалов особого вида, достаточна, чтобы перевозить материалы особого вида по воздуху в упаковке типа B(U) в количествах до $3000\,A_1$, но не более значений $100\,000\,A_2$ для этого нуклида особого вида. Французские исследования показали, что некоторые материалы особого вида, утвержденные по существующим нормам, могут сохранять свою удерживающую функцию и при испытаниях для условий авиакатастроф [26] (п. 416.4 TS-G-1.1).

1.3.3.5-С1. Конструкция упаковки типа С должна ограничивать потенциальный выход до приемлемых уровней при попадании упаковки в тяжелую авиакатастрофу. Пределы содержимого упаковки типа С, указываемого в сертификате-разрешении об утверждении, учитывают требования к испытаниям упаковок типа С, отражающие очень серьезные аварийные нагрузки, которые воз-

можны при тяжелой авиакатастрофе. Конструкция должна также обеспечивать формы материала и его физического или химического состояния совместимость с системой защитной оболочки (система герметизации) (п. 417.1 TS-G-1.1).

1.3.3.6-C1. Кроме соответствующих ограничений по величине активности, упаковки с делящимися РМ имеют ограничения по загрузке с точки зрения обеспечения ядерной безопасности (критичности).

1.3.3.6-C2. Важно, чтобы содержание делящегося материала в упаковке соответствовало утвержденному описанию ее содержимого, поскольку безопасность по критичности может быть чувствительной к количеству, типу, форме и конфигурации делящегося материала, фиксированных поглотителей нейтронов и (или) иных неделящихся материалов, включенных в содержимое. В описание разрешенного содержимого следует включать все материалы (например, внутренние резервуары, упаковочные материалы, части свободных пространств) или значительные примеси, которые возможно или по своей природе наверняка присутствуют в упаковке. Таким образом, при оценке безопасности следует тщательно учитывать весь диапазон изменения параметров, характеризующих все материалы, являющиеся возможными компонентами содержимого упаковки. Важно соответствие количества делящегося материала определенному в сертификате-разрешении об утверждении, потому что любые изменения могут вызывать увеличение коэффициента размножения нейтронов вследствие большего количества делящегося материала или в случае уменьшения его количества приводить к увеличению реактивности вследствие оптимизации замедления на воде (например, в сертификате-разрешении может требоваться перевозка полных топливных сборок без удаленных стержней). Включение делящегося материала или иных радионуклидов, не разрешенных для упаковки, может оказывать неожиданное влияние на безопасность по критичности (например, замена U-235 на U-233 может давать больший коэффициент размножения). Аналогично помещение одного и того же количества делящегося материала в гетерогенном или гомогенном распределении может значительно влиять на коэффициент размножения. Расположение в гетерогенной решетке дает более высокую реактивность для системы низкообогащенного урана, чем гомогенное распределение того же количества материала (п. 418.1 TS-G-1.1).

1.3.3.7-C1. Кроме соответствующих ограничений по величине активности, упаковки с гексафторидом урана имеют дополнительные ограничения согласно пункту 1.3.3.7 НП-053-04.

1.3.3.7-C2. Предел массы гексафторида урана в загруженной упаковке определен так, чтобы предотвращать переопрессовку как при заполнении, так и при опорожнении. Этот предел следует основывать на максимальной рабочей температуре контейнера с гексафторидом урана, сертифицированном минимальном внутреннем объеме контейнера, минимальной чистоте гексафторида урана 99,5 % и минимальном запасе безопасности 5% свободного объема, когда гексафторид урана находится в жидком состоянии при максимальной рабочей температуре [27] (п. 419.1 TS-G-1.1).

1.3.3.7-C3. Требование, чтобы гексафторид урана был в твердой форме и чтобы внутреннее давление в контейнере с гексафторидом урана было ниже атмосферного при передаче для перевозки, установлено как метод безопасного выполнения операций и для обеспечения максимального запаса безопасности при перевозке. В общем случае контейнеры заполняют гексафторидом урана при давлениях выше атмосферного в газообразном или жидком состоянии. Пока гексафторид урана не охлажден и не отвержден, нарушение системы герметизации как контейнера, так и системы заполнения на предприятии может приводить к опасному выбросу этого вещества. Однако поскольку тройная точка для гексафторида урана имеет параметры 64°C при нормальном атмосферном давлении $1{,}013 \cdot 10^5$ Па, то если гексафторид урана представлен для перевозки в термически стабильном состоянии, крайне маловероятно, что в нормальных условиях перевозки он нагреется выше тройной точки (п. 419.2 TS-G-1.1).

1.3.3.7-C4. Соблюдение требования о нахождении гексафторида урана при перевозке в твердой форме при внутреннем давлении в контейнере ниже атмосферного обеспечивает следующее: (a) обращение с контейнером до и после перевозки, а также при перевозке в нормальных условиях будет осуществляться при максимальном запасе безопасности исполнения данной упаковки; (b) максимизацию конструктивных возможностей упаковки; (c) надлежащую работу системы герметизации упаковки. Выполнение этого требования исключает представление на перевозку контейнеров, которые не были должным образом охлаждены после заполнения (п. 419.3 TS-G-1.1).

1.3.3.7-C5. Вышеописанные критерии для установления пределов заполнения и специальные пределы заполнения контейнеров с гексафторидом урана, наиболее широко используемых во всем мире, определены в [27]. Пределы заполнения любых других контейнеров с гексафторидом урана следует устанавливать, используя эти критерии, и для каждого контейнера, требующего утверждение компетентного органа, анализ, устанавливающий предел заполнения и величину этого предела, следует включать в документацию по безопасности, направляемую компетентному органу. В безопасном пределе заполнения следует учитывать внутренний объем гексафторида урана в разогретом и жидком состоянии и в дополнение указывать незаполненный объем (т.е. объем газа) над жидкостью в контейнере (п. 419.4 TS-G-1.1).

1.3.3.7-С6. Гексафторид урана значительно расширяется при фазовом переходе из твердого состояния в жидкое. Он расширяется из твердого состояния при 20°С до жидкого при 64°С на 47 % (от 0,19 до 0,28 $см^3$/г). Кроме того, жидкий гексафторид урана будет расширяться дополнительно на 10 % по отношению к объему в твердом состоянии (от 0,28 $см^3$/г в тройной точке до 0,3 $см^3$/г) при нагреве от 64 до 113°С. В результате может наблюдаться дополнительный существенный рост объема гексафторида урана между температурой заполнения и более высокой температурой. Поэтому проектировщику и оператору установки, заполняющей контейнеры гексафторидом урана, следует уделять особое внимание обеспечению соблюдения предела заполнения контейнеров. Это особенно важно, поскольку если не уделять этому внимания, количество материала, которое может быть залито в контейнер, может значительно превышать безопасный предел заполнения при температуре, с которой гексафторид урана обычно разливается в контейнеры (например, при температуре около 71°С). Например, контейнер объемом 3964 л с пределом заполнения 12 261 кг может принять до 14 257 кг гексафторида урана при 71°С. При нагреве выше 71°С жидкий гексафторид урана может целиком заполнять контейнер и за счет гидравлических сил деформировать и разорвать его. Количество гексафторида урана, превышающее 14 257 кг, может разорвать контейнер при нагревании выше 113°С. Разрыв за счет гидравлических усилий – это хорошо изученное явление, и оно должно быть исключено путем соблюдения установленных пределов заполнения, основанных на сертифицированном минимальном объеме контейнера и плотности гексафторида урана при 121°С для всех контейнеров при максимальной температуре, определяемой конструкцией контейнера [28] (п. 419.5 TS-G-1.1).

1.3.3.7-С7. Перед перевозкой контейнера с гексафторидом урана грузоотправителю следует убедиться, что его внутреннее давление ниже атмосферного путем измерения датчиком давления или иным прибором, показывающим давление. Это соответствует ISO 7195, который указывает, что для демонстрации пригодности цилиндра к перевозке гексафторида урана следует проводить испытание на наличие давления, меньше атмосферного в холодном состоянии. Согласно ISO 7195, контейнер с гексафторидом урана не следует перевозить, пока не продемонстрировано, что давление внутри меньше атмосферного и равно $6{,}9 \cdot 10^4$ Па. В эксплуатационной процедуре для упаковки следует определять максимально допустимое давление, меньше атмосферного, измеренное таким образом, которое будет приемлемо для перевозки; результаты этого измерения следует включать в соответствующую документацию. Это предперевозочное испытание следует также сопровождать согласованными процедурами обеспечения качества (п. 419.6 TS-G-1.1).

2. ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОАКТИВНЫМ МАТЕРИАЛАМ, ТРАНСПОРТНЫМ УПАКОВОЧНЫМ КОМПЛЕКТАМ И УПАКОВКАМ

2.1. Требования к радиоактивным материалам НУА-III

2.1.1-С1. В материалах НУА-III РМ может иметь достаточно большую активность, но удельная активность этого материала ограничена, активность относительно равномерно распределена и относительно тяжело рассеивается. Однако активность (РМ) абсолютно не может рассеиваться в условиях перевозки. Способность данного РМ к рассеянию проверяется испытанием на выщелачивание согласно п. 3.2 НП-053-04.

2.1.1-С2. См. справки настоящего Руководства по п. 11 раздела "Термины и определения" НП-053-04.

2.1.1-С3. Положения для НУА-III предназначены главным образом для определенных грузов с РАО, имеющими среднюю удельную активность выше предела 10^{-4} A_2/г, установленного для материалов НУА-II. Более высокий предел удельной активности $2 \cdot 10^{-3}$ A_2/г для материалов НУА-III обосновывается:

- ограничением таких материалов твердыми материалами в недисперсной форме, следовательно, поэтому полностью исключены порошки, а также жидкости или растворы;
- необходимостью в испытании на выщелачивание для обоснования достаточной нерастворимости указанных материалов в случае воздействия таких природных условий, как ливень (см. справку 2.1.1-С4) настоящего Руководства;
- более высоким уровнем требований к промышленным упаковкам ПУ-3 (ПУ-3) в условиях неисключительного использования, который представляет собой то же, что и требования к упаковкам типа А для твердых материалов;
- в случае промышленной упаковки ПУ-2 (ПУ-2) (п. 524 Правил МАГАТЭ-96) отсутствие испытания на опрыскивание водой и испытания на глубину разрушения компенсируется испытанием на выщелачивание и эксплуатационным контролем при исключительном использовании соответственно (п. 226.9 TS-G-1.1).

2.1.1-С4. Предельная скорость выщелачивания 0,1 A_2 за неделю была получена при рассмотрении случая с блоком материала в контейнере (например, стальная бочка), который был подвергнут воздействию погодных условий, в том числе значительному ливню так, чтобы блок в

течение одной недели был покрыт водяной пленкой. Если эта упаковка затем попадает в аварию в процессе обращения с ней, то часть жидкости может испаряться, и на основе стандартной модели определения величины A_2, было постулировано, что от 10^{-4} до 10^{-3} от этого вещества поступает в тело наблюдателя (см. приложение I к настоящему Руководству). Поскольку упаковка должна выдерживать испытание на свободное падение и испытание на укладку штабелем, как это задано в пп. 722 и 723 Правил МАГАТЭ-96 (см. пп. 3.4.2.4 и 2.5 НП-053-04), может быть дан определенный кредит доверия ее способности сохранять свое содержимое: она, может быть, не особенно подходит, как для упаковки типа А, но может быть достаточно пригодной, чтобы ограничить выход значением $10^{-2} \div 10^{-3}$ доли рассеиваемого содержимого. В связи с тем, что суммарное поглощение телом должно быть ограничено величиной $10^{-6} A_2$, чтобы соответствовать уровню безопасности, предусмотренному для упаковок типа А, рассеиваемое содержимое бочки (т. е. жидкость) не должно превышать 0,1 A_2. (п. 601.2 TS-G-1.1).

2.2. Требования к радиоактивным материалам особого вида

2.2.1-С1. Ограничение минимального размера РМ особого вида 5 мм обусловливается тем, чтобы при авариях и разрушении упаковок типа А этот материал можно было относительно легко обнаруживать.

2.2.1-С2. Радиоактивный материал особого вида должен быть разумного размера, чтобы его можно было легко подбирать или обнаруживать после аварии; отсюда ограничение минимального размера. Цифра 5 мм произвольна, но практична учетом типа материала, который обычно классифицирован как РМ особого вида (п. 602.1 TS-G-1.1).

2.2.2-С1. Из способов перевозки РМ особого вида наиболее экономична перевозка в упаковках типа А. Так же как и Правила МАГАТЭ-96, НП-053-04 не требуют от таких упаковок способности выдерживать аварийные условия перевозок. Безопасность перевозки РМ в таких упаковках достигается за счет требований к самим РМ. В частности, при нарушении целостности упаковки типа А при транспортной аварии предотвращение рассеяния РМ должно обеспечиваться самим материалом.

2.2.2-С2. Правила ориентированы на то, чтобы обеспечивать отсутствие выхода радиоактивного содержимого из упаковки с РМ особого вида за счет утечки или за счет выщелачивания (диспергирования) в случае тяжелой аварии, даже если упаковочный комплект будет разрушен (см. приложение I к настоящему Руководству). Это минимизирует риск от ингаляции или перорального поступления, или загрязнения РМ. По этой причине РМ особого вида должен быть способен выдерживать серьезные механические и тепловые испытания, аналогичные тем, что предписываются для упаковок типа B(U), без неприемлемой потери или рассеяния РМ в любое время в течение срока службы (п. 603.1 TS-G-1.1).

2.2.2-С3. Результатами испытаний заявитель должен показывать, что выщелачивание испытуемого материала равно или больше РМ особого вида, который должен перевозиться. При этом могут применяться соответствующие масштабные отношения для материала без капсулы. Для материала в виде капсулы масштабная экстраполяция затруднена, и в этом случае могут использоваться подходящие методы объемной утечки (вакуумный, пузырьковый, гелиевый).

2.2.2-С4. Заявителю следует демонстрировать, что растворимость материала, оцененная в испытаниях на выщелачивание, равна или больше, чем растворимость реального РМ, который нужно перевозить. Результаты также следует экстраполировать, если в испытаниях был использован материал с пониженным содержанием радиоактивности; достоверность экстраполяции в этом случае следует демонстрировать. Заявителю не следует полагать, что только потому, что материал инертный, он выдержит испытание на выщелачивание без инкапсуляции. Например, чистые инкапсулированные таблетки Ir-192 не прошли испытание на выщелачивание [29]. Значение выщелачивания должно масштабироваться до значений, отражающих реальную активность и форму материала, который нужно транспортировать. Для материала, помещенного в закрытую капсулу, могут использоваться подходящие методы оценки объемной утечки, например, вакуумно-пузырьковый метод или метод оценки утечки с помощью гелия. В этом случае все параметры испытания, которые влияют на чувствительность, должны быть тщательно определены и приняты во внимание в оценке предполагаемой утечки радиоактивного материала из РМ особого вида (п. 603.2 TS-G-1.1).

2.2.2-С5. Правила допускают альтернативные испытания по оценке утечки для закрытых капсул. Когда по согласованию с компетентным органом испытания конструкции капсулы не проводятся с радиоактивным содержимым, оценка утечки может проводиться методом объемной утечки. Утечку 10^{-5} Па·м^3/с для невыщелачиваемого твердого содержимого и утечку 10^{-7} Па·м^3/с для выщелачиваемых твердых веществ, жидкостей и газов, в большинстве случаев, следует считать эквивалентной выходу 2 кБк, предписанному в п. 603 Правил МАГАТЭ-96 [30]. Рекомендованы четыре метода проведения испытаний на объемную утечку, подходящие для определения утечки из закрытых капсул. Они перечислены в табл. 3 вместе с чувствительностью этих методов.

Таблица 3

Сравнение четырех методов испытаний для определения объемной утечки, рекомендуемых АСТОНОМ и др. [31]

Метод испытания на утечку	Чувствительность, $Па \cdot м^3/с$	Минимальный объем в капсуле, $мм^3$
Вакуумно-пузырьковый		
(i) Гликоль или изопропиловый спирт	10^{-6}	10
(ii) Вода	10^{-5}	40
Пузырьковый под давлением с изопропиловым спиртом	10^{-8}	10
Пузырьковый с жидким азотом	10^{-8}	2
Под давлением с гелием	10^{-8}	10

Выщелачиваемый: более, чем 0,01% общей активности в 100 мл в спокойной воде, при 50°С, в течение 4 ч, в соответствии с п. 5.1.1. ISO 9978 [30].

Не выщелачиваемый: менее чем 0,01% общей активности в 100 мл спокойной воде, при 50°С в течение 4 ч, в соответствии с п. 5.1.1. ISO 9978 (п. 603.3 TS-G-1.1).

2.2.2-С6. При использовании нерадиоактивного материала как суррогата измерение утечки материала должно быть связано с пределом активности, определенным в п. 603(с) Правил МАГАТЭ-96 (п. 603.4 TS-G-1.1).

2.2.3-С1. Конструкция капсулы должна обеспечивать невозможность ее открытия (извлечения РМ) во время обращения с ней, в том числе при погрузке в упаковку и выгрузке из нее. С этой целью она должна быть сконструирована так, что открыть ее можно было бы только путем разрушения (а не разборки).

2.2.3-С2. Если закрытая капсула составляет часть РМ особого вида, она должна быть проверена на предмет невозможности открытия в процессе обслуживания или при разгрузке. В противном случае возникает возможность, обслуживания и перемещения РМ без защитной капсулы (п. 604.1 TS-G-1.1).

2.2.3-С3. Под разрушением капсулы понимаются такие методы, как резка (механическая, тепловая), сверление, распиливание и т.д. Капсулы с завинчивающимися пробками (крышками) не отвечают указанным требованиям.

2.2.3-С4. Под закрытыми источниками, которые могут быть открыты только разрушающими методами, обычно понимают сварные конструкции. Они могут быть открыты только такими методами, как обработка на станке, пиление, сверление или резка в пламени. Капсулы с резьбовыми колпачками или пробками, которые могут быть открыты без разрушения капсулы, приемлемы (п. 604.2 TS-G-1.1).

2.3. Требования к радиоактивным материалам с низкой способностью к рассеянию

2.3.1-С1. Ограничение уровня внешнего излучения на расстоянии 3 м от незащищенного РМ с низкой способностью к рассеянию гарантирует, что потенциальная доза согласуется с потенциальными последствиями при серьезной аварии с промышленными упаковками.

2.3.1-С2. Ограничение максимального уровня внешнего излучения значением 10 мЗв/ч на расстоянии 3 м от незащищенного материала с низкой способностью к рассеянию гарантирует, что максимальная потенциальная доза внешнего облучения соответствует потенциальным последствиям тяжелых аварий, в которые могут попадать промышленные упаковки (см. п. 521 Правил МАГАТЭ-96) (п. 605.1 TS-G-1.1).

2.3.1-С3. Частицы с размерами аэродинамического эквивалентного диаметра (АЭД) около 10 мкм по величине являются вдыхаемыми и могут достигать более глубокой области легких, время выведения откуда может быть значительным. Частицы с АЭД между 10 мкм и 100 мкм вызывают мало беспокойства в отношении ингаляционного пути облучения, но они могут дать вклад в другие виды внешнего облучения. Частицы с АЭД больше 100 мкм осаждаются очень быстро. Это может приводить к локальному загрязнению в непосредственной близости от места аварии, но не представляет значимого механизма для внутреннего облучения (п. 605.2 TS-G-1.1).

2.3.1-С4. Для материалов с низкой способностью к рассеянию выход в воздух РМ в газообразной форме или в форме частиц ограничивается величиной $100A_2$, когда содержимое упаковок типа B(U) повергается механическим и тепловым испытаниям. Этот предел $100A_2$ относится ко

всем размерам частиц вплоть до частиц с АЭД 100 мкм. Выход РВ в виде частиц, переносимых по воздуху, может приводить к облучению лиц, находящихся с подветренной стороны от места аварии, несколькими путями облучения. Наибольшее беспокойство вызывает поглощение РМ путем ингаляции в короткий период времени после аварии. Другие механизмы намного менее важны, потому что их вклад возможен только в случае длительного нахождения под их воздействием, и для ограничения облучения могут быть приняты соответствующие меры. Для ингаляционного пути облучения доминирующими являются частицы с АЭД менее 10 мкм, поскольку они могут вдыхаться. Тем не менее осторожно выбранный верхний предел 100 мкм был введен в связи с пределом $100A_2$. Разумное обоснование этого состоит в том, что таким образом обеспечено, что ни за счет вдыхания, ни другими путями, связанными с выпадением из воздуха, не будут достигаться неприемлемые дозы облучения (п. 605.3 TS-G-1.1).

2.3.1-C5. Когда материал с низкой способностью к рассеянию подвергается испытанию на столкновение с мишенью с высокой скоростью, это может приводить к образованию частиц. Но из всех переносимых по воздуху частиц размером вплоть до 100 мкм лишь малая доля их (менее 10%) имеют вдыхаемый размер менее 10 мкм, если предел $100A_2$ удовлетворен. Другими словами, для материала с низкой способностью к рассеянию переходить в воздух в виде частиц вдыхаемого размера может лишь эквивалентное количество, не превышающее $10A_2$. Было показано, что для расстояния около 100 м и для большой части условий атмосферного рассеивания это может приводить к эффективной дозе ниже 50 мЗв (п. 605.4 TS-G-1.1).

2.3.1-C6. В случае теплового испытания активность $100A_2$ РМ с низкой способностью к рассеянию может переходить в воздух в газообразной форме или в виде частиц преимущественно малых размеров (АЭД < 10 мкм), так как термические процессы, такие как горение, обычно приводят к образованию малых частиц. Следует обращать внимание на возможные химические изменения материала в процессе усиленного теплового испытания, которые могли бы проводить к образованию аэрозолей, например, химические реакции, вызванные продуктами горения. В случае пожара, сопровождающего авиационную аварию, выталкивающий эффект горячих газов будет приводить к концентрациям в воздухе на уровне земли и потенциальным эффективным ингаляционным дозам, которые должны остаться ниже 50 мЗв для большой части условий атмосферного рассеяния (п. 605.5 TS-G-1.1).

2.3.1-C7.Предел по выщелачиванию РМ применен к радиоактивным материалам с низкой способностью к рассеянию, чтобы устранять возможность растворения и миграции РМ, вызывающих значительное загрязнение почвы и водных источников, даже если в условиях тяжелой аварии произошло полное освобождение РМ с низкой способностью к рассеянию из упаковочного комплекта. Предел $100A_2$ для выщелачивания – это то же самое, что выход РМ в воздух (в виде частиц, переносимых воздухом) вследствие пожара или столкновения с высокой скоростью (п. 605.6 TS-G-1.1).

2.3.1-C8. Для образца, подвергающегося испытанию на столкновение, следует рассматривать возможность физического взаимодействия между исходными структурами и отдельными компонентами материала, составляющими РМ с низкой способностью к рассеянию. Это взаимодействие может приводить к значительному изменению формы материала с низкой способностью к рассеянию. Например, одна таблетка топлива не может производить то же количество диспергируемого материала после столкновения на высокой скорости, как та же таблетка, объединенная с другими таблетками в топливном стержне. Важно, чтобы испытуемый образец адекватно представлял тот материал с низкой способностью к рассеянию, который предполагается транспортировать (п. 605.7 TS-G-1.1).

2.3.1-C9. Следует обеспечивать, чтобы в испытаниях на выщелачивание образец включал представительную пробу материала с низкой способностью к рассеянию, который подвергался усиленному тепловому испытанию и испытанию на столкновение с высокой скоростью. Для каждого испытания может быть использован отдельный образец, при этом оба образца следует подвергать испытанию на выщелачивание. Например, в случае испытания на столкновение материал может быть разрушен или иным способом разделен на различные твердые формы, включающие осаждающийся порошкообразный материал. Эти формы составляют материал с низкой способностью к рассеянию, который следует подвергать испытанию на выщелачивание (п. 605.8 TS-G-1.1).

2.3.1-C10. Особенно важно, чтобы измерения выхода в воздух и выщелачивания были воспроизводимыми (п. 605.9 TS-G-1.1).

2.4. Общие требования к упаковкам и транспортным упаковочным комплектам

2.4.1-C1. Крепление упаковок внутри транспортного средства или нем необходимо по нескольким причинам. Из-за движения транспортного средства упаковки малых размеров, если они не удерживаются в период транспортирования, могут быть сброшены или свалены и вследствие этого повреждены. Упаковки могут также упасть с транспортного средства, и вследствие этого могут быть потеряны или повреждены. Тяжелые упаковки, если они не закреплены, могут перемещаться внут-

ри транспортного средства или нем, и вследствие этого транспортное средство может стать неустойчивым, и тем самым вызвать аварию. Упаковки следует раскреплять для предотвращения их перемещения и гарантировать, что мощность дозы излучения, направленного от транспортного средства на водителя или на экипаж, не увеличивается (п. 564.1 TS-G-1.1).

2.4.1-С2. Падение упаковок с транспортного средства и их потеря, кроме непосредственного нанесения повреждения людям и транспортному средству, может также представлять радиационную опасность, так как упаковка может быть найдена и вскрыта неквалифицированным персоналом, в частности детьми.

2.4.1-С3. Конструкция упаковки относительно способа ее крепления в (на) транспортном средстве учитывает только обычные условия транспортирования (см. п. 612 Првил МАГАТЭ-96) (п. 606.1 TS-G-1.1).

2.4.1-С4. В контексте Правил термин «размещение» («укладка») означает расположение в пределах транспортного средства или нем упаковки, содержащей РМ, относительно другого груза (как радиоактивного, так и нерадиоактивного), а «крепление» означает использование (по необходимости) подстилки, башмаков, блоков или швартовочных тросов для закрепления упаковки и ограничения ее перемещения внутри транспортного средства или нем в обычных условиях перевозки. Если грузовой контейнер используется, чтобы облегчать транспортирование упакованного РМ или, в качестве транспортного пакета, следует предусматривать специальные меры по креплению упаковок внутри грузового контейнера. Средства крепления (например, веревки, накидные сети) и методы крепления (разделение на отсеки) следует предусматривать для предотвращения повреждения упаковок внутри грузового контейнера при его обслуживании или перемещении (п. 564.2 TS-G-1.1).

2.4.1-С5. См. также приложение II к настоящему Руководству (цитируемое по приложению V TS-G-1.1).

2.4.2-С1. При выборе материалов и конструкций подъемных приспособлений должны учитываться нагрузки, возникающие при обычном обращении с упаковкой. В случае возможного превышения обычных нагрузок, действующих на упаковку при перевозке, или при поломке подъемных приспособлений упаковка после получения таких повреждений должна продолжать соответствовать другим требованиям НП-053-04 и обеспечивать ее дальнейшую безопасную перевозку.

2.4.2-С2. При выборе материалов для подъемных узлов следует рассматривать материалы, которые не испытывают пластических деформаций в диапазоне нагрузок, ожидаемых при нормальных условиях обращения. При перегрузке безопасность упаковки не должна нарушаться. Кроме того, следует учитывать влияние износа (п. 607.1 TS-G-1.1).

2.4.2-С3. Для конструкций, подъемных приспособлений и мест их закрепления на упаковке должна учитываться усталостная прочность материалов. Места предполагаемого возможного усталостного разрушения должны проверяться методами неразрушающего контроля, и соответствующие положения должны быть включены в эксплуатационную документацию.

2.4.2-С4. В конструкции узлов крепления упаковок, поднимаемых много раз за время срока их службы, следует принимать во внимание усталость, чтобы избежать образования трещин. Там, где предполагается усталостное разрушение, в конструкции следует учитывать возможность выявления этих трещин с помощью неразрушающих методов контроля, и в программу технического обслуживания упаковки следует включать соответствующие испытания (п. 607.2 TS-G-1.1).

2.4.2-С5. Факторы нагрузки от ускорения при использовании подъемных кранов (так называемые "рывки") следует относить к ожидаемым подъемными характеристикам кранов, которые предполагается использовать. Эти факторы следует ясно идентифицировать. Конструкторам также следует использовать приемлемые коэффициенты безопасности конструкции [32-34] дополнительно к факторам нагрузки от ускорения для элементов конструкции, чтобы гарантировать отсутствие пластической деформации в любой части упаковки при ее подъеме (п. 607.3 TS-G-1.1).

2.4.2-С6. Особое внимание следует уделять подъемным узлам упаковок, используемых на ядерных установках. Дополнительно к повреждению самой упаковки, падение тяжелой прочной упаковки на чувствительные места ядерной установки может приводить либо к выходу РМ из оборудования установки, либо к критичности или к другим событиям, которые могут повлиять на безопасность установки. Для этих узлов могут потребоваться более высокие коэффициенты запаса, чем используемые в обычной инженерной практике (п. 607.4 TS-G-1.1).

2.4.3-С1. Требование имеет целью предотвращать неадекватное использование элементов упаковки, которые не предназначены (не сконструированы соответствующим образом) для подъемно-транспортных операций.

2.4.3-С2. Требование направлено на предотвращение случайного использования элементов упаковки, которые не разработаны должным образом для таких операций по обращению (п. 608.1- TS-G-1.1).

2.4.4-С1. Требование предусматривается в связи с тем, что выступающие части на внешней поверхности упаковки очень чувствительны к ударам при обслуживании и других, присущих пе-

ревозке, операциях. Такие удары могут вызывать в конструкции упаковки высокие напряжения, приводящие к разрыву или разрушению системы герметизации (п. 609.1 TS-G-1.1).

2.4.4-С2. При определении того, что наиболее полезно для конструкции и отделки упаковочного комплекта, какое-либо одно соображение не должно умалять значения любых других характеристик, необходимых для удовлетворения требованиям Правил. Например, элементы, предусмотренные для безопасного обслуживания, эксплуатации или складирования, следует конструировать так, чтобы они выполняли свои основные функции в соответствии с положениями Правил, но при этом любые конструктивные выступы и потенциальные трудности очистки были бы сведены к минимуму (п. 609.2 TS-G-1.1).

2.4.4-С3. Стоимость – законный определяющий фактор при определении того, что является практичным. Меры для выполнения п. 609 Правил МАГАТЭ-96 не должны включать непомерных или необоснованных затрат. Например, выбор материалов и методов изготовления для любого данного упаковочного комплекта следует определять на основе общепринятой инженерной практики для этого типа упаковочных комплектов, всегда правильно соотносясь с данным пунктом Правил (пп. 609 и 610 Правил МАГАТЭ-96) и с необходимостью не использовать излишне дорогие меры (п. 609.3 TS-G-1.1).

2.4.4-С4. Хорошо обработанная внешняя поверхность, имеющая низкую пористость, способствует дезактивации и, в сущности, менее подвержена поглощению загрязняющих веществ и последующему выщелачиванию, чем грубая поверхность (п. 609.4 TS-G-1.1).

2.4.4.-С5. Это требование введено, поскольку скопление и удержание воды (от дождя или других источников) на внешней поверхности упаковки могут приводить к нарушению целостности упаковки в результате ржавления или длительного размывания. В дальнейшем задержанная вода может приводить к выщелачиванию загрязнения, имеющегося на поверхности, и распространению его в окружающей среде. Наконец, вода, капающая с поверхности упаковки, может ошибочно приниматься за утечку из упаковки (п. 610.1 TS-G-1.1).

2.4.4-С6. Общее указание о практической возможности выполнения требований относится ко всем требованиям данного пункта.

2.4.5-С1. Это требование направлено на то, чтобы предотвратить размещение вспомогательного оборудования, инструментов или запасных частей около упаковки таким образом, что предусмотренные функции компонентов упаковки могут быть нарушены в условиях нормальной перевозки или в случае аварии (п. 611.1 TS-G-1.1).

2.4.6-С1. Составляющие упаковочного комплекта, включая те, которые связаны с системой герметизации, подъемными устройствами и системой крепления, могут подвергаться "рабочему износу" в результате ускорения, вибрации или вибрационного резонанса. В конструкции упаковки следует обращать внимание на то, чтобы любые гайки, болты и другие крепежные устройства оставались зафиксированными в обычных условиях перевозки (п. 612.1 TS-G-1.1).

2.4.6-С2. В табл. 2.1 указаны максимальные значения ускорений. Конструктор может не согласовывать их принятие с соответствующими транспортными организациями. В то же время для конкретных транспортных средств могут быть достаточными более низкие значения ускорений. Однако в этом случае необходимо согласование принимаемых параметров ускорений с соответствующими федеральными органами исполнительной власти в области транспорта.

2.4.7-С1. При анализе химической совместимости между радиоактивным содержимым и материалами упаковочного комплекта и между различными материалами элементов упаковочного комплекта следует принимать во внимание такие эффекты, как коррозия, охрупчивание, ускоренное старение и растворение эластомеров и изделий из резины, загрязнение растворенным материалом, возбуждение полимеризации, пиролиз, приводящие к газообразованию и изменениям химической природы (п. 613.1 TS-G-1.1).

2.4.7-С2. При анализе совместимости следует учитывать материалы, которые могут быть оставлены после процесса производства, очистки или ремонта упаковочного комплекта, такие, например, как чистящие агенты, жир, нефть, и т.п., а также следует учитывать остатки прежнего содержимого упаковки (п. 613.2 TS-G-1.1).

2.4.7-С3. При проведении анализа физической совместимости следует принимать во внимание термическое расширение материалов и радиоактивного содержимого в представляющем интерес температурном диапазоне, с тем, чтобы учитывать изменения размеров, твердости, физического состояния материалов и радиоактивного содержимого (п. 613.3 TS-G-1.1).

2.4.7-С4. Один аспект физической совместимости наблюдается в случае наличия жидкого содержимого в упаковочном комплекте, когда должен был быть обеспечен достаточный свободный объем, во избежания гидравлического разрушения вследствие различных скоростей расширения содержимого и системы герметизации в принимаемом температурном диапазоне. Величины свободного объема для обеспечения необходимого расширения могут быть определены правилами для перевозки других опасных грузов с аналогичными свойствами (п. 613.4 TS-G-1.1).

2.4.8-С1. Под несанкционированными действиями понимаются действия как посторонних лиц, так и персонала. Конструкция упаковки должна предусматривать замки, запоры, защитные

крышки, препятствующие открытию клапанов, вентилей без предварительного снятия таких устройств специальным инструментом, т. е. должна быть защищена конструктивно. Целесообразно также проводить опечатывание клапанов или замков.

2.4.8-С2. Замки – это, вероятно, один из лучших методов предотвращения несанкционированного открытия клапанов; они могут использоваться непосредственно, чтобы запирать закрытый клапан или могут быть использованы на крышке или покрытии, предохраняющими доступ к клапану. Хотя опечатывание может использоваться для индикации того, что клапан не был использован, оно не может предотвращать несанкционированное действие (п. 614.1 TS-G-1.1).

2.4.9-С1. См. справки 1.2.8-С1 – С2 настоящего Руководства.

2.4.10-С1. См. справки 1.3.3-С1 – 1.3.3.7-С2 настоящего Руководства.

2.4.11-С1. Ограничения температуры поверхности необходимы при перевозке воздушным транспортом ввиду трудности обеспечения достаточного свободного пространства вокруг упаковки и ограничения вентиляции грузовых отсеков воздушных судов.

2.4.11-С2. Ограничения температуры поверхности упаковки необходимы для защиты смежного груза от возможного повреждения и персонала, обслуживающего упаковки, во время погрузки и выгрузки. Это требование особенно ограничительно для перевозки по воздуху из-за трудности обеспечения необходимого свободного пространства вокруг упаковок. По этой причине положения п. 2.4.11 (дефис 1) НП-053-04 (п. 617 Правил МАГАТЭ-96) всегда применяются к воздушному способу транспортирования, в то время как для других способов перевозки могут применяться другие, менее жесткие температурные пределы для поверхностей в условиях исключительного использования (см. п. 662 Правил МАГАТЭ-96 и справки 2.9.10-С3 – 2.9.10-С6 настоящего Руководства). Если во время перевозки температура окружающей среды в экстремальных условиях превысит 38°С (см. п. 618 Правил МАГАТЭ-96), температурный предел для доступной поверхности не применяется (п. 617.1 TS-G-1.1).

2.4.11-С3. В расчет могут приниматься барьеры или экраны, предназначенные для защиты людей, без необходимости подвергать эти барьеры или экраны какому-либо испытанию (п. 617.2 TS-G-1.1).

2.4.11-С4. Диапазон изменения температуры окружающей среды -40°С...+55°С охватывает предельные значения, встречающиеся во время транспортирования по воздуху, и является диапазоном, требуемым Международной организацией гражданской авиации, ИКАО (ICAO), [35] для упаковочных комплектов с любыми опасными грузами, за исключением "грузов, освобожденных ИКАО" и предназначенных для авиаперевозки (п. 618.1 TS-G-1.1).

2.4.11-С5. При конструировании системы герметизации следует анализировать влияние максимальных значений температуры окружающей среды на результирующую температуру поверхности, на содержимое, на термические напряжения и изменение давления для обеспечения удержания РМ (п. 618.2 TS-G-1.1).

2.4.11-С6. Это требование аналогично тому, что выдвигается ИКАО [35] для упаковок, содержащих определенный опасный жидкий материал, предназначенный для перевозки по воздуху. В Правилах положение расширено, чтобы охватывать все формы РМ (п. 619.1 TS-G-1.1).

2.4.11-С7. Следует учитывать уменьшение давления в связи с высотой во время полета (см. п. 577.1 TS-G-1.1). Перепад давления, который возникает при увеличении высоты, следует принимать во внимание при конструировании упаковки. Минимальное внешнее давление 5 кПа – это давление, которое должно учитываться проектировщиком (требование взято из соображения разгерметизации самолета на максимальной для гражданской авиации высоте полета с учетом коэффициентов запаса) (п. 619.2 TS-G-1.1).

2.5. Требования к освобожденным упаковкам

2.5.1-С1. Фактически, освобожденные упаковки должны отвечать только общим требованиям к упаковкам и упаковочным комплектам.

2.5.1-С2. Конкретных количественных требований к освобожденным упаковкам не предъявляется.

2.5.1-С3. См. справку 5.5.1-С1 настоящего Руководства.

2.5.1-С4. Освобожденные упаковки – это упаковки, в которых разрешенное радиоактивное содержимое ограничено такими низкими уровнями, что потенциальный риск незначителен, и, следовательно, не требуется никаких испытаний целостности системы герметизации или защиты (см. также справки 5.5.4-С1 – 5.5.4-С4 настоящего Руководства) (п. 515.1 TS-G-1.1).

2.6. Требования к промышленным упаковкам

2.6-С1. В соответствии с радиологической градацией материалов НУА и ОПРЗ три типа промышленных упаковок имеют различные функции безопасности. В то время как упаковки типа ПУ-1 просто удерживают свое радиоактивное содержимое в обычных условиях перевозки, упаковки

типа ПУ-2 и типа ПУ-3 предотвращают выход и распространение их содержимого и потерю защиты при нормальных условиях перевозки, которые по определению (см., например, п. 106 Правил МАГАТЭ-96), включают незначительные происшествия (в той степени, как требования к испытаниям представляют эти условия). Упаковки типа ПУ-3, кроме того, обеспечивают ту же целостность упаковки, что и упаковки типа А, предназначенные для перевозки твердых материалов (п. 621.1 TS-G-1.1).

2.6-С2. Ни требования Правил к конструкции промышленных упаковок, ни требования ООН к конструкции упаковок III группы не рассматривают упаковки, как сосуды, работающие под давлением. Только те сосуды, работающие под давлением, объем которых менее чем 450 л в случае жидкого содержимого и менее чем 1000 л в случае газообразного содержимого, могут считаться упаковками. Сосуды, работающие под давлением, с большими объемами определены как резервуары, для которых пп. 625 и 626 Правил МАГАТЭ-96 обеспечивают сравнимые уровни безопасности. Если сосуды, работающие под давлением, используются как промышленные упаковки, следует принимать во внимание конструкционные принципы соответствующих стандартов для таких сосудов при выборе материалов, правил конструирования (расчетов), требований к обеспечению качества при изготовлении и использовании упаковки (например, проведение испытаний на давление независимыми инспекторами). Для сосудов, работающих под давлением, обычно выбирается сравнительно большая толщина стенок, чтобы обеспечивать безопасность при внутреннем рабочем и испытательном давлении. Давление в конструкции выше, чем необходимо, чтобы охватить рабочие условия, соответствующие давлению пара при максимальной температуре, может обеспечивать запас прочности при непредвиденных инцидентах и даже авариях, определяя выбор большей толщины стенок. В этом случае может не возникать необходимость проводить испытания на свободное падение и испытание на укладку штабелем, а скорее испытание на давление могло бы быть достаточным. Тем не менее необходимо обеспечивать безопасность вспомогательного оборудования (клапанов и т.п.) при воздействии механических нагрузок, например, за счет использования дополнительных защитных конструкций (п. 621.2 TS-G-1.1).

2.6-С3. Сосуды, работающие под давлением, вместимостью менее 450 л для жидкого содержимого и 1000 л для газообразного содержимого, разработанные для давления 265 кПа (см. п. 2.6.4 НП-053-04 и п. 625.в Правил МАГАТЭ-96), могут обеспечивать адекватный уровень безопасности и, следовательно, не должны подвергаться испытаниям для типа ПУ (IP). Все меры предосторожности, определенные соответствующими кодами (стандартами) для сосудов, работающих под давлением, приняты во внимание и применяются по обстоятельствам (п. 621.3 TS-G-1.1).

2.6-С4. Примером такого применения могут служить сосуды, работающие под давлением, используемые для перевозки гексафторида урана UF_6. Эти сосуды разработаны для давления, значительно более высокого, чем то, которое может возникнуть в условиях нормальной транспортирования и обслуживания, и, следовательно, по сути, защищены от механических нагрузок (п. 621.4 TS-G-1.1).

2.6-С5. Требование о свободном объеме (см. п. 2.8.15 НП-053-04 и п. 647 Правил МАГАТЭ-96) не определено как требование для промышленных упаковок. Тем не менее при наличии жидкого содержимого или твердого содержимого, такого как UF_6, который может стать жидким при нагреве, следует предусмотривать достаточный свободный объем, как указано в пп. 2.8.15 НП-053-04 и 647 Правил МАГАТЭ-96, для предотвращения разрыва системы герметизации. Такой разрыв может произходить в случае недостаточного свободного объема, особенно в результате расширения содержимого при изменении температуры (п. 621.5 TS-G-1.1).

2.6.1-С1. Промышленные упаковки типа ПУ-1 должны отвечать только общим требованиям к упаковкам и упаковочным комплектам.

2.6.1-С2. Конкретных количественных требований к промышленным упаковкам типа ПУ-1 не предъявляется.

2.6.2-С1. Соображение о выходе содержимого из упаковок типа ПУ-2 налагает на упаковку функции системы герметизации при нормальных условиях перевозки. Относительное упрощение при отсутствии выхода и распространения РМ возможно благодаря немобильному характеру некоторых материалов радиоактивного содержимого НУА и ОПРЗ и ограниченным удельным активностям и поверхностным загрязнениям (п. 622.1 TS-G-1.1).

2.6.2-С2. Максимально допустимая скорость утечки в нормальных условиях перевозки для упаковок типа А не определялась в Правилах количественно, но всегда требовалась на практике (п. 646.2 TS-G-1.1).

2.6.2-С3. Сложно рекомендовать единственный метод проведения испытаний, охватывающий широкий набор существующих упаковочных комплектов и их содержимого. Возможно использование качественных подходов, в зависимости от упаковочного комплекта и радиоактивного содержимого. На практике предпочтение отдается методу испытания путем создания максимального перепада давления, который определяется исходя из типа содержимого и ожидаемых внешних условий (п. 646.3 TS-G-1.1).

2.6.2-С4. Для твердого, гранулированного и жидкого содержимого одним из методов удов-

летворять требованию "никакой утечки или рассеяния" служит метод визуальной проверки упаковки, содержащей нерадиоактивный контрольный материал, после завершения вакуумного или другого соответствующего испытания для того, чтобы определить был ли выход содержимого. В случае использования в качестве индикатора жидкостей может быть применен абсорбирующий материал. Таким образом, тщательная визуальная инспекция упаковки может подтвердить, что целостность сохранена и никакой утечки не возникало. Другой метод, приемлемый в некоторых случаях, – это взвешивание упаковки до и после вакуумного испытания для определения, имела ли место какая-либо утечка (п. 646.4 TS-G-1.1).

2.6.2-C5. Для газообразного содержимого визуальная проверка вряд ли будет удовлетворительной, и могут быть использованы такие методы, как метод определения всасывания или метод опрессовки с легко определяемым газом (или летучей жидкостью, создающей присутствие газообразного вещества). Тщательная визуальная инспекция упаковочного комплекта может подтвердить, что целостность сохранена и никакого пути утечки не существует. Другим способом обнаружения мог бы быть простой пузырьковый метод (п. 646.5 TS-G-1.1).

2.6.2-C6. См. справку 2.6-C1 настоящего Руководства.

2.6.2-C7. Причиной для введения категории материалов НУА в Правила МАГАТЭ было существование твердых материалов со столь низкой удельной активностью, что крайне маловероятно, чтобы при обстоятельствах, возникающих при перевозке, большое количество этих материалов попало в тело человека, вызвав значительную радиационную опасность. Урановые и ториевые руды, их физические и химические концентраты представляют собой материалы, относящиеся к указанной категории. Эта концепция была расширена для включения других твердых материалов, на основе модели, предполагающей крайне маловероятным нахождение человека в пыльной атмосфере столь долго, чтобы вдохнуть более чем 10 мг материала. Если удельная активность материала такова, что поглощенная масса эквивалентна поглощенной активности, предполагаемой для человека, вовлеченного в среднюю аварию с упаковкой типа А, а именно 10^{-6} A_2, то полагается, что этот материал при перевозке не будет представлять опасность больше чем опасность при перевозке упаковки типа А. Это дает предельное значение 10^{-4} A_2/г для материалов НУА (п. 226.1 TS-G-1.1).

2.6.2-C8. Для упаковочного комплекта типа ПУ-2, предназначенного для жидкости, см. справки 2.6-C2 ÷ 2.6-C5 настоящего Руководства. Для упаковочного комплекта типа ПУ-2, предназначенного для газа, см. справки 2.6-C2 ÷ 2.6-C4 настоящего Руководства. Для упаковочного комплекта типа ПУ-2, предназначенного для материала НУА-III, см. справку 2.1.1-C3 настоящего Руководства (п. 622.3 TS-G-1.1).

2.6.2-C9. Методы оценки потери защиты варьируются от одного изготовителя до другого. Это может приводить к расхождениям в оценке способности упаковки удовлетворять требованиям п. 622.b) Правил МАГАТЭ-96. Один путь преодоления этой проблемы может состоять в определении максимальной площади поверхности упаковки, на которой оценивается уровень поверхностного излучения. Таким образом, например, индивидуальные измерения могут выполняться на поверхностях, не превышающих 10% от общей площади поверхности упаковки. Поверхность упаковки может быть размечена, чтобы определять разбиения, которые нужно учитывать, и тесты, выполняемые с тестовым источником, пригодные для упаковки (т.е. Co-60 или Na-24 для упаковок общего использования или специфических нуклидов для определенной конструкции упаковки). Это может потребоваться для учета влияния повышенных локальных уровней излучения при оценке потери защиты (п. 622.6 TS-G-1.1).

2.6.2-C10. Альтернативное использование упаковочных комплектов ООН допускается, поскольку Рекомендации ООН [21] содержат сравнимые общие конструкционные требования и испытания на работоспособность, которые были обоснованы как обеспечивающие тот же уровень безопасности. В то время как в Рекомендациях ООН герметичность служит одним из критериев испытаний на работоспособность, это не относится к требованиям Правил ООН относительно защиты, требующей специального внимания, при использовании упаковочных комплектов ООН (п. 624.1 TS-G-1.1).

2.6.2-C11. Поскольку упаковочные комплекты ООН групп I и II требуют тех же или даже более жестких стандартов испытаний на работоспособность, чем применяемые для упаковок типа ПУ-2, требования к испытаниям упаковок типа ПУ-2 автоматически удовлетворяются всеми упаковочными комплектами ООН групп I и II, кроме того, что заявлено в п. 624.3 TS-G-1.1. Это означает, что упаковочные комплекты, маркированные X или Y в соответствии с системой ООН, потенциально пригодны для перевозки материалов НУА (LSA) и ОПРЗ (SCO), требующих использования упаковки типа ПУ-2, если не необходимости в специальной защите. Для этих упаковок следует обеспечивать соответствие между перевозимым радиоактивным содержимым и содержимым, использованным при испытаниях упаковочных комплектов ООН, включая рассмотрение максимальной относительной плотности, массы брутто, максимального общего давления, давления пара и формы содержимого (п. 624.2 TS-G-1.1).

2.6.2-C12. Упаковочные комплекты ООН групп I и II, т.е. упаковочные комплекты, соответствующие спецификациям, приведенным в главе 9 Рекомендаций ООН по перевозке опасных грузов

[21], могут быть использованы как упаковки типа ПУ-2 при условии отсутствия потерь или рассеяния содержимого в течение и после испытаний ООН. Однако в соответствии со стандартом ООН легкая утечка из-под запирающих устройств при ударе допустима при условии, что далее утечка не происходит. Это допущение не соответствует требованию о полном отсутствии утечки или рассеяния содержимого. Кроме того, обеспечив соответствие содержимого, планируемого к перевозке, содержимому, разрешенному для конкретного упаковочного комплекта, не следует предъявлять специальных требований к защите. Применимые ограничения могут быть определены из маркировки ООН, которая должна быть указана на упаковочных комплектах ООН (п. 624.3 TS-G-1.1).

2.6.2-С13. Потерю защиты следует оценивать на основе измерений, сделанных до и после испытаний, и результирующие данные следует сравнивать для определения, удовлетворяет упаковка требованиям или нет.

2.6.2-С14. Промышленные упаковки типа ПУ-2 рассчитываются не на все условия испытаний упаковок типа А в связи с меньшей способностью к рассеянию содержимого таких упаковок (материалы НУА), чем содержимого упаковок типа А.

2.6.3-С1. Рассмотрение выхода содержимого из упаковок типа ПУ-3 предполагает такое же функционирование системы герметизации, как для упаковок типа А с твердыми РМ, с учетом более высоких значений удельной активности, которые могут перевозиться в упаковке типа ПУ-3, и отсутствия оперативного контроля в условиях не исключительного использования. В случае жидкого материала НУА для того, чтобы избежать гидравлического разрушения системы герметизации, дополнительно следует предусматривать достаточное свободное пространство. Эти требования согласуются со ступенчатым подходом Правил (см. справку 2.6.3-С2, а также справку 2.6.2-С2 настоящего Руководства).

2.6.3-С2. См. справку 2.6.1-С2, а также справку 2.6.2-С3 настоящего Руководства.

2.6.3-С3. Для упаковки типа ПУ-3, предназначенной для жидкости, см. пп. 621.2-621.5 TS-G-1.1 (см. справки 2.6-С2 ÷ 2.6-С5 настоящего Руководства). Для упаковки типа ПУ-3, предназначенной для газа, см. пп. 621.2-621.4 TS-G-1.1 (см. справки 2.6-С2 ÷ 2.6-С4 настоящего Руководства). Для упаковки типа ПУ-3, предназначенной для материала НУА-III (LSA-III), см. справку 2.1.1-С3 настоящего Руководства (п. 623.3 TS-G-1.1).

2.6.3-С4. В общем виде требования к упаковкам типа ПУ-3 соответствуют требованиям к упаковкам типа А для твердого РМ. При перевозке в упаковке ПУ-3 жидкого РМ (жидкие материалы НУА) не требуется выполнение дополнительных требований, как для упаковок типа А с жидким содержимым. Это обусловлено ограничением удельной активности жидких материалов НУА.

2.6.4-С1. В данном пункте Правил речь идет о резервуарах в виде контейнеров-цистерн или контейнеров-баков.

2.6.4-С2. Безопасность контейнеров-баков, разработанных для перевозки ОГ в соответствии с международными и национальными правилами, подтверждена для условий обслуживания и перевозки, в некоторых случаях даже для условий тяжелых аварий (п. 625.1 TS-G-1.1).

2.6.4-С3. Общие конструкционные критерии для упаковочных контейнеров-баков в отношении безопасного обслуживания, штабелирования и транспортирования могут быть выполнены, если опорная конструкция (рама) разработана в соответствии со стандартом ISO 1496-3 [36]. Этот стандарт определяет опорный каркас, к которому резервуар прикрепляется таким образом, чтобы все статические усилия, возникающие в процессе обслуживания, складирования и транспортирования, не приводили к возникновению неприемлемых напряжений в оболочке резервуара (п. 625.2 TS-G-1.1).

2.6.4-С4. Динамические усилия в условиях нормальной перевозки рассматриваются в приложении V TS-G-1.1 (см. приложение II к настоящему Руководству) (п. 625.3 TS-G-1.1).

2.6.4-С5. Контейнеры-баки, разработанные в соответствии с ISO 1496-3, полагаются, по крайней мере, быть эквивалентными тем, которые сконструированы по стандартам, предписанным рекомендациями по перевозке резервуаров несколькими видами транспорта в Рекомендациях ООН по перевозке опасных грузов [21] (п. 625.4 TS-G-1.1).

2.6.4-С6. Требования о сохранении защиты в п. 2.6.4. в) НП-053-04 (п. 625.с) Правил МАГАТЭ-96) выполняются, если после испытаний защитный материал остается на месте, демонстрирует отсутствие существенных трещин и допускает увеличение уровня излучения, оцененного или измеренного при упомянутых условиях, не более, чем на 20%. Если контейнер-бак оборудован рамой ISO, расчеты (измерения) уровня излучения могут учитывать поверхности каркаса как соответствующие поверхности для расчетов (измерений) (п. 625.5 TS-G-1.1).

2.6.5-С1. Чтобы объяснять эквивалентность стандартов для резервуаров и стандартов, определенных в п. 625 Правил МАГАТЭ-96 (Рекомендации ООН, глава 12 для баков-контейнеров), следует обращаться к Европейскому соглашению о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ), издание 1995 [16], где в приложении В.1А заданы требования для автоцистерн, которые в основном обеспечивают тот же уровень безопасности, что и требования для контейнеров-баков в приложении В.1В. Аналогичное сравнение можно найти в Европейском соглашении о меж-

дународной железнодорожной перевозке (RID) [37] для железнодорожных цистерн и контейнеров-баков в приложениях X и XI Соглашения (п. 626.1 TS-G-1.1).

2.6.6-C1. Грузовые контейнеры, разработанные и испытанные по ISO 1496-1 [38] и согласованные в соответствии с Международной конвенцией по безопасным контейнерам (CSC) [39], доказали свою пригодность в ходе использования миллионов таких контейнеров для обеспечения безопасного обслуживания и перевозки в обычных условиях. Однако ISO 1496-1 рассматривает проблемы в отношении конструкции и испытаний, в то время как Конвенция CSC главным образом касается обеспечения того, чтобы контейнеры были безопасными при перевозке, правильно обслуживались и были пригодны для международных перевозок наземным и водным транспортом. Испытания, определенные в CSC, не эквивалентны испытаниям, предписанным в ISO 1496-1 (п. 627.1 TS-G-1.1).

2.6.6-C2. Грузовые контейнеры, разработанные и испытанные по ISO 1496-1, ограничиваются перевозкой твердых веществ, поскольку они не считались пригодными для свободных жидкостей или жидкостей в несертифицированных упаковочных комплектах. Следует рассматривать конструкционные детали контейнера для проверки соответствия системы герметизации установленным требованиям. Только закрытые грузовые контейнеры могут быть использованы для демонстрации соответствия требованиям, предъявляемым к системам герметизации упаковочных комплектов типа ПУ-3 и типа ПУ-2 относительно отсутствия утечки и рассеяния содержимого. Для демонстрации этого необходим мониторинг в процессе и после испытаний. Закрытые грузовые контейнеры включают также грузовые контейнеры с отверстиями наверху, при условии, что в течение транспортирования они надежно закрыты (п. 627.2 TS-G-1.1).

2.6.6-C3. Для грузовых контейнеров должна быть демонстрироваться их способность к сохранению и удержанию содержимого при ускорениях в обычных условиях перевозки, поскольку стандарт ISO по испытаниям грузовых контейнеров не включает динамических испытаний (п. 627.3 TS-G-1.1).

2.6.6-C4. Необходимо внимание к тому, чтобы элементы крепления, использованные внутри грузового контейнера для фиксации содержимого могли выдерживать нагрузки, типичные для обычных условий транспортирования (см. приложение V TS-G-1.1 (приложение II к настоящему Руководству) (п. 627.4 TS-G-1.1).

2.6.6-C5. Руководство по предотвращению утечки или рассеяния содержимого, а также сохранению целостности защиты см. в пп. 622.1 – 622.7 TS-G-1.1 (см. справки 2.6.2-C1, 2.6.2-C8, 2.6.2-C9, 2.6.6-C6 – 2.6.6-C8 настоящего Руководства) (п. 627.5 TS-G-1.1).

2.6.6-C6. Для упаковок, демонстрирующих малую внешнюю деформацию и незначительное внутреннее перемещение радиоактивного содержимого или защиты, тщательное визуальное обследование может обеспечивать достаточную гарантию того, что поверхностный уровень излучения не изменился (п. 622.4 TS-G-1.1).

2.6.6-C7. Если представляется, что уровень поверхностного излучения мог вырасти, следует выполнять тесты по мониторингу для гарантии, что увеличение уровня излучения не превышает 20% (п. 622.5 TS-G-1.1).

2.6.6-C8. Потерю защиты следует оценивать на основе измерений, выполненных до и после испытаний, определенных в п. 622 Правил МАГАТЭ-96, а результирующие данные следует сравнивать для определения удовлетворяет ли упаковка требованию или нет (п. 622.7 TS-G-1.1).

2.6.6-C9. В НП-053-04 отсутствует определение понятия "грузовой контейнер". Оно соответствует Правилам МАГАТЭ-96, п. 223.

2.6.7-C1. Контейнеры средней грузоподъемности для массовых грузов, утвержденные на основании главы 16 Рекомендаций ООН по перевозке опасных грузов [21], считаются эквивалентными упаковкам, разработанным и испытанным в соответствии с требованиями к упаковкам типа ПУ-1 и типа ПУ-2, за исключением каких-либо требований к защите. Альтернативное использование контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов ограничивается только конструкциями из металла, потому что они обеспечивают наилучшее соответствие требованиям к упаковкам типа ПУ-2 и типа ПУ-3. Потребность в других типах конструкции не была выявлена, и они не представляются подходящими для перевозки РМ (п. 628.1 TS-G-1.1).

2.6.7-C2. Соответствие требованиям, предъявляемым к конструкции и проведению испытаний упаковок типа ПУ-2 и типа ПУ-3, за исключением каких-либо требований к защите, может быть продемонстрировано для контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов, если они соответствуют положениям, основанным на Рекомендациях ООН по перевозке опасных грузов [21], глава 16, с дополнительным требованием для контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов емкостью более 0,45 $м^3$ о выполнении испытания со свободным падением в наиболее повреждаемом положении (а не только на основание). Эти рекомендации включают сравнимые требования к конструкции и испытаниям, а также к утверждению конструкции компетентным органом (п. 628.2 TS-G-1.1).

2.7. Требования к упаковкам, содержащим гексафторид урана

2.7.1-C1. Гексафторид урана представляет собой радиоактивный материал, обладающий значительной химической опасностью. Однако Рекомендации ООН требуют, чтобы радиоактивная природа вещества имела приоритет, а химическая опасность рассматривалась как дополнительная к радиационному риску.

2.7.1-C2. В зависимости от степени обогащения и общего количества делящегося урана с точки зрения радиационной защиты гексафторид урана может транспортироваться в освобожденных, промышленных упаковках, упаковках типа А или типа В. Таким образом, радиационные и ядерные свойства гексафторида урана регламентированы соответствующими пунктами Правил. Однако многие требования к гексафториду урана, внедренные стандартом ISO 7195 и Правилами, относятся не к радиоактивной опасности и опасности деления, вызываемым гексафторидом урана, а связываются с физическими свойствами и химической токсической опасностью материала, если он выйдет в атмосферу и прореагирует с водой или водяным паром. Кроме того, поскольку эти упаковочные комплекты находятся под давлением в период погрузки и разгрузки, они должны подчиняться требованиям, применяемым к сосудам, работающим под давлением, несмотря на то, что они не находятся под давлением в условиях нормальной перевозки. Требования, определенные в пп. 2.7.1 – 2.7.4 НП-053-04 (пп. 629-632 Правил МАГАТЭ-96), сфокусированы на этих проблемах, а не на радиационной опасности и опасности деления (опасности по критичности). Другие применимые требования Правил, относящиеся к радиологической и делящейся природе гексафторида урана, упакованного и перевозимого, обнаруживаемые повсеместно, жизненно важны для обеспечения безопасности при обслуживании и перевозке, и поэтому их следует принимать во внимание в отношении как упаковочного комплекта, так и перевозки гексафторида урана (п. 629.1 TS-G-1.1).

2.7.2-C1. Уровень освобождения 0,1 кг дает гарантии от взрыва небольших, незащищенных цилиндров с UF_6 [40]. Количество 0,1 кг значительно ниже предела токсической опасности, который равен 10 кг, и основан на [41, 42] (п. 630.1 TS-G-1.1).

2.7.2-C2. Критерии приемлемости, указанные в пп. 630(a), (b) и (c) Правил МАГАТЭ-96, изменяются в зависимости от типа среды, которая воздействует на упаковку. Для испытания на давление, специфичного для упаковок с гексафторидом урана (п. 718), требование об отсутствии утечки и неприемлемых напряжений может быть удовлетворено гидростатическим испытанием цилиндра, где течи могут быть обнаружены путем наблюдения утечки воды из цилиндра. Клапаны и другое вспомогательное оборудование в это испытание на давление (ISO 7195) не включены (п. 630.2 TS-G-1.1).

2.7.2-C3. Для испытания на свободное падение (п. 722 Правил МАГАТЭ-96) приемлемость может быть подтверждена выполнением испытания на утечку газа, соответствующего процедуре, давлению и чувствительности, определенным в стандарте ISO 7195 для испытания на утечку клапанов (п. 630.3 TS-G-1.1).

2.7.2-C4. Критерии приемлемости, применяемые в течение или после теплового испытания упаковки, содержащей гексафторид урана, (п. 728 Правил МАГАТЭ-96) основаны на стремлении не допускать разрыва оболочки цилиндра. Относительно допустимой протечки необходимым критерием приемлемости могла бы быть демонстрация "отсутствия разрыва" цилиндра, если не учитывается утечка через вспомогательное оборудование упаковочного комплекта, например через клапаны и около них. В соответствии с философией, применяемой как руководство для принципа "никакого разрыва системы герметизации", использованного в п. 2.9.2 Правил (пункт 657 Правил МАГАТЭ-96), разрыв или существенное повреждение оболочки цилиндра с гексафторидом урана были бы неприемлемыми, но незначительная утечка через клапан или около него, либо у другой инженерной проходки через стенку цилиндра, может быть приемлемой при условии утверждения компетентным органом (п. 630.4 TS-G-1.1).

2.7.2-C5. Может быть трудно, если не невозможно, продемонстрировать соответствие требованиям п. 2.7.2 НП-053-04 (пункт 630 Правил МАГАТЭ-96) относительно утечки, рассеяния, разрыва и напряжений на основании испытаний упаковочных комплектов с гексафторидом урана из-за значительной угрозы для окружающей среды, здоровья и безопасности. Таким образом, демонстрация соответствия может быть возложена на заменитель гексафторида урана в испытаниях в комбинации со ссылками на предшествующие удовлетворительные испытания, лабораторные испытания, результаты расчетов и мотивированные аргументы, как сформулировано в п. 3.1.1 НП-053-04 (п. 701 Правил МАГАТЭ-96) (п. 630.5 TS-G-1.1).

2.7.2-C6. Для демонстрации соответствия упаковок, содержащих гексафторид урана, требованиям п. 2.7.2.в) НП-053-04 (п. 630.c) Правил МАГАТЭ-96) разработчику следует принимать во внимание влияние параметров, способных изменять теплофизические условия гексафторида урана и упаковочного комплекта, возможные при тепловом испытании. Разработчику следует как минимум рассматривать, следующее:

(a) Наиболее неблагоприятная ориентация упаковки. Изменение ориентации упаковки может привести к другому распределению трех физических фаз гексафторида урана

(твердое тело, жидкость и газ) в упаковке и различным последствиям для внутреннего давления [43, 44].

(b) Весь ряд допустимых значений коэффициентов заполнения объема. Давление в цилиндре может сложным образом зависеть от степени, до которой он заполнен. Например, при очень малых коэффициентах заполнения твердый гексафторид урана может плавиться и испариться быстрее, ускоряя тем самым рост давления в упаковке [45].

(c) Фактические свойства конструкционных материалов при высоких температурах. Например, значительное снижение прочности стали на разрыв происходит при температурах выше 500°C [46].

(d) Присутствие металлургических дефектов в конструкционном материале может приводить к разрыву упаковки. Это должно зависеть от размера дефекта. Максимальный размер дефекта в конструкции следует выводить из результатов анализа конструкции, процесса производства и приемочных критериев пригодности.

(e) Утончение стенки цилиндра или других элементов упаковочного комплекта, вызванное коррозией, может приводить к снижению работоспособности. Разработчику следует устанавливать приемлемую минимальную толщину стенки, а также разрабатывать и применять методы для определения толщины стенки как для незаполненного, так и для заполненного эксплуатируемого цилиндра [47, 48] (п. 630.6 TS-G-1.1).

2.7.3-C1. Это положение включено, потому что маловероятно предоставить устройство для сброса давления, которое бы было достаточно надежным для обеспечения необходимого уровня утечки и соответствующим образом закрывалось при снижении давления до приемлемого уровня (п. 631.1 TS-G-1.1).

2.7.4-C1. В соответствии с данным пунктом Правил компетентный орган может выдать сертификат-разрешение на конструкцию упаковки, сконструированную для перевозки 0,1 кг или более гексафторида урана и которая не рассчитана на испытание давлением 2,76 МПа, но рассчитана на испытание давлением 1,38 МПа, по крайней мере. Это позволяет использовать старые конструкции упаковок и иметь определенный период для перехода на новые требования для всех упаковок. При международной перевозке это возможно, только при условии многостороннего согласования (утверждения) конструкции упаковки. Разработчику (грузоотправителю) следует подготавливать комплект документов, обосновывающих безопасность, для обоснования такого сертификата-разрешения (см. также п. 632.1 TS-G-1.1).

2.7.4-C2. Считалось, что очень большие упаковки, предназначенные для 9000 кг гексафторида урана, которые перевозятся без дополнительных теплоизолирующих защитных контейнеров, вероятно, способны иметь достаточную теплоемкость, чтобы выдержать воздействие теплового испытания согласно п. 728 Правил МАГАТЭ-96 без разрыва системы герметизации. Однако проведенные к настоящему времени испытания и расчетные обоснования не могут однозначно гарантировать это. Например, некоторые испытания и расчеты показывают, что такая упаковка выдерживает испытание на пожар в течение 29, а не 30 мин. Учитывая это, а также то, что имеется очень большое количество таких упаковок, данный пункт Правил позволяет компетентному органу утверждать (выдавать сертификат-разрешение) на конструкцию такой упаковки. При международной перевозке необходимо многостороннее утверждение такой конструкции. Разработчику (грузоотправителю) следует подготавливать комплект документов, обосновывающих безопасность, для получения такого сертификата-разрешения. Подобный подход позволяет использовать старые конструкции упаковок и иметь определенный период для перехода на новые требования для всех упаковок (п. 632.2 TS-G-1.1).

2.7.4-C3. См также справку 2.7.2-C1 настоящего Руководства.

2.8. Требования к упаковкам типа А

2.8.1-C1. Упаковки типа А должны отвечать общим требованиям к упаковкам и дополнительно специальным требованиям к упаковкам типа А.

2.8.2-C1. Минимальный размер 10 см был принят по ряду причин. Очень маленькая упаковка может затеряться. Чтобы соответствовать международной практике транспортирования, этикетки на упаковках должны быть в форме квадрата размером 10 см. Для нанесения такой этикетки, требуется, чтобы размеры упаковки были 10 см, по крайней мере (п. 634.1 TS-G-1.1).

2.8.3-C1. Требование пломбирования упаковки призвано как предупреждать желание вскрыть упаковку, так и создавать условия, чтобы получатель упаковки знал, был ли несанкционированный доступ к содержимому и (или) внутреннему упаковочному комплекту и извлекались ли они в процессе перевозки. Пока пломба остается целой, получатель имеет гарантию, что содержимое является именно тем, которое указано на этикетке; если пломба повреждена, то получатель будет предупрежден о том, что нужна повышенная осторожность при обслуживании, особенно при открытии упаковки (п. 635.1 TS-G-1.1).

2.8.3-C2. Тип и масса упаковки будут определять тип пломбы, который необходимо исполь-

зовать, но разработчикам следует гарантировать, что выбранный метод таков, что пломба не будет испорчена в ходе нормального обращения с упаковкой при перевозке (п. 635.2 TS-G-1.1).

2.8.3-C3. Существует много способов опечатывания, но перечисленные типичны для методов, используемых для упаковок РМ:

(a) Если упаковочный комплект представляет собой картонную коробку, для опечатывания может быть применена липкая или самоклеящаяся лента, которая не может быть использована повторно (внешний упаковочный комплект и(или) лента будут существенно повреждены при открытии).

(b) Скрученные металлические пломбы могут быть использованы при закрытии бочек, свинцовых или стальных емкостей и небольших ящиков. Материал пломбы одевается на концы шнура или проволоки, и на них выпрессовывается фирменный знак установленного образца. Следует обеспечивать, чтобы сам по себе метод фиксации запирающего устройства был независим от пломбы.

(c) Висячие замки могут быть использованы на деревянных ящиках, а также для стальных или свинцово-стальных упаковок. Элемент, в виде просверленного столба внедряется в конструкцию упаковочного комплекта или ящика так, чтобы после того, как замок пройдет в подготовленное отверстие, получать доступ внутрь упаковки было невозможно (п. 635.3 TS-G-1.1).

2.8.4-C1. За исключением резервуаров или упаковок, используемых как грузовые контейнеры, крепление упаковок, имеющих значительную массу по сравнению с массой транспортного средства, будет выполняться в общем случае с использованием стандартного оборудования, способного удерживать такие большие массы. Поскольку система крепления не должна ослаблять функции упаковки в нормальных и аварийных условиях перевозки, может возникать необходимость сконструировать элементы системы крепления упаковки так, чтобы они разрушались в первую очередь (обычно называется "слабое звено"). Это может быть выполнено, например конструированием узла крепления так, что он либо будет принимать только замковый штифт определенного максимального размера, либо будет крепиться шпильками, которые будут срезаться, или болтами, которые будут разрушаться при заданных напряжениях (п. 636.1 TS-G-1.1).

2.8.4-C2. Подъемные приспособления могут быть использованы и как элементы системы крепления, Однако если они используются таким образом, их следует конструировать для выполнения обеих функций. Раздельные подъемные элементы и элементы системы крепления следует ясно маркировать, чтобы показывать их конкретное назначение, если только они не разработаны так, что невозможно их альтернативное использование (например, подъемное приспособление крюкового типа не может быть нормально использовано для крепления) (п. 636.2 TS-G-1.1).

2.8.4-C3. Приспособления для подъема упаковки могут использоваться для раскрепления, но при условии, что они имеют такое предназначение и соответственно промаркированы.

2.8.4-C4. Можно также учитывать потенциальное направленное разрушение систем крепления так, чтобы транспортные рабочие были защищены в случае лобовых столкновений, в то время как упаковка защищена от чрезмерных боковых нагрузок при боковых ударах [49]. Подробности относительно рекомендуемых конструктивных соображений по упаковкам и системам их крепления см. в приложении V (см. приложение II к настоящему Руководству) (п. 636.3 TS-G-1.1).

2.8.5-C1. Компоненты упаковки типа А следует разрабатывать для температурного диапазона от -40 ... +70°C, который соответствует возможным колебаниям температуры окружающей среды в транспортном средстве или ином помещении, либо температурам упаковки, находящейся под воздействием прямых солнечных лучей. Этот диапазон охватывает условия, вероятные при обычной перевозке и транзитном хранении. Если возможен более широкий диапазон изменения внешней температуры в ходе перевозки или обращения с упаковкой или имеется значительное внутреннее тепловыделение, то это следует учитывать в конструкции. Некоторые аспекты, которые может понадобиться рассматривать, следующие:

- расширение(сжатие) элементов, относящихся к конструктивным или уплотняющим функциям;
- разложение или изменение состояния материалов в экстремальных условиях;
- свойства прочности на разрыв(пластичность) и прочность упаковки;
- конструкция защиты (п. 637.1 TS-G-1.1).

2.8.5-C2. Ограничение условий эксплуатации упаковки в более узком диапазоне температур проходит согласование с ГКО и органами государственного регулирования безопасности при выпуске сертификата-разрешения на конструкцию упаковки.

2.8.6-C1. Примеры способов крепления, которые могут быть пригодными:

- сварные швы;
- винтовая резьба;
- защелкивающиеся крышки;
- обжатие;
- вальцовка;

- зачеканивание;
- термоусадочные материалы;
- липкие ленты или клеи.

В зависимости от конструкции упаковки могут подходить и другие способы (п. 639.1 TS-G-1.1).

2.8.7-С1. Данное условие практически позволяет перевозить РМ особого вида в упаковках без серьезных требований к системе герметизации упаковки.

2.8.7-С2. В тех упаковках, где удержание радиоактивного содержимого достигается за счет использования РМ особого вида, следует обращать внимание на требования п. 5.2.2.б) НП-053-04 (п. 502(f) Правил МАГАТЭ-96) в отношении каждой перевозки (п. 640.1 TS-G-1.1).

2.8.8-С1. Функцией системы герметизации служит предотвращение потери или рассеяния радиоактивного содержимого из упаковки. Цель требования по этому пункту НП-53-04 – обеспечение удержания радиоактивного содержимого, даже если наружные компоненты упаковки повреждены или потеряны.

2.8.9-С1. Определенные материалы могут вступать в химические реакции и радиолитическое взаимодействие с некоторыми из веществ, предназначенных для перевозки в упаковках типа А. Может возникать необходимость в проведении испытаний, чтобы гарантировать невозможность повреждения системы герметизации как от самих реакций, так и от повышения давления вследствие этих реакций (п. 642.1 TS-G-1.1).

2.8.10-С1. Это требование направлено на предотвращение чрезмерного перепада давления, возникающего в упаковке, которая была заполнена при давлении воздуха на уровне моря (или ниже) и затем была перевезена наземным транспортом на более высокую отметку. Минимальное требование для упаковок, подверженных изменению давления воздуха из-за изменения высоты, соответствует перемещению с поверхности на уровне моря на высоту 4000 м. Если упаковка была закрыта на поверхности на уровне моря или ниже и затем перевезена наземным транспортом на эту высоту, то она должна выдерживать избыточное давление, вызванное изменением высоты так же, как и выдерживать изменение давления, вызванное поведением ее содержимого (п. 643.1 TS-G-1.1).

2.8.10-С2. Руководство относительно требований к удержанию радиоактивного содержимого, см. пп. 646.2-646.5 TS-G-1.1 (см. справки 2.6.2-С2 – 2.6.2-С5 настоящего Руководства) (п. 643.2 TS-G-1.1).

2.8.11-С1. Для предотвращения загрязнения, вызванного утечкой содержимого через клапаны, Правила требуют иметь какие-либо вторичные устройства или камеры (полости) для таких клапанов. В зависимости от специфики конструкции такое устройство или камера могут помочь в предотвращении несанкционированного открытия клапана или в случае утечки – выхода содержимого (п. 644.1 TS-G-1.1).

2.8.11-С2. Примеры устройств, которые могут быть пригодными:

- пустые заглушки на резьбовых клапанах с использованием прокладки;
- пустые фланцы на фланцевых клапанах с прокладками;
- специально разработанные крышки или камеры для клапана на прокладках, предназначенные для предотвращения любой утечки.

В зависимости от конструкции упаковки могут быть пригодны и другие методы (п. 644.2 TS-G-1.1).

2.8.12-С1. Для упаковок типа А, также как для упаковок типа ПУ-2 и типа ПУ-3, не указывается количественно допустимая утечка или рассеяние радиоактивного содержимого в нормальных условиях перевозки. Но это не значит, что подразумевается абсолютная герметичность упаковки. Методы проверки и степень герметичности могут быть различными.

2.8.12-С2. Для твердого и жидкого содержимого соответствие требованию предотвращать "утечку или рассеяние радиоактивного содержимого" может быть проверено на упаковке (содержащей пробный неактивный материал) вакуумным методом или другим методом с визуальной оценкой состояния упаковки и выхода содержимого. Для жидкостей в качестве индикатора могут использоваться поглощающие материалы. Например, для жидкостей и порошков создание разряжения 20 кПа может быть достаточным. Оценка также может проводиться взвешиванием упаковки до и после ваккуумирования.

2.8.12-С3. Для газообразного содержимого визуальный осмотр может быть недостаточен и могут использоваться метод высасывания или компрессионные методы с идентифицируемым пробным газом; могут быть рекомендованы также пузырьковые методы.

2.8.12-С4. Для упаковок с незначительными внешними деформациями после испытаний и незначительным перемещением содержимого внутри упаковки для оценки ослабления защитных свойств упаковки после испытаний может быть достаточен тщательный визуальный осмотр.

2.8.12-С5. Если результаты визуального осмотра свидетельствуют о вероятном увеличении уровня излучения, необходимы замеры уровней.

2.8.12-С6. Методы оценки потери (ослабления) защитных свойств могут быть различными,

что может приводить к расхождениям в результатах. В частности, для исключения расхождений следует четко определять участки поверхности упаковки, где оценивается уровень излучения.

2.8.12-С7. Конструкция и ограничения на содержимое упаковки типа А предельно ограничивают любой возможный радиационный риск. Данный пункт обеспечивает ограничения по утечке и повреждению защиты в условиях нормальной перевозки для гарантии безопасности (п. 646.1 TS-G-1.1).

2.8.12-С8. См. также справку 2.6.2-С2 настоящего Руководства.

2.8.12-С9. Рекомендации относительно потери целостности защиты см. в пп. 622.4 – 622.7 TS-G-1.1 (см. справки 2.6.6-С6 – 2.6.6-С8 настоящего Руководства) (п. 646.6 TS-G-1.1).

2.8.13-С1. Требование п. 645 Правил МАГАТЭ-96 главным образом направлено на обеспечение постоянного присутствия радиационной защиты вокруг РВ для минимизирования любого повышения уровня излучения на поверхности упаковки. Если радиационная защита представляет собой отдельное устройство, правильное крепление обеспечивает невозможность выхода системы герметизации, иначе как преднамеренно (п. 645.1 TS-G-1.1).

2.8.13-С2. Примеры элементов конструкций, которые могут быть пригодными:

- *шарнирные блокировочные устройства на крышках*;
- рама, окружающая радиационную защиту и присоединенная болтами, сваркой или с помощью замков;
- резьбовые защитные пробки.

В зависимости от конструкции упаковки могут использоваться другие методы (п. 645.2 TS-G-1.1).

2.8.14-С1. Существует большое количество международных и национальных стандартов (например [28, 30, 36, 38, 40, 50-52]), охватывающих широчайший диапазон конструкционных факторов и методов изготовления, таких как стандарты для сосудов, работающих под давлением, стандарты для сварки или стандарты герметичности, которые могут быть использованы в конструкции, изготовлении и испытании упаковок. Конструкторам и изготовителям следует (по возможности) работать по этим установленным стандартам, чтобы развивать и демонстрировать адекватный контроль в области общих конструкций и изготовления упаковок. Использование таких стандартов также означает, что процессы конструирования и изготовления упаковок правильно понимаются всеми ключевыми персонами, находящимися иногда на различных позициях и в различных государствах-членах МАГАТЭ, вовлеченных в различные фазы процесса транспортирования; самое важное – целостность упаковки меньше всего подходит для компромисса (п. 638.1 TS-G-1.1).

2.8.14-С2. Если предлагаются к использованию новые или новаторские конструкция, методы изготовления или испытания и отсутствуют соответствующие стандарты, конструктору, возможно, необходимо обсуждать предложения с компетентным органом для получения одобрения. Конструктору, компетентному органу или иным ответственным структурам следует уделять внимание разработке соответствующего стандарта, охватывающего любую новую конструкторскую концепцию, технологию изготовления или испытания, или материала, планируемого к применению (п. 638.2 TS-G-1.1).

2.8.15-С1. Учитывая, что жидкое содержимое более способно к выходу и рассеянию из упаковки, к упаковкам типа А, предназначенным для жидкостей, предъявляются дополнительные требования на способность сохранять герметичность и удерживать содержимое при некоторых аварийных нагрузках.

2.8.15-С2. В некоторых случаях, например, при возврате пустых упаковок, в упаковках типа В, может перевозиться остаточное радиоактивное содержимое с активностью до A_2, и в документации такая перевозка обозначается как перевозка упаковки типа А. Учитывая, что такие упаковки по сравнению с обычными упаковками типа А значительно прочнее, при этой перевозке не применяются требования к поглощающим материалам и первичной внутренней и вторичной наружной емкостям.

2.8.15-С3. Свободный объем – это пространство упаковки, заполненное газом, которое может быть занято жидким содержимым, расширяющимся из-за изменений в окружающей среде и условиях транспортирования. Адекватный свободный объем гарантирует, что система герметизации не подвергнется чрезмерному давлению вследствие расширения чисто жидкой системы, которая обычно полагается несжимаемой (п. 647.1 TS-G-1.1).

2.8.15-С4. При определении требуемого свободного объема необходимо учитывать оба предельных значения температуры (-40°С и +70°С) (см. п. 2.8.5 НП-053-04 и п. 637 Правил МАГАТЭ-96). При более низкой температуре давление может увеличиваться в результате расширения при переходных температурах, когда материал меняет свое состояние от жидкого к твердому. При более высокой температуре давление может увеличиваться в результате расширения или парообразования жидкого содержимого. Может потребоваться анализ для обеспечения того, чтобы не оставался чрезмерный свободный объем, так как это может вызвать неприемлемые динамические волны в упаковке в ходе транспортирования. Кроме того, волны или всплески могут происходить в ходе

операций по наполнению при работе с большими количествами жидкости, и конструкторам следует рассматривать эти аспекты для определенных конструкций упаковок (п. 647.2 TS-G-1.1).

2.8.16-С1. Цель этих двух дополнительных требований сводится к демонстрации либо повышенной способности упаковок типа А, предназначенных для жидкостей, противостоять воздействиям ударов, и, следовательно, показывать, что доля содержимого, которое может выйти в условиях аварии, будет сравнима с утечкой из упаковок типа А, предназначенных для перевозки диспергируемых твердых веществ, либо обеспечивать дополнительный барьер безопасности, уменьшая тем самым вероятность выхода жидкости из упаковки даже в том случае, если она вышла из первичного внутреннего компонента системы герметизации (п. 648.1 TS-G-1.1).

2.8.16-С2. Пользователь упаковок типа B(U) или типа B(M) может захотеть использовать такую упаковку для перевозки жидкости в количестве, меньшем чем A_2, и определять ее в транспортных документах как перевозку упаковки типа А. Это устраняет некоторые административные трудности для грузоотправителя и перевозчика, и, поскольку упаковка имеет большую прочность, чем стандартная упаковка типа А, безопасность не будет снижена. В данном случае не предъявляются требования соответствовать положению о дополнительном абсорбирующем материале или вторичном внешнем компоненте системы герметизации (п. 648.2 TS-G-1.1).

2.8.17-С1. Причины дополнительных испытаний для упаковок типа А, предназначенных для сжатых и несжатых газов, те же, что и для упаковок типа А, предназначенных для жидкостей (см. п. 648.1 TS-G-1.1 (справку 2.8.16-С1 настоящего Руководства). Однако, поскольку при перевозке газа нарушение системы герметизации всегда даст 100% выхода, требуется дополнительное испытание для снижения вероятности отказа системы герметизации при данной степени тяжести аварии и тем самым достижения уровня опасности, сравнимого с опасностью для упаковки типа А, предназначенной для перевозки твердых диспергируемых веществ (п. 649.1 TS-G-1.1).

2.8.17-С2. Исключение упаковок, содержащих тритий или благородные газы, из требования в данном пункте НП-053-04 (п. 649 Правил МАГАТЭ-96) основано на дозиметрических моделях для этих материалов (система Q, см. обсуждение в приложении I к настоящему Руководству) (п. 649.2 TS-G-1.1).

2.8.17-С3. Для руководства относительно требования "никакой утечки или рассеяния" для газообразного радиоактивного содержимого, см. п. 646.5 TS-G-1.1 (см. справку 2.6.2-С5 настоящего Руководства) (п. 649.3 TS-G-1.1).

2.9. Требования к упаковкам типа B(U)

2.9.1-С1. Концепция упаковки типа B(U) заключается в том, что она способна противостоять наиболее серьезным аварийным условиям при перевозке без потери системы герметизации или увеличения уровня внешнего излучения в такой степени, чтобы вызывать угрозу населению или лицам, привлеченным к спасательным операциям и очистке. Ей следует быть безопасно восстанавливаемой (см. пп. 510 и 511 Правил МАГАТЭ-96), но она не обязательно должна быть способна для последующего использования (п. 650.1 TS-G-1.1).

2.9.1-С2. В соответствии с Правилами для перевозки РМ (за исключением материалов НУА и объектов ОПРЗ) активностью более A_2 (A_1) должны использоваться упаковки либо типа B(U), либо типа B(M), которые сохраняют в одних и тех же заданных пределах герметичность и защитные свойства как в нормальных, так и в аварийных условиях перевозки. Различие между этими типами упаковок в общем виде сводится к способам выполнения и степени надежности обеспечения заданных свойств по герметичности и защите. Упаковки типа B(U) обеспечивают заданные свойства практически полностью за счет своей конструкции, а для упаковок типа B(M) в целях компенсации меньшей конструктивной надежности требуется проведение некоторых дополнительных организационно-технических мероприятий при подготовке и (или) в ходе перевозки.

2.9.1-С3. В соответствии с Правилами для упаковок типа B(U) при международных перевозках требуется только утверждение их конструкции компетентным органом страны происхождения (разработчика) упаковки. Для упаковок типа B(M) требуется утверждение компетентными органами всех стран, участвующих в перевозках. Это различие должно учитываться при разработке упаковок для международных перевозок.

2.9.1-С4. Для внутрироссийских перевозок процедуры согласования и утверждения конструкций упаковок типа B(U) и типа B(M) не различаются. Выбор заказчиком (разработчиком) типа упаковок определяется по всей совокупности технико-экономических факторов. В некоторых случаях выгоднее увеличивать эксплуатационные расходы и использовать упаковки типа B(M), чем разрабатывать более дорогую конструкцию упаковки типа B(U).

2.9.2-С1. В конструкции упаковок максимальные уровни излучения устанавливаются как для поверхностей (пп. 5.3.3 и 5.3.4 НП-53-04 и пп. 531 и 532 Правил МАГАТЭ-96), так и на расстоянии 1 м от поверхности (как определено в пп. 5.3.2 Правил НП-53-04 и пп. 530 и 526 Правил МАГАТЭ-96). После выполнения испытаний для аварийных условий допускается увеличение уровня из-

лучения при условии, что предел 10 мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности не превышается, если упаковка содержит максимально допустимое количество активности (п. 656.13 TS-G-1.1).

2.9.2-C2. В отношении предела уровня излучения и расстояния 1 м см. также приложение 1 к настоящему Руководству.

2.9.2-C3. Когда для упаковки типа B(U) необходима защита, она может состоять из ряда материалов, отдельные из которых могут быть потеряны в процессе испытаний на аварийные условия. Это приемлемо при условии, что оставшейся защиты достаточно для обеспечения уровня излучения на расстоянии 1 м от «новой» (после испытания) поверхности не более чем 10 мЗв/ч (п. 656.14 TS-G-1.1).

2.9.2-C4. Демонстрация соответствия приемочному критерию не более чем 10 мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности упаковки типа B(U) после испытаний может быть проведена несколькими способами: расчетами, испытаниями на моделях, частях или компонентах упаковки, испытаниями на прототипах и т.п. или путем их комбинации. При проверке соблюдения следует уделять внимание возможным локальным повышенным уровням излучения, проходящего через трещины или зазоры, которые могут появляться как дефект конструкции или изготовления, или возникать в процессе испытаний в результате механических или термических напряжений, особенно в дренажах, клапанах и крышках (п. 656.15 TS-G-1.1).

2.9.2-C5. Когда проверка соблюдения Правил основана на полномасштабном испытании, оценка потери защиты может быть сделана путем установки подходящего радиоактивного источника в образец и мониторинга всей внешней поверхности с помощью соответствующего детектора, например фотопленки, проб Гейгера-Мюллера или сцинтиляционных образцов. Для толстостенной защиты обычно применяется сцинтилляционный образец, например NaI, активизированный таллием, небольшого диаметра (около 50 мм), потому что он допускает использование низкоактивных источников (типичный из них Co-60) и его высокая чувствительность и небольшой эффективный диаметр позволяют легко и эффективно обнаруживать повышенные локальные уровни излучения. Если измерения сделаны около поверхности упаковочного комплекта, следует уделять внимание обеспечению правильного измерения (см. п. 233.5 TS-G-1.1 или справку 2.9.2-C6 настоящего Руководства) уровня излучения и усреднению результатов (см. п. 233.6 TS-G-1.1 или справку 2.9.2-C7 настоящего Руководства). Понадобятся и расчеты, чтобы привести измеренный уровень излучения к условиям на расстоянии 1 м от наружной поверхности упаковки. Наконец, если радиоактивное содержимое, для которого разработана упаковка, не используется в испытании, будут необходимы дальнейшие расчеты для пересчета измеренного уровеня на тот, который имел бы место в случае использования в испытании содержимого конструкции упаковки (п. 656.16 TS-G-1.1).

2.9.2-C6. Правила требуют, чтобы на поверхностях упаковок и транспортных пакетов не превышались установленные уровни излучения. В большинстве случаев измерение, выполняемое с помощью ручного прибора, удерживаемого на поверхности упаковки, определяет значения на некотором расстоянии от поверхности из-за размеров самого детектора. Для измерения уровня излучения следует использовать (по возможности) прибор, размеры которого малы по сравнению с размерами упаковки или транспортного пакета. Относительно большие по сравнению с размерами упаковки приборы не следует использовать для измерения, так как они могут приводить к занижению измеренных значений уровня излучения. Там, где расстояние от источника до измерительного прибора велико по сравнению с объемом детектора (например, в 5 раз больше), влияние размера детектора незначительно и им можно пренебрегать; в противном случае следует использовать величины, приведенные в таблице справки 38-C6 настоящего Руководства для корректировки измеренных значений. Для радиографических устройств, где расстояние от источника до поверхности сохраняется минимальным, этим эффектом пренебрегать нельзя, и следует делать поправку на объем детектора (п. 233.5 TS-G-1.1).

2.9.2-C7. См справку 38-C7 настоящего Руководства.

2.9.2-C8. Использование свинца в качестве защитного материала требует особого внимания. Свинец имеет низкую температуру плавления и высокий коэффициент расширения, поэтому его следует защищать от воздействия теплового испытания. Если он содержится в относительно тонкой стальной оболочке, которая может быть пробита в процессе механических испытаний на удар, и если свинец расплавится при пожаре, он может выходить из упаковки. Также из-за своего высокого коэффициента расширения свинец может порвать оболочку в ходе тепловых испытаний и быть потерян. В обоих случаях после теплового испытания может возникать чрезмерно повышенный уровень излучения. Чтобы преодолеть проблему расширения, можно оставлять свободные объемы, позволяющие свинцу расширяться, однако следует признать, что при охлаждении свинца появляется пустота, положение которой будет трудно определять. Следующая проблема состоит в том, что свинец не всегда плавится однородно вследствие неоднородности конструкции упаковочного комплекта и внешних условий горения. При этом локальное расширение свинца может приводить к повреждению оболочки и соответствующей его утечке и, следовательно, к снижению защитной способности упаковки (п. 656.17 TS-G-1.1).

2.9.2-C9. Дополнительное руководство по испытанию целостности радиационной защиты можно найти в [53-58] (п. 656.18 TS-G-1.1).

2.9.3-C1. Испытания на нормальные и аварийные условия перевозки в соответствии с Правилами не охватывают все возможные воздействия на упаковку в реальных условиях перевозки. Упаковки при испытаниях на падение не имитируют нагрузки на участки поверхности упаковки, характерные при качении и скольжении упаковки в реальной аварии. Такие нагрузки могут значительно повредить наружную тепловую защиту. Поверхность упаковки может быть повреждена также и при отсутствии аварий (например, при неаккуратном обращении, трении о систему раскрепления и др.).

2.9.3-C2. Следует учитывать возможные повреждения как всей тепловой защиты, так и отдельных ее частей. Также следует принимать во внимание эффекты старения, температурные изменения свойств, взаимодействия с влагой и другие условия.

2.9.3-C3. Учитываемые при проектировании реальные воздействия на тепловую защиту упаковки в условиях перевозок согласуются с ГКО и органами государственного регулирования безопасности.

2.9.3-C4. Хотя требование данного пункта НП-053-04 (п. 637 МАГАТЭ-96), предназначенное для упаковок типа А, нацелено на охват большинства условий, которые могут вызывать разрушение упаковочного комплекта, для упаковок типа B(U) требуется дополнительный анализ температур элементов упаковочного комплекта применительно к конкретной конструкции. В основном это предусматривается потому, что упаковки типа B (U) могут быть разработаны для содержимого, которое выделяет значительное количество тепла, и температуры компонентов в такой упаковке могут превышатьть 70°С, как указано в требовании для упаковок типа А. Цель задания конкретной температуры окружающей среды 38°С для конструкции состоит в том, чтобы гарантировать, что разработчик правильно оценивает температуры компонентов упаковки и учитывает влияние этих температур на геометрию, защиту, работоспособность, коррозию и температуру поверхности. Кроме того, требование о возможности упаковки находиться в течение недели необслуживаемой при температуре 38°С и под воздействием солнечных лучей направлено на то, чтобы гарантировать, что упаковка будет находиться в равновесном или близком к нему состоянии и в этом состоянии будет способна выдерживать условия нормальной перевозки, демонстрируемые испытаниями по пп. 719-724 Правил МАГАТЭ-96, без потери содержимого или снижения радиационной защиты (п. 651.1 TS-G-1.1).

2.9.3-C5. Оценка температурных условий окружающей среды должна принимать во внимание тепло, генерируемое содержимым, которое может быть таким, что максимальная температура некоторых компонентов упаковки значительно превышает максимум 70°С, установленный для конструкций упаковок типа А (п. 651.2 TS-G-1.1).

2.9.3-C6. См. также пп. 637.1 TS-G-1.1 (2.8.5-C2), 652.1 (2.9.10-C1), 652.2 TS-G-1.1 (2.9.10-C2), 654.1 – 654.9 TS-G-1.1 (2.9.11-C2 – 2.9.11-C10), 664.1– 664.3 TS-G-1.1 (2.9.11-C11 – 2.9.11-C13 настоящего Руководства) и приложение VI (приложение III к настоящему Руководству) (п. 651.3 TS-G-1.1).

2.9.3-C7. Для определения внутренней и внешней температур упаковки при нормальных условиях могут быть использованы практические испытания с имитированием электрическим источником тепла тепловыделения радиоактивного распада содержимого. Следовательно, источник тепла может быть управляемым и измеряемым. Такие испытания следует выполнять в однородной и стабильной тепловой среде (относительно постоянная температура окружающей среды, отсутствие движения воздуха и минимальный подвод тепла от внешних источников, таких как солнечный свет). Упаковку с ее источником тепла следует подвергать испытаниям в течение времени, достаточного для установления постоянных значений интересующих температур. Температуру окружающей среды и внутренний источник тепла в испытании следует измерять и использовать для линейной коррекции всех измеренных температур упаковки и приведения их к значениям, соответствующим температуре окружающей среды 38°С (п. 651.4 TS-G-1.1).

2.9.3-C8. Для испытаний, выполняемых в неконтролируемых средах (например, на открытом воздухе), колебания условий окружающей среды (например, суточные) могут сделать невозможным достижение постоянных стационарных температур. В таких случаях следует измерять периодические квазистационарные температуры (как для окружающей среды, так и для упаковки), допуская корреляции, которые необходимо делать между усредненными температурами окружающей среды и упаковки. Эти результаты вместе с данными о внутреннем источнике тепла могут быть использованы для предсказания температур упаковки, соответствующих температуре окружающей среды 38°С (п. 651.5 TS-G-1.1).

2.9.4-C1. В общем случае, покрытия для тепловой защиты делятся на две группы: подвергаемые химическим изменениям под воздействием тепла (например, абляционные и вспучивающиеся материалы) и обеспечивающие фиксированный изоляционный барьер (включая керамические материалы) (п. 655.1 TS-G-1.1).

2.9.4-C2. Обе группы подвержены механическим повреждениям. Материалы абляционного и вспучивающегося типа, как правило, мягкие и могут быть повреждены скольжением по грубым по-

верхностям (таким как бетон или гравий) или перемещением по ним жестких объектов. Керамические же материалы очень жесткие, но обычно хрупкие и не в состоянии выдержавать удар, не трескаясь и не ломаясь (п. 655.2 TS-G-1.1).

2.9.4-С3. Обычно происходящие инциденты, которые могли бы вызывать повреждение материалов тепловой защиты, включают: относительное перемещение между упаковками и контактными поверхностями транспортного средства в процессе перевозки; пробуксовку по гравийной дороге; соскальзывание по поврежденному рельсовому пути или по краю металлического предмета; подъем и опускание упаковок с зацеплением головок болтов соседних конструкций или оборудования; удары других упаковок (не обязательно содержащих РМ) в процессе складирования или транспортирования и многие другие ситуации, которые не входят в условия испытаний, требуемых в пп. 722–727 Правил МАГАТЭ-96. Упаковки, испытываемые простым падением, не получают повреждений поверхности, репрезентативных с позиции перекатывающих и скользящих движений, т. е. видов движения, обычно связанных с авариями транспортных средств, и упаковки, испытываемые впоследствии на тепловое воздействие, могут иметь покрытие, которое при аварии возможно было повреждено (п. 655.3 TS-G-1.1).

2.9.4-С4. Повреждение тепловой защиты может уменьшать его эффективность по крайней мере над частью поверхности. Разработчику упаковки следует оценивать влияние повреждений такого типа (п. 655.4 TS-G-1.1).

2.9.4-С5. Эффекты старения и воздействия условий окружающей среды на защитные материалы необходимо учитывать. Свойства некоторых материалов изменяются со временем от воздействия температуры, влажности или других условий (п. 655.5 TS-G-1.1).

2.9.4-С6. Покрытие может быть защищено применением дополнительных направляющих (салазок) или буферов, предотвращающих скользящее или истирающее воздействие на материал. Прочный внешний кожух из металла или транспортный пакет может обеспечивать хорошую защиту, но может и изменять тепловые характеристики упаковки. Наружная поверхность упаковки может быть сконструирована так, чтобы тепловая защита была положена в углублениях (п. 655.6 TS-G-1.1).

2.9.4-С7. С согласия компетентного органа могут быть проведены тепловые испытания с произвольным повреждением тепловой защиты для продемонстрирации эффективности поврежденной тепловой защиты, если можно показывать, что полученные повреждения будут консервативны в отношении результатов испытаний (п. 655.7 TS-G-1.1).

2.9.5-С1. Концепция установления норм по герметичности для упаковок с большим радиоактивным источником в единицах выхода активности при определенных условиях испытаний впервые введена в издание Правил МАГАТЭ 1967 г. (п. 656.1 TS-G-1.1).

2.9.5-С2. Предел скорости выхода не более чем $A_2 \cdot 10^{-6}$ в час для упаковок типа B(U) после испытаний, проводимых для демонстрации способности выдерживать нормальные условия перевозки, первоначально получен из соображений наиболее неблагоприятных ожидаемых условий. Это соответствовало ситуации, когда работник подвергался воздействию активности от протечки РМ из упаковки в ходе перевозки по автомобильной дороге в закрытой машине. Конструкционный принцип, заложенный в Правила, состоит в том, что следует избегать радиоактивной утечки из упаковки типа B(U). Однако поскольку абсолютную герметичность гарантировать нельзя, цель определения максимально допустимой скорости "утечки активности" состоит в том, чтобы обеспечивать возможность регламентации процедур соответствующих и реалистичных испытаний, привязанных к приемлемым критериям радиологической защиты. Модель, использованная для вывода скорости утечки $A_2 \cdot 10^{-6}$ в час, обсуждается в приложении I (п. 656.2 TS-G-1.1).

2.9.5-С3. В пересмотренном издании Правил МАГАТЭ 1973 г. (исправленном) установлено, что излучение на расстоянии 1 м от поверхности упаковки типа B(U), содержащей определенный радионуклид, не должно превышать более чем в 100 раз величину излучения, существовавшую до испытания. Это требование представляло собой нереалистичное ограничение в отношении конструкции упаковок, разработанных для перевозки других радионуклидов. Поэтому, начиная с издания Правил МАГАТЭ 1985 г. и ОПБЗ-83, в НП-053-04 предусмотрен определенный максимальный уровень излучения 10 мЗв/ч, безотносительно от вида радионуклида (п. 656.3 TS-G-1.1).

2.9.5-С4. Пределы выхода не более чем $10A_2$ для Kr-85 и не более чем A_2 для всех других радионуклидов в течение одной недели для упаковок типа B(U) после испытаний, имитирующих нормальные и аварийные условия перевозки, представляют собой упрощение положений Правил МАГАТЭ 1973 г. издания. Это изменение было введено как следствие осознания того факта, что предел, установленный для упаковок типа B(U), явился неоправданно ограничивающим по сравнению с нормами безопасности, обычно применяемыми к площадкам ядерных реакторов [59, 60], особенно для условий тяжелых аварий, которые ожидаются как крайне редкие события. Радиационные последствия утечки A_2 из упаковки типа B(U) в аварийных условиях обсуждаются подробно в [61]. Если предположить, что аварии с уровнем тяжести, имитирующимся в испытаниях для упаковок типа B(U), описанных в Правилах, будут приводить к таким условиям, что всех лиц, находящихся в непосредственной близости от поврежденной упаковки, следует быстро эвакуировать или оставить

работающими под наблюдением и контролем специалистов по радиологической защите, то представляется маловероятным, чтобы случайное облучение лиц, каким-то образом оказавшихся вблизи от места аварии, превысило годовую дозу или предел поступления для рабочих, приведенные в Основных нормах безопасности (BSS). Специальное положение для случая присутствия Kr-85, который является единственным радионуклидом благородных газов, имеющим практическое значение при перевозках облученного топлива, – это следствие специального анализа дозиметрических последствий облучения в радиоактивном шлейфе, для которого модель, использованная для вывода значения A_2, для негазообразных радионуклидов, не подходит [62] (п. 656.4 TS-G-1.1).

2.9.5-С5. Правила требуют, чтобы упаковки типа B(U) конструировались так, чтобы ограничивать потерю радиоактивного содержимого до приемлемого низкого уровня. Это определено как допустимый выход РМ, выраженный в долях A_2 в единицу времени для нормальных и аварийных условий перевозки. Указанные критерии имеют то преимущество, что выражают желаемую работоспособность системы герметизации через наиболее интересующий параметр – потенциальную опасность от конкретного радионуклида в упаковке. Недостаток этого метода – прямое измерение обычно невозможно и требуется его применение к каждому рассматриваемому радионуклиду в той физической и химической форме, которая ожидается после механических, тепловых испытаний и испытания на погружение в воду. Более практично использовать хорошо разработанные методы определения утечки, такие как испытания на газовую утечку, см. ANSI N14.5 [51] и ISO 12807 [52]. В испытаниях на утечку измеряется поток вещества, пересекающего границы системы герметизации. Поток может содержать трассирующий (меченый) материал, такой как газ, жидкость, порошок или реальное или суррогатное содержимое. Поэтому следует определять средства для корреляции измеренного потока с утечкой РМ при определенных условиях. Утечка этого РМ может потом сравниваться с максимальной скоростью утечки, допустимой Правилами. Если трассирующий материал – газ, то скорость утечки может быть определена как массовая скорость потока. Если трассирующий материал – жидкость, то можно определять либо скорость утечки, как объемную скорость потока, либо общую утечку как объем. Если трассирующий материал – порошок, общая утечка может быть выражена в виде массы. Наконец, если трассирующий материал радиоактивен, утечка может быть выражена в виде активности. Объемный расход для жидкостей и массовый расход для газов могут быть вычислены с использованием установленных уравнений. Если утечка порошка вычислена в предположении, что порошок ведет себя как жидкость или аэрозоль, результат будет очень консервативным (п. 656.5 TS-G-1.1).

2.9.5-С6. Основной метод вычислений предполагает знание двух параметров – концентрации радиоактивного содержимого в упаковке и объемного расхода его утечки. Требуется, чтобы результат расчетов по этим двум параметрам был бы ниже, чем разрешенная скорость утечки, выраженная как доля A_2 в единицу времени (п. 656.6 TS-G-1.1).

2.9.5-С7. Для упаковок, содержащих РМ в жидкой или газообразной форме, должна быть определена концентрация радиоактивности для преобразовывавния Бк/ч (скорость утечки активности) в м^3/с (объемная скорость утечки) в эквивалентных условиях перевозки. Когда содержимое включает смеси радионуклидов (R1, R2, R3, и т.д.), "правило объединения", определенное в п. 404 Правил МАГАТЭ-96, используется следующим образом:

$$\frac{\textit{Потенциальная}\ \text{утечка R1}}{\text{Допустимая утечка R1}} + \frac{\textit{Потенциальная}\ \text{утечка R2}}{\text{Допустимая утечка R2}} + \frac{\textit{Потенциальная}\ \text{утечка Rn}}{\text{Допустимая утечка Rn}} \le 1$$

(п. 656.7 TS-G-1.1).

2.9.5-С8. Из этого и из предположения, что скорость утечки в рассматриваемом интервале времени постоянна, требуется, чтобы активность газа или жидкости в упаковке и объемная скорость утечки удовлетворяли следующим условиям:

для условий, оговоренных в п. 656.а) Правил МАГАТЭ-96,

$$\sum_i \frac{C_{(Ri)}}{A_{2(Ri)}} \le \frac{10^{-6}}{3600L} = \frac{2{,}78\cdot 10^{-10}}{L};$$

для условий, оговоренных в пункте 656(b)(ii),

$$\sum_i \frac{C_{(Ri)}}{A_{2(Ri)}} \le \frac{1}{7\cdot 24\cdot 3600L} = \frac{1{,}65\cdot 10^{-6}}{L}$$

где $C_{(Ri)}$ – концентрация каждого радионуклида (в ТБк/м^3) в жидкости или газе при стандартных условиях температуры и давления (СТД);

$A_{2(Ri)}$ – предел, определенный в табл. I Правил в ТБк для этого нуклида;

L – допустимая скорость утечки в м^3/с жидкости или газа при СТД.

Значение C может также быть определено, как:

$$C = GS,$$

где G – концентрация радионуклида (в кг/м^3) в жидкости или газе при СТД;

S – удельная активность нуклида (в ТБк/кг) чистого нуклида, (см. приложение II TS-G-1.1, приложение IV к настоящему Руководству), или

$$C = F\,g\,S,$$

где F – доля присутствия радионуклида в элементе (процент/100);

g – концентрация элемента (в кг/м^3)в жидкости или газе при СТД (п. 656.8 TS-G-1.1).

2.9.5-С9. Заметим, что допустимая скорость утечки после испытаний для нормальных условий перевозки приведена в размерности ТБк/ч, а для аварийных условий – ТБк/неделю. Вряд ли, какая-либо утечка после аварии будет иметь постоянную скорость. Интересующая величина – скорость утечки за неделю, а не скорость в каждый момент времени в течение недели (т. е. скорость утечки из упаковки может быть очень высокой в короткий период времени, следующий за аварией, а затем не будет истекать практически ничего за всю оставшуюся неделю, пока суммарная величина не превысит A_2 за неделю) (п. 656.9 TS-G-1.1).

2.9.5-С10. Рассчитанная допустимая утечка радиоактивной жидкости или газа может быть затем преобразована в эквивалентную утечку газа в испытании при определенных условиях с учетом давления, температуры и вязкости посредством уравнений для ламинарных и(или молекулярных условий потока, примеры которых даны в Американском национальном стандарте ANSI N14.5-1977 [51] или стандарте ISO (DIS) 12807 [52]. В конкретных случаях, где высокий перепад давления может приводить к высокой расчетной скорости газа, турбулентный поток может быть более ограничивающим обстоятельством, и это следует принимать во внимание (п. 656.10 TS-G-1.1).

2.9.5-С11. Утечка газа, определенная указанным выше методом, может варьироваться от 1 Па·м^3/с до менее чем 10^{-10} Па·м^3/с в зависимости от величин A_2 радионуклидов и их концентрации в упаковке. Обычно на практике нет необходимости, чтобы метод испытания был более чувствительным, чем 10^{-8} Па·м^3/с для перепада давления $1{\cdot}10^5$ Па, чтобы квалифицировать упаковку, как герметичную. Если оцененная допустимая скорость утечки превышает 10^{-2} Па·м^3/с, то в качестве предельной величины рекомендуется 10^{-2} Па·м^3/с, поскольку она легко достижима на практике (п. 656.11 TS-G-1.1).

2.9.5-С12. Если упаковка сконструирована для материалов, состоящих из твердых частиц, можно воспользоваться экспериментальными данными о переносе твердых частиц через дискретные каналы утечки или через уплотнения, чтобы определить условия испытания газом. Это обычно дает повышенную объемную скорость утечки по сравнению с допущением, что материал, состоящий из частиц, ведет себя, как жидкость или аэрозоль. На практике не ожидается, что порошок, даже с минимальными размерами частиц просочится через уплотнение, которое испытано гелием с результатом лучшим, чем 10^{-6} Па·м^3/с при перепаде давления $1{\cdot}10^5$ Па (п. 656.12 TS-G-1.1).

2.9.5-С13. Упаковки, разработанные для перевозки облученного топлива, представляют определенную проблему, которая состоит в том, что в облученном топливе активность сосредоточена в продуктах деления в топливных стержнях, которые перед облучением были закрыты. Ожидается, что стержни, неповрежденные при погрузке в упаковку, удержат эту активность при нормальных условиях перевозки (п. 656.19 TS-G-1.1).

2.9.5-С14. В аварийных условиях перевозки облученные топливные стержни могут быть повреждены с последующим выходом радиоактивности в объем системы герметизации упаковки. Поэтому для оценки герметичности упаковки необходимы данные о составе продуктов деления, возможной степени повреждения оболочки топливного стержня и механизме выхода радиоактивности из топливного стержня в систему герметизации упаковки (п. 656.20 TS-G-1.1).

2.9.5-С15. Описанные выше методы оценки требований к герметичности упаковки обычно применяются в двух вариантах:

(a) Если упаковка конструируется для конкретной цели, радиоактивное содержимое точно определено и норма герметичности может быть установлена на этапе конструирования.

(b) Когда требуется, чтобы существующая упаковка с известной нормой по герметичности была использована не по тому назначению, для которого она была разработана, и необходимо определять максимально допустимое количество радиоактивного содержимого (п. 656.21 TS-G-1.1).

2.9.5-С16. В случае утечки смеси радионуклидов из упаковки типа B(U) эффективное значение A_2 может быть вычислено методом, описанным в п. 404 Правил МАГАТЭ-96, использованием долей активности составляющих радионуклидов $f(i)$, соответствующих форме смеси, которые реально могут проходить через уплотнения. Это не обязательно доля всего содержимого внутри самой упаковки, так как часть содержимого может быть в виде твердых частей, слишком больших для прохода через каналы в уплотнении. В общем случае для утечки жидкостей и газов фракционные доли соотносятся с газообразными или растворенными радионуклидами. Однако необходимо учитывать тонко измельченный твердый взвешенный материал (п. 656.22 TS-G-1.1).

2.9.5-С17. Если упаковка имеет уплотнение из эластичных материалов, то проницаемость газов и паров может приводить к сравнительно высоким скоростям утечки. Проницаемость – это прохождение жидкости или газа через твердый барьер (не имеющий прямых каналов для утечки) за

счет процессов абсорбции-диффузии. Если РМ является газообразным (например, газообразный продукт деления), скорость утечки за счет проницаемости определяется парциальным давлением газа, а не общим давлением в системе герметизации. Тенденция эластичных материалов к абсорбции газов также может быть принята во внимание (п. 656.23 TS-G-1.1).

2.9.5-С18. В случае использования некоторых крупных упаковок очень малая утечка РМ в течение длительного периода времени может приводить к загрязнению внешней поверхности. Тогда может понадобиться уменьшать утечку при нормальных условиях перевозки (п. 656.а Правил МАГАТЭ-96), чтобы обеспечивать непревышение допустимого предела загрязнения поверхности (пп. 214, 508 и 509 Правил МАГАТЭ-96) (п. 656.24 TS-G-1.1).

2.9.6-С1. Усложнение конструкции, дополнительная неопределенность и возможно ненадежность, обусловленные использованием в конструкции фильтров и механических систем охлаждения, не соответствуют философии, лежащей в основе назначения упаковки типа B(U) (одностороннее утверждение компетентным органом). Более простой конструкционный подход, в котором ни фильтры, ни системы охлаждения не используются, имеет более широкую приемлемость (п. 658.1 TS-G-1.1).

2.9.6-С2. Требование по данному пункту Правил не исключает наличия в упаковках типа B(U) фильтров и механических систем охлаждения для каких-то других целей (например, для обслуживания упаковки, при загрузке, выгрузке и др.).

2.9.7-С1. Аналогично требованию и пояснениям к п. 2.9.6 НП-053-04, требование не исключает наличия системы сброса давления в упаковке типа B(U). Важно, чтобы не было сброса давления при испытаниях, имитирующих нормальные и аварийные условия перевозки. Не запрещается сброс давления при запроектных авариях, т. е. авариях, более серьезных, чем имитируются испытаниями Правил на аварийные условия. Очевидно, что всегда лучше сбрасывать давление, чем доводить ситуацию до разрушения самой упаковки при запроектных авариях.

2.9.8-С1. После закрытия упаковки внутреннее давление может возрастать. Существует несколько механизмов, которые могут вносить вклад в такой рост, включая воздействие на упаковку высокой окружающей температуры, воздействие солнечного тепла (т.е. инсоляция), тепло радиоактивного распада содержимого, химическую реакцию содержимого, радиолиз в упаковках, заполненных водой, или их комбинацию. Максимальная величина давления, которую можно ожидать в результате действия перечисленных факторов в условиях нормальной перевозки, называется максимальным нормальным рабочим давлением (МНРД) – см. справки 10-С2 – 10-С4 настоящего Руководства (пп. 228.1-228.3 TS-G-1.1) (п. 660.1 TS-G-1.1).

2.9.8-С2. Такое давление может неблагоприятно влиять на работоспособность упаковки, поэтому его необходимо принимать во внимание при оценке работоспособности в нормальных условиях (п. 660.2 TS-G-1.1).

2.9.8-С3. Аналогично при оценке способности противостоять аварийным условиям согласно пп. 3.4.4.1-3.4.4.4 НП-053-04 (пп. 726-729 Правил МАГАТЭ-96), наличие предварительно существующего в упаковке давления представляет более тяжелые условия, при которых удовлетворительная работоспособность упаковки должна быть продемонстрирована, – следовательно, при определении условий испытания необходимо предполагать наличие МНРД (см. справки 10-С2 и 10-С3 настоящего Руководства или пп. 228.1 и 228.2 TS-G-1.1). Если это можно обосновывать, то возможно использовать давление, отличное от МНРД, при условии, что результаты могут быть скорректированы для учета МНРД (п. 660.3 TS-G-1.1).

2.9.8-С4. Упаковки типа B(U) обычно не являются сосудами, работающими под давлением, и не соответствуют точно правилам и нормам, охватывающим такие сосуды. Для испытаний, требуемых для проверки способности упаковок типа B(U) выдерживать как нормальные, так и аварийные условия перевозки, требуется проводить оценки с учетом МНРД. При нормальных условиях перевозки главными конструктивными соображениями служат обеспечение адекватной защиты и ограничение радиоактивной утечки при весьма небольшом внутреннем давлении. Аварийная ситуация представляет собой единичное экстремальное событие, после которого повторное использование не рассматривается как цель конструкции. Такое экстремальное событие характеризуется короткой продолжительностью, циклами высоких напряжений в период механических испытаний при нормальных давлении и температуре, за которыми следует единичный длительный цикл напряжений, вызванных давлением и температурой в ходе теплового испытания. Ни один их этих циклов напряжений не соответствует типу нагрузок сосудов, работающих под давлением, конструкция которых учитывает долговременные процессы разрушения вследствие таких факторов, как ползучесть, усталость, трещинообразование, коррозия. По этой причине в Правила не включены рекомендации относительно допустимого уровня напряжений. Вместо этого деформации в системе герметизации ограничены значениями, которые не затрагивают ее способность удовлетворять соответствующим требованиям. Хотя можно предполагать, что другие требования становятся важными, удержание РМ – это то, для чего существует система герметизации. Прежде, чем произойдет разрушение, весьма вероятно, что система герметизации, особенно в повторно используемых упаковочных комплектах с механически уплотняемыми соединениями, даст течь. Поэтому следует оп-

ределять степень, при которой напряжения в различных элементах деформируют систему герметизации и нарушат целостность ее уплотнения. Следует оценивать снижение сжатия уплотнений, вызываемое, например растяжением болтов и локальным повреждением вследствие ударов и поворотами поверхностей уплотнения в период наличия термических градиентов. Один из методов оценки состоит в том, чтобы определять деформацию от удара непосредственно по результатам испытания на свободное падение, проведенного на представительной масштабной модели, и объединять его с деформацией, рассчитанной при тепловом испытании с использованием признанной и проверенной компьютерной программы. Влияние общих нарушений на целостность уплотнения может затем быть определено экспериментально на представительных моделях уплотняющих устройств с соответственно уменьшенным сжатием уплотнения (п. 660.4 TS-G-1.1).

2.9.8-С5. МНРД следует определять в соответствии с определением, данным в п. 10 НП-053-04 или п. 228 Правил МАГАТЭ-96 (п. 660.5 TS-G-1.1).

2.9.8-С6. Рекомендуется, чтобы напряжения в системе герметизации в нормальных условиях перевозки при максимальном нормальном рабочем давлении находились в пределах упругой области. Следует обеспечивать непревышение в условиях аварии значений напряжения, которые обусловливают утечку большую, чем это установлено в данном пункте НП-053-04 (в п. 656.b Правил МАГАТЭ-96), и уровень внешних излучений выше, чем установлено требованиями п. 656 Правил МАГАТЭ-96 (п. 660.6 TS-G-1.1).

2.9.8-С7. Если для оценки эксплуатационных характеристик упаковки применяется расчетный анализ, МНРД следует использовать в качестве граничного условия для расчета воздействия испытаний, предназначенных для демонстрации способности упаковки выдерживать условия нормальной перевозки, и как начальное условие для оценки воздействия испытаний, предназначенных для демонстрации способности противостоять аварийным условиям перевозки (п. 660.7 TS-G-1.1).

2.9.9-С1. Требование, чтобы МНРД не превышало 700 кПа, – это специальный предел для упаковок типа B(U). В российских документах по сосудам, работающим под давлением, нет такой критериальной величины. В НП-053-04 эта величина взята из Правил МАГАТЭ-96.

2.9.9-С2. Требование, чтобы МНРД не превышало 700 кПа, определяет предел для упаковок типа B(U), который должен быть приемлем для одностороннего утверждения (п. 661.1 TS-G-1.1).

2.9.10-С1. Температуры поверхности упаковок, содержащих РМ, генерирующие тепло, будут выше температуры окружающей среды. Ограничения для температуры поверхности необходимы для защиты смежного груза от возможного повреждения и защиты персонала, обслуживающего упаковки во время погрузки и разгрузки (п. 652.1 TS-G-1.1).

2.9.10-С2. При установленном пределе температуры поверхности упаковки 50°С и температуре окружающей среды 38°С другой груз не будет перегреваться, и никто не пострадает от ожога при прикосновении к поверхности или при обращении с упаковкой. Более высокая температура поверхности разрешена в условиях исключительного использования (за исключением перевозок по воздуху); см. п. 2.9.10 НП-053-04 или п. 662 Правил МАГАТЭ-96 и пункты справок 2.9.10-С3 – 2.9.10-С6 настоящего Руководства, или пп. соответственно 662.1–662.4 TS-G-1.1 (п. 652.2 TS-G-1.1).

2.9.10-С3. Предел 85°С по температуре поверхности упаковок типа B(U) при исключительном использовании, когда возможное повреждение соседнего груза может хорошо контролироваться, необходим для предохранения воздействия на людей при случайном соприкосновении с упаковками. Когда условия исключительного использования не применяются и для всех случаев авиаперевозок температура поверхности упаковки ограничена 50°С, чтобы избежать повреждений соседнего груза. Барьеры и экраны, упомянутые в данном пункте (в Правилах МАГАТЭ-96 п. 662), не считаются частью конструкции упаковки, предназначенной для радиационной безопасности, поэтому они исключены из любых испытаний, связанных с конструкцией упаковки (п. 662.1 TS-G-1.1).

2.9.10-С4. Инсоляцией можно пренебрегать в отношении температуры доступных поверхностей, и учитывать только тепло от внутренних источников. Оправданием такого упрощения может служить то обстоятельство, что любая упаковка с внутренними источниками тепла или без них будет испытывать одинаковое увеличение температуры в условиях инсоляции (п. 662.2 TS-G-1.1).

2.9.10-С5. Понятие "легкодоступная поверхность" не является точным описанием, но используется здесь для обозначения тех поверхностей, которых может коснуться человек, не связанный с операциями по перевозке. Например, использование лестницы может сделать поверхности доступными, но это не может быть причиной, чтобы считать поверхности легкодоступными. В этом же смысле не следует считать легкодоступными и поверхности между тесно расположенными ребрами. Если ребра расположены широко, скажем, на ширину ладони человека или более, тогда поверхность между ними можно считать легкодоступной (п. 662.3 TS-G-1.1).

2.9.10-С6. Барьеры или экраны могут быть использованы для защиты от высоких температур поверхности, и все же в категориях утверждения упаковка остается упаковкой типа B(U). Примером может быть густо оребренная упаковка, оборудованная подъемными цапфами, установка которых может потребовать локального удаления части ребер в непосредственной близости от цапф, превращая тем самым основной корпус упаковки в доступную поверхность. Защита может

обеспечиваться путем использованием барьеров, таких как расширенный металлический экран или кожух, эффективно предохраняющий от доступа или контакта с упаковкой людей при обычной перевозке. Барьеры должны рассматриваться как доступные поверхности, и поэтому к ним применимы соответствующие температурные пределы. Следует обеспечивать, чтобы использование барьеров или экранов не снижало способность упаковки удовлетворять требованиям к теплообмену и не снижало ее безопасности. Сохранение такого экрана или иного устройства не требуется при проведении испытаний на соответствие нормативным требованиям для утверждения конструкции упаковки. Это положение допускает проводить утверждение упаковок, использующих такие термические барьеры, без того, чтобы подвергать барьеры испытаниям, которым должна противостоять упаковка (п. 662.4 TS-G-1.1).

2.9.11-С1. Более низкая температура важна из-за увеличения давления вследствие расширения при замерзании (например, воды), из-за возможного хрупкого разрушения многих металлов (включая некоторые стали) при пониженной температуре и из-за возможной потери эластичности уплотняющих материалов. Из этих эффектов только разрушение материалов может приводить к необратимому повреждению. Некоторые эластомеры, обеспечивающие хорошие характеристики при высоких температурах (например, фторуглероды, такие как составы Витона), теряют эластичность при температурах -20°С или меньше. Это может приводить к узким зазорам шириной в несколько микронов, возникающих из-за различного теплового расширения металлических деталей и эластомера. Данный эффект полностью обратим. Кроме того, замерзание любого влажного содержимого и падение внутреннего давления при низких температурах может предотвращать утечку из системы герметизации. Поэтому в определенных случаях использование таких эластомерных уплотнений может быть приемлемым; см. [63,64] для дополнительной информации. Нижний температурный предел -40°С и верхний температурный предел 38°С являются разумными граничными величинами для температур окружающей среды, которые могут встречаться в большинстве географических районов в течение года. Однако в определенных регионах мира (крайние северные и южные регионы в течение их зимнего периода и сухие пустынные регионы в летний период) можно встретиться с экстремальными температурами ниже -40°С и выше 38°С. Однако и в России для средних регионов и времен года выход температур за диапазон -40°С ...+38°С встречается в течение очень коротких отрезков времени (п. 664.1 TS-G-1.1).

2.9.11-С2. В процессе перевозки упаковка может быть нагрета солнечными лучами. Эффект солнечного нагрева состоит в увеличении температуры упаковки. Чтобы избежать трудностей, пытаясь точно учитывать много переменных, значения инсоляции были согласованы на международной основе (табл. XI Правил МАГАТЭ-96). Значения инсоляции определены как однородные тепловые потоки, воздействующие в течение 12 ч и сопровождающиеся 12 ч, нулевой инсоляции. Предполагается, что упаковки открыты; поэтому ни затенение, ни отражение от соседних конструкций не принимается во внимание. В табл. 2.2 приведена максимальная величина теплового потока для обращенной вверх горизонтальной поверхности и нуль для обращенной вниз горизонтальной поверхности, которая не получает никакой инсоляции. Принято, что вертикальная поверхность нагревается только полдня и только с половинной эффективностью (по сравнению с горизонтальной поверхностью, обращенной вверх); поэтому табличная величина инсоляции вертикальной поверхности составляет одну четверть максимальной величины для обращенной вверх плоской поверхности. Для искривленных поверхностей, меняющих ориентацию от горизонтального до вертикального положения, резонно назначена величина, равная половине от максимальной величины для плоских поверхностей, обращенных вверх. Использование согласованных величин гарантирует единообразие при выполнении оценок безопасности, создавая общую базу для цели расчетов (п. 654.1 TS-G-1.1).

Значения инсоляции, приведенные в табл. 2.2, отличаются от соответствующих значений в ОПБЗ-83 [65], вместо которых введены в НП-053-04.

2.9.11-С3. Данные по инсоляции, приведенные в табл. 2.2, являются однородными потоками тепла. Их следует применять на уровнях, установленных для 12 ч (дневной свет), за которыми следует 12 ч отсутствия инсоляции (ночь). Такую циклическую шаговую функцию следует применять до тех пор, пока интересующие температуры не достигнут состояния устойчивого периодического поведения (п. 654.2 TS-G-1.1).

2.9.11-С4. Простой, но консервативный метод оценки влияния инсоляции состоит в применении постоянного равномерного теплового потока в величинах, установленных в табл. 2.2. Использование этого метода позволяет избежать необходимости выполнения нестационарного теплового анализа; проводится только простой анализ стационарного состояния (п. 654.3 TS-G-1.1).

2.9.11-С5. Для более точной модели может использоваться синусоидальная зависимость теплового потока от времени, чтобы представять инсоляцию в течение дня для плоских и искривленных поверхностей. Требуется, чтобы интегральное (полное) поступление тепла к поверхности между восходом и заходом солнца было равно соответствующей величине суммарного тепла для табличных значений за 12 ч (т. е. умножать табличное значение на 12 ч, чтобы получать суммарный подвод тепла в Вт/м^2). Для этой модели в период между заходом и восходом солнца тепловой по-

ток равен нулю. Модель циклической инсоляции следует применять до тех пор, пока интересующие температуры не достигнут режимов квазиустойчивого периодического поведения (п. 654.4TS-G-1.1).

2.9.11-С6. Обращенная вниз плоская поверхность не может получать никакой инсоляции, и к ней применяется значение "отсутствует" табл. 2.2. Для любой горизонтальной обращенной вверх поверхности применимы значения табл. 2.2. Негоризонтальные поверхности могут включать вертикальные или почти вертикальные поверхности (т. е. отклоняющиеся от вертикальной на угол до 15°); для этих поверхностей применяется величина из табл. 2.2 для вертикальных поверхностей. Для наклоненных вверх поверхностей, которые отклоняются от вертикали более чем на 15°, может быть использована площадь горизонтальной проекции этой плоскости в совокупности с табличной величиной, приведенной в табл. 2.2 для плоской, обращенной вверх поверхности. Для наклоненных вниз поверхностей, которые отклоняются от вертикали более чем на 15°, может быть использована площадь вертикальной проекции этой плоскости в совокупности с величиной, приведенной в табл. 2.2 для обращенной вниз плоской поверхности (п. 654.5 TS-G-1.1).

2.9.11-С7. Величину инсоляции для искривленных поверхностей, приведенную в табл. 2.2, следует применять ко всем изогнутым поверхностям любой ориентации (п. 654.6 TS-G-1.1).

2.9.11-С8. Элементы упаковки, уменьшающие инсоляцию любой поверхности (т. е. затеняющие поверхность упаковки), могут быть приняты во внимание при проведении тепловых оценок. Любые такие элементы, о которых предполагается, что они снижают инсоляцию, не следует учитывать при проведении тепловых оценок, если их эффективность может быть уменьшена в результате воздействия на упаковку в ходе испытаний, соответствующих нормальным условиям перевозки (п. 654.7 TS-G-1.1).

2.9.11-С9. Поскольку передача тепла излучением зависит от излучательной и поглощающей способности поверхности, следует принимать во внимание вариации этих свойств. Эти свойства зависят от длины волны. Излучение солнца характеризуется высокой температурой и короткой длиной волны, в то время как излучение от поверхности упаковок характеризуется относительно низкой температурой и большой длиной волны. Во многих случаях поглощающая способность будет ниже, чем излучательная, так что использование более высокой величины в обоих случаях даст больший коэффициент запаса, если целью является рассеяние тепла. В других случаях можно воспользоваться преимуществом естественно возникающего различия в этих свойствах или рассматривать поверхность, пользуясь преимуществом такого различия для снижения влияния инсоляции. Когда различия в свойствах поверхности используются как средства тепловой защиты для уменьшения влияния инсоляции, следует продемонстрировать работоспособность системы тепловой защиты и показывать, что система остается целой при нормальных условиях перевозки (п. 654.8 TS-G-1.1).

2.9.11-С10. Оценка температуры упаковки при перевозке РМ может быть выполнена путем анализа или испытания. Испытания, если они используются, следует выполнять на полномасштабных моделях. Если источником излучения является не солнечный свет, следует принимать во внимание различия между длиной волны солнечного излучения и длиной волны источника. Испытание следует продолжать до тех пор, пока не установится тепловое равновесие (либо постоянное стационарное, либо устойчивое периодическое в зависимости от источника). Где необходимо, следует делать поправку на температуру окружающей среды и внутреннее тепло (п. 654.9 TS-G-1.1).

2.9.11-С11. См. справку 2.9.11-С1 настоящего Руководства.

2.9.11-С12. Руководство по безопасной конструкции транспортных упаковок в отношении хрупкого разрушения см. в Приложении VI TS-G-1.1 (см. приложение III к настоящему Руководству) (п. 664.2 TS-G-1.1).

2.9.11-С13. При оценке конструкции упаковки в отношении работоспособности при низких температурах влиянием нагрева от радиоактивного содержимого (который мог бы помешать падению температуры компонентов упаковки до нижнего конструкционного предела по окружающей температуре -40°С) следует пренебрегать. Это позволит оценивать реакцию упаковки (включая поведение конструкционных и уплотняющих материалов) при низкой температуре в ходе обращения при перевозке и транзитном хранении. Наоборот, при оценке конструкции упаковки на работоспособность при высоких температурах влияние максимально возможного тепловыделения радиоактивного содержимого, также, как и инсоляцию и максимальную температуру окружающей среды 38°С следует учитывать одновременно (п. 664.3 TS-G-1.1).

2.9.11-С14. В НП-053-04, как и Правилах МАГАТЭ-96, требуется для упаковки учитывать температуру окружающей среды 38°С. Это температура именно окружающей среды, а не температура в закрытом вагоне или в другом закрытом транспортном средстве, где размещается упаковка и где температура воздуха может быть и больше. Поэтому, например для упаковок типа А, у которых нет саморазогрева (тепловыделения), требуется для материалов учитывать температуры до 70°С, хотя температура окружающей среды также 38°С. При расчетах температуры в закрытом транспортном средстве и температуры упаковки инсоляцию следует учитывать в виде воздействия солнечного излучения на такой вагон, а не на упаковку.

2.9.12-С1. Для морской перевозки радиоактивных материалов в течение нескольких лет

выполнены различные оценки риска, включая те, что приведены в литературе [66, 67]. Эти исследования рассматривают возможность затопления судна, перевозящего РМ при различных обстоятельствах; сценарии аварий включают столкновения с последующим затоплением либо столкновения с последующим пожаром и затем затоплением (п. 657.1 TS-G-1.1).

2.9.12-С2. В общем случае обнаружено, что большинство ситуаций приведут к незначительному воздействию на окружающую среду и минимальному облучению людей, если упаковки не извлекать после аварии. Установлено, однако, что если большая упаковка (или упаковки) с облученным топливом будет потеряна на материковом шельфе, возможно длительное облучение людей через пищевую цепочку потребления морепродуктов. Радиационное воздействие при потере упаковки с облученным топливом на большей глубине или других упаковок на любой глубине будет на порядок ниже, чем эти величины. Последующие исследования рассматривали радиационное воздействие для случаев потери других РМ, которые в возрастающем количестве перевозятся морем, таких как плутоний и высокорадиоактивные отходы. На основе этих исследований область распространения усиленного испытания погружением в воду в Правилах МАГАТЭ-96 была расширена, чтобы охватить перевозку в больших количествах любых РМ, а не только облученного ядерного топлива (п. 657.2 TS-G-1.1).

2.9.12-С3. В интересах сохранения радиологического воздействия на разумно достижимом низком уровне, если такая авария произойдет, в издание Правил МАГАТЭ 1985 г. было добавлено требование о проведения испытаний погружением в воду на глубину 200 м упаковок с облученным топливом, содержащих активность более 37 ПБк. В настоящем издании Правил порог, определяющий "большое количество", заменен величиной, кратной A_2, которая считается более подходящим критерием для охвата всех РМ, поскольку базируется на анализе внешнего и внутреннего облучения людей в результате аварии. Глубина 200 м приблизительно соответствует континентальному шельфу и глубинам, для которых упомянутые выше исследования показали, что радиологическое воздействие может быть значительным. Поднятие упаковок с этой глубины возможно и часто может быть желательным. Хотя, согласно результатам оценок риска, влияние ожидаемой радиоактивной утечки на окружающую среду будет приемлемым, были установлено требование данного пункта (в Правилах МАГАТЭ-96 п. 657), поскольку подъем после аварии будет облегчен, если система герметизации не будет разрушена и, следовательно, только удержание твердого содержимого в упаковке считается необходимым. Поэтому конкретные требования к скорости утечки, используемые для других испытаний, здесь не применяются (п. 657.3 TS-G-1.1).

2.9.12-С4. Во многих случаях для конструкций упаковок типа B(U) необходимость выполнения требований других пунктов Правил приводит к тому, что система герметизации остается неповрежденной при погружении в воду на глубину 200 м (п. 657.4 TS-G-1.1).

2.9.12-С5. В случаях, когда эффективность системы герметизации снижена, считается, что возможна протечка в упаковку, а затем утечка из упаковки (п. 657.5 TS-G-1.1).

2.9.12-С6. Целью условий в отношении степени повреждения системы герметизации следует считать ограничение утечки только растворенным РМ. Удержание твердого содержимого внутри упаковки существенно упрощает подъем упаковки (п. 657.6 TS-G-1.1).

2.9.12-С7. Разрушение всей системы герметизации может происходить при длительном погружении, и рекомендации, сделанные, упомянутых выше в пунктах, следует считать применимыми консервативно для случая погружения на период около одного года, в течение которого извлечение вполне может быть завершено (п. 657.7 TS-G-1.1).

2.9.13-С1. Особое внимание следует уделять взаимодействию между низкодисперсным РМ и упаковочным комплектом в нормальных и аварийных условиях перевозки. Это взаимодействие не должно ни повреждать инкапсуляцию, оболочку или другую матрицу, ни вызывать разрушение самого материала в такой степени, чтобы изменялись его характеристики, как продемонстрировано требованиями п. 605 Правил МАГАТЭ-96 (п. 663.1 TS-G-1.1).

2.10. Требования к упаковкам типа B(M)

2.10.1-С1. Общий уровень безопасности при использовании упаковок типа B(M) должен быть не ниже, чем для упаковок типа B(U). Компенсация невыполнения отдельных технических требований для упаковок типа B(M), которая может иметь место по сравнению с упаковками типа B(U), должна осуществляться принятием специальных технических и организационных мер.

2.10.1-С2. Общее намерение состоит в том, чтобы нормы безопасности для упаковок типа B(M), в соответствии с которыми они конструируются и эксплуатируются, обеспечивали уровень безопасности, эквивалентный тому, который предусматривается для упаковок типа B(U) (п. 665.1 TS-G-1.1).

2.10.1-С3. Отступления от требований, приведенных в пп. 2.9.6 – 2.9.13 НП-053-04 (пп. 637, 653, 654 и 657–664 Правил МАГАТЭ-96), допускаются в некоторых ситуациях при согласовании соответствующим(и) компетентным(и) органом(ами). Примером этого может служить уменьшение диапазона температур окружающей среды и инсоляции для целей конструкции, если требования

для упаковок типа B(U) не считаются применимыми (пп. 637, 653, 654 и 664 Правил МАГАТЭ-96) или учитывается влияние тепловыделения радиоактивного содержимого (п. 665.2 TS-G-1.1).

2.10.2-C1. Для содержимого некоторых упаковок в результате процессов, описанных в п. 660.1 TS-G-1.1 (см. справку 2.9.8-C1 настоящего Руководства), давление стремится возрастать, и, если его не снижать, оно может в конечном счете вызвать разрушение упаковки или сокращать срок службы упаковки вследствие усталости. Чтобы избежать этого, п. 2.10.2 НП-053-04 (п. 666 Правил МАГАТЭ-96) разрешает включать в конструкцию упаковки устройства для периодического сброса давления. В соответствии с требованиями Правил такие упаковки со сбросом давления следует транспортировать как упаковки типа B(M) (п. 666.1 TS-G-1.1).

2.10.2-C2. Для обеспечения уровеня безопасности, эквивалентного тому, который должен быть обеспечен упаковкой типа B(U), конструкция может включать требования о допуске сброса только газообразных материалов, чтобы могли использоваться фильтры или альтернативные ограничители, или сброса о выполнении только под руководством квалифицированного дозиметриста (п. 666.2 TS-G-1.1).

2.10.2-C3. Периодический сброс давления разрешается для того, чтобы дать возможность ограничивать рост давления в упаковке, которое при нормальных условиях перевозки (см. пп. 719–724 Правил МАГАТЭ-96) или когда упаковка подвергнута тепловому испытанию (см. п. 728 Правил МАГАТЭ-96) может приводить к невыполнению Правил. Однако выход радиоактивности при нормальных условиях и в условиях аварий, когда не действует эксплуатационный контроль, ограничен положениями пункта по допустимому выходу активности (п.656 Правил МАГАТЭ-96) (п. 666.3 TS-G-1.1).

2.10.2-C4. Поскольку не существует определенного нормативного предела выхода радиоактивности при периодическом сбросе давления, когда имеет место эксплуатационный контроль, ответственному лицу следует быть готовым продемонстрировать компетентному органу, используя модель, по возможности максимально приближенную к реальным условиям сброса, что транспортные рабочие и население не получат дозы облучения, превышающие пределы, установленные соответствующими национальными органами. Когда периодический сброс происходит под контролем специалиста по радиационной защите, величина выброса может варьироваться по его рекомендациям, с учетом измерений, выполняемых в ходе эксплуатации гарантии, что обеспечения адекватной защиты транспортных рабочих и населения (п. 666.4 TS-G-1.1).

2.10.2-C5. Факторы, учитываемые при проведении такой оценки, включают:

(a) облучение из-за нормальной (в нормальных условиях) радиоактивной утечки и внешнего излучения от упаковки;

(b) расположение и ориентацию клапана сброса давления по отношению к рабочему месту оператора и находящимся поблизости персоналу и населения;

(c) время пребывания для персонала и населения;

(d) физическая и химическая природа сбрасываемого материала, например газообразный (галоген, инертный газ и т.п.), в виде частиц, растворимый(нерастворимый);

(t) другие ожидаемые дозы, получаемые операторами и населением (п. 666.5 TS-G-1.1).

2.10.2-C6. При оценке адекватности операций сброса давления скорее следует учитывать возможный ущерб от удержания и осаждения выброшенных РМ, чем от их рассеяния (п. 666.6 TS-G-1.1).

2.11. Требования к упаковкам типа C

2.11.1-C1. Аналогично упаковкам типа B(U) или типа B(M) концепция упаковок типа C состоит в том, чтобы они были способны выдержаивть условия тяжелых аварий при воздушной перевозке без потери содержимого или повышения уровня внешнего излучения в таких масштабах, которые могли бы представлять опасность для населения или лиц, вовлеченных в спасательные операции по очистке. Упаковка может быть безопасной для аварийного обращения, но она не обязательно должна быть пригодна для повторного использования (п. 667.1 TS-G-1.1).

2.11.2-C1. Одним из потенциальных после аварийных обстоятельств является захоронение упаковок. Упаковки, вовлеченные в катастрофу на высокой скорости, могут быть завалены обломками или погребены (захоронены) в грунте. Если упаковки, содержимое которых выделяет тепло, будут захоронены, это может приводить к росту температуры и внутреннего давления (п. 668.1 TS-G-1.1).

2.11.2-C2. Для выполнения этого анализа, принимаются такие начальные условия упаковки, как она проектировалась для перевозки (п. 668.2 TS-G-1.1).

2.11.2-C3. Следует демонстрировать соответствие нормам работоспособности в условиях захоронения, используя консервативные расчеты или компьютерные программы, прошедшие валидацию. При оценке условий захоронения следует принимать во внимание целостность как защиты так и системы герметизации в соответствии с требованиями, определенными в п. 2.11.3 НП-053-04 (п. 669(в) Правил МАГАТ-96) так же, как и в соответствии с требованием п. 2.11.2 НП-053-04 (п. 668

Правил МАГАТЭ-96) о том что термоизоляцию следует полагать неповрежденной. По этой причине следует уделять особое внимание способности рассеяния тепла и изменениям внутреннего давления в условиях захоронения (п. 668.3 TS-G-1.1).

2.11.3-C1. Упаковка типа С обеспечивает такой же уровень защиты при воздушных перевозках, как и упаковки типа B(U) и типа B(M) при перевозках наземным и морским транспортом. Для достижения этой цели необходимо обеспечивать, чтобы при испытаниях упаковок типа С уровни внешнего излучения и пределы потери активности были такие же, как у упаковок типа B(U) в аварийных условиях.

2.11.3-C2. Упаковка типа С обеспечивает уровни защиты для условий воздушного транспорта, аналогичные тем, что обеспечивают упаковки типа B(M) и типа B(U) в условиях тяжелых наземных и водных аварий. Для достижения этого необходимо гарантировать, чтобы один и тот же уровень внешнего излучения и одни и те же пределы потери содержимого требовались для упаковки типа В после аварии и упаковки типа С после испытаний (п. 669.1 TS-G-1.1).

2.11.3-C3. Для дальнейших пояснений относительно требований к пределам доз и пределам выхода материалов см. также п. 656 Правил МАГАТЭ-96 (п. 669.2 TS-G-1.1).

2.11.3-C4. Текст пп. 656.1-656.24 TS-G-1.1 (см. справки 2.9.2-C3 – 2.9.2-C8 и 2.9.5-C1 – 2.9.5-C18 настоящего Руководства) также применим к упаковкам типа С (п. 669.3 TS-G-1.1).

2.11.4-C1. Поскольку упаковка типа С может быть погружена в озеро, внутреннее море или на континентальный шельф, откуда возможно ее извлечение, следует предусматривать усиленное (на глубину 200 м) испытание на погружение в воду для всех упаковок типа С, независимо от общего количества активности в упаковке (п. 670.1 TS-G-1.1).

2.11.4-C2. При авиакатастрофе над поверхностью воды упаковка может быть погружена в воду на период времени до ее извлечения. На нее может воздействовать большое гидростатическое давление, зависящее от глубины погружения. В первую очередь беспокойство вызывает возможное разрушение системы герметизации. Дополнительная проблема – извлечение упаковки до начала серьезной коррозии (п. 670.2 TS-G-1.1).

2.11.4-C3. Требуемая глубина 200 м приблизительно соответствует максимальной глубине континентального шельфа. Извлечение упаковки с этой глубины было бы возможным и желательным. Критерием приемлемости для испытания на погружение служит отсутствие разрушения системы герметизации. *Дальнейшие рекомендации можно найти в справках* 2.9.12-C2, 2.9.12-C3 и 2.9.12-C5 – 2.9.12-C7 настоящего Руководства, пп. 657.2, 657.3 и 657.5-657.7 TS-G-1.1, соответственно (п. 670.3 TS-G-1.1).

2.11.4-C4. Поскольку море представляет собой более мягкую поверхность при ударе, чем земля, считается достаточным, чтобы испытание на погружение было отдельным требованием для демонстрации, не последовательным по отношению к другим испытаниям (п. 670.4 TS-G-1.1).

2.12. Требования к упаковкам, содержащим делящиеся материалы

2.12.1-C1. Требования к упаковкам, содержащим делящиеся материалы, являются дополнительными требованиями, предъявляемыми для гарантии, что упаковки с делящимся содержимым останутся подкритичными в нормальных и аварийных условиях перевозки. Все другие необходимые требования Правил должны быть удовлетворены. Система осуществления контроля критичности при перевозке предписана в разделе 5 НП-053-04 (раздел V Правил МАГАТЭ-96) (п. 671.1 TS-G-1.1).

2.12.2-C1. Упаковки, содержащие делящийся материал, которые отвечают любому требованию подпунктов а) – г) п. 2.12.2 НП-053-04, освобождаются от оценки безопасности по критичности, указанной в пп. 2.12.4 – 2.12.12 НП-053-04.

2.12.2-C2. Упаковки, содержащие делящийся материал, который удовлетворяет любому из требований, изложенных в пп. 2.12.2 а) – г) НП-053-04. (пп. 672.a) – d) Правил МАГАТЭ-96), освобождены от оценки безопасности по критичности, установленной в п. 2.12 НП-053-04 (п. 671.b) Правил МАГАТЭ-96). Обеспечение того, что критерии освобождения удовлетворяются как для отдельной упаковки, так и для партии груза, отнесено к ответственности грузоотправителя освобожденного материала (п. 672.1 TS-G-1.1).

2.12.2-C3. Первоисточником пределов, приведенных в п. 2.12.2.в) (дефис 1) НП-053-04 (п. 672.a)(i) Правил МАГАТЭ-96), является работа Вудкока и Пакстона [68], где минимальный объем контейнера был равен 1 л и максимально 250 упаковок были использованы, чтобы получать пределы делящегося материала величиной 9,4 г для Pu-239, 16,0 г для U-233 и 16,2 г для U-235 для отдельных упаковок. Практические соображения (последовательность и то, что величина A_2 для Pu-239 приводит к количеству материала в граммах, которое должно перевозиться как РМ особого вида или в упаковке типа В) привели к изменению впоследствии величины предела [69] до универсальной величины 15 г.

В п. 2.12.2.в) (дефис 2) НП-053-04 (п. 672.a)(ii) Правил МАГАТЭ-96) минимальная критическая концентрация для Pu-239 равна 7,5 г/л и приблизительно 12 г/л для U-235 и U-233 для систем с

водным замедлителем [70]. Эти величины соответствуют отношениям масс делящегося материала и водорода 6,7% и 10,8%, соответственно. Таким образом, водородосодержащие смеси с менее чем 5%-ным отношением масс делящегося материала и водорода имеют адекватный запас подкритичности. Хотя использование массового соотношения в критериях освобождения может быть более громоздким, чем при использовании величины концентрации (как в предшествующих изданиях Правил МАГАТЭ), эта формулировка служит более подходящей мерой для водородосодержащих смесей, кроме воды (п. 672.2 TS-G-1.1).

2.12.2-C4. П. 2.12.2.в) (дефис 3) НП-053-04 (п. 672.a) iii) Правил МАГАТЭ-96) облегчает безопасную перевозку загрязненных отходов, содержащих делящийся материал в очень низких концентрациях (п. 672.3 TS-G-1.1).

2.12.2-C5. Соображения безопасности, лежащие в основе трех условий освобождения согласно п. 2.12.2.в) НП-053-04 (п. 672.a) Правил МАГАТЭ-96), основаны на предположении водородного замедлителя и отражателя; таким образом, применяется ограничение на присутствие потенциально более активных элементов бериллия и дейтерия (п. 672.4 TS-G-1.1).

2.12.2-C6. Каждое освобождение, предусмотренное в п. 2.12.2.в) НП-053-04 (п. 672(a) Правил МАГАТЭ-96), далее ограничено допустимым пределом массы груза. Формула для предела массы учитывает смесь делящегося материала, но формула и величины, приведенные в табл. 2.3 НП-053-04 (табл. XII Правил МАГАТЭ-96), установлены так, чтобы максимальная масса груза была не больше чем приблизительно половина величины критической массы. Таким образом, критерии освобождения обеспечивают два объекта контроля (индивидуальная упаковка и груз) для предотвращения накопления делящегося материала в количествах, которые могли бы приводить к потенциальной критичности (п. 672.5 TS-G-1.1).

2.12.2-C7. Предельное значение обогащения 1% для U-235 по п. 2.12.2.а) НП-053-04 (п. 672.b) Правил МАГАТЭ-96) является округленной величиной, немного меньшей, чем минимальное критическое обогащение U-235 для бесконечных гомогенных смесей урана и воды, опубликованное Пакстоном и Прувостом [70]. Гомогенность, рассмотренная в пункте, предназначена для исключения структурирования (упорядоченного расположения в виде решетки) слабообогащенного урана в среде замедлителя. Условлено, что к гомогенным смесям и суспензиям относятся смеси, в которых частицы равномерно распределены и имеют диаметр не более 127 мкм [VII.1], т.е. не способны проходить через экран с ячейкой 120 мкм. Концентрация может также изменяться в пределах материала; однако изменения концентрации порядка 5% не должны нарушать безопасность по критичности (п. 672.6 TS-G-1.1).

2.12.2-C8. Предел освобождения, приведенный в п. 2.12.2.б) НП-053-04 (п. 672.c) Правил МАГАТЭ-96), предписывает для раствора уранила нитрата иметь содержание обогащенного U-235 не более чем 2% по массе урана. Этот предел немного ниже, чем величина минимального критического обогащения, представленная Пакстоном и Прувостом [70] (п. 672.7 TS-G-1.1).

2.12.2-C9. В п. 2.12.2.г) НП-053-04 (п. 672.d) Правил МАГАТЭ-96) установлен предел 1 кг для партий плутония, содержащего по массе не более чем 20% Pu-239 и Pu-241. Подкритичность при перевозке этого количества плутония фактически гарантирована упаковками типа B(U) или типа B(M), которые обеспечивают адекватное разделение с другими делящимися материалами, и благодаря тому, что композиция плутония не легко достигает критичности в системах деления на тепловых нейтронах. (Результаты анализа по методу Монте-Карло указывают, что для создания критической массы в металлической сфере при полном отражении на воде необходима масса 6,8 кг материала с композицией 80%-ого Pu-238 и 20%-ого Pu-239 по массе [71]) (п. 672.8 TS-G-1.1.)

2.12.2-C10. Освобождения, согласно пункту, первоначально были задуманы для гарантии, что должны сложиться невероятные условия для таких упаковок с освобожденными делящимися материалами на транспортном средстве, чтобы вызывать аварию по критичности. Кроме накопления на транспортном средстве достаточной массы делящегося материала, этот материал должен быть впоследствии перегруппирован внутри подходящего замедляющего материала, чтобы получать плотность и форму, требуемые для критической системы. Где необходимо, освобождения обеспечивают пределы для груза для предотвращения накопления критической массы. Перевозчикам и компетентным органам следует быть бдительными на случай возможного неправильного употребления положений, связанных с пределами освобождения, что может увеличивать возможность возникновения критичности (п. 672.9 TS-G-1.1).

2.12.2-C11. Другие данные в обоснование пределов освобождения, приведенных в пункте, можно найти в [72–74] (п. 672.10 TS-G-1.1).

2.12.3-C1. Требуется конструирование и транспортирование упаковок, содержащих делящийся материал, осуществлять таким образом, чтобы случайная критичность была исключена. Критичность достигается, когда цепная реакция деления становится самоподдерживающейся вследствие баланса между производством нейтронов и их потерей за счет поглощения и утечки из системы. В конструкции упаковки учитывается много параметров, которые влияют на взаимодействие нейтронов (см. приложение V настоящего Руководства и приложение VII TS-G-1.1). При проведении оценки критичности должны учитываться эти параметры и подкритичность упаковки должна

обеспечиваться как в нормальных, так и аварийных условиях перевозки. Оценки следует выполнять квалифицированным лицам, имеющим опыт в области безопасности по критичности. Дополнительно к очевидному контролю за массой делящегося материала разработчик может влиять на управление критичностью любым из следующих способов:

(i) Выбор формы для системы локализации или для упаковочного комплекта влияет на утечку нейтронов из областей деления вследствие изменения соотношения поверхности к объему. Например, тонкие цилиндры или пластины имеют повышенную утечку по сравнению со сферами и цилиндрами с соотношением высоты к диаметру, близким к 1.

(ii) Выбор материала упаковочного комплекта влияет на число утекающих нейтронов, которые отражаются обратно в делящийся материал. Число нейтронов, возвращенных (или покинувших делящийся материал), и их энергии в большой степени определяются выбором материала упаковочного комплекта.

(iii) Выбор внешних размеров упаковки. Нейтроны, утекающие из упаковки, содержащей делящийся материал, могут войти в другую упаковку с делящимся материалом и произвести акт деления. Взаимодействие нейтронов может зависеть от размеров упаковки, которые определяют пространственное расположение делящегося материала и могут быть откорректированы с тем, чтобы ограничивать взаимодействие между различными частями партии материала.

(iv) Использование фиксированных нейтронных поглотителей для удаления нейтронов (см. п. 501.8 TS-G-1.1 и справку 2.12.3-C2 настоящего Руководства).

(v) Выбор конструкции упаковки для контролирования соотношения замедлителя и делящегося материала, включая уменьшение пустот, чтобы ограничивать количество воды, которая может натечь в упаковку (п. 671.2 TS-G-1.1).

2.12.3-C2. В случаях, когда безопасность по критичности зависит от присутствия нейтронных поглотителей, как отмечается в данном пункте, предпочтительнее, чтобы нейтронный поглотитель был твердым телом и неотъемлемой частью контейнера. Поглотители в виде растворов или поглотители, растворимые в воде, не соответствуют этому требованию, потому что их непрерывное присутствие не может быть гарантировано. Процедурой подтверждения или испытания следует гарантировать, что присутствие и распределение нейтронного поглотителя в элементах упаковочного комплекта соответствуют принятому в оценке безопасности по критичности. Только обеспечение количества поглощающего нейтроны материала не всегда достаточно, поскольку распределение нейтронных поглотителей в компонентах упаковочного комплекта или внутри самого содержимого может значительно влиять на коэффициент размножения нейтронов в системе. Неопределенности методов подтверждения следует учитывать при проверке на соответствие оценкам безопасности по критичности (п. 501.8 TS-G-1.1).

2.12.3-C3. Обстоятельства, которые требуется рассматривать при оценке предназначенной для перевозки упаковки и перечислены в пункте, могут повлиять на размножение нейтронов в упаковке или в группе упаковок. Эти обстоятельства типичны среди тех, которые могут быть важны, и их следует тщательно рассматривать при проведении оценок. Однако, в зависимости от конструкции упаковки и специальных условий, предусматриваемых при перевозке и обращении с упаковками, может возникать необходимость рассмотривания других нетипичных обстоятельств, чтобы поддерживать подкритичность упаковки при всех мыслимых условиях перевозки. Например, если результаты испытаний показывают перемещение делящегося материала или поглотителя в упаковке, при проведении оценки безопасности по критичности следует рассматривать пределы неопределенности, связанные с такими перемещениями. Следует иметь в виду, что прототип, используемый в испытании, может отличаться в деталях от промышленной модели и качеством изготовления. Размеры прототипа в заводском исполнении могут понадобиться для проверки влияния допусков на испытания. Необходимо учитывать различия между испытанными моделями и производственными моделями. Цель – получение максимально мыслимого коэффициента размножения нейтронов так, чтобы при этом была гарантирована подкритичность (п. 671.3 TS-G-1.1).

2.12.3-C4. Вода влияет на подкритичность несколькими способами. Когда она смешана с делящимся материалом, результирующее замедление нейтронов может значительно уменьшать количество делящегося материала, необходимого для достижения критичности. Как отражатель нейтронов вода также увеличивает коэффициент размножения нейтронов, хотя и не столь сильно. Если водный отражатель расположен за пределами системы локализации, он менее эффективен. Он еще менее эффективен, находясь за пределами упаковки. Толстые слои воды (~ 30 см) полной плотности между упаковками могут снижать взаимодействие нейтронов в группах до несущественных значений [75, 76]. При проведении оценки критичности следует учитывать изменения геометрии упаковки, а также условий, которые могут приводить к тому, что вода будет вести себя больше как замедлитель, чем как отражатель, или наоборот. Следует рассматривать все состояния воды, включая снег, лед, пар и струи. Эти состояния воды с низкой плотностью создают (особенно, если рассматривать наличие воды между упаковками) размножение нейтронов больше, чем наблюдае-

мое для воды с полной плотностью (см. приложение VII TS-G-1.1 и приложение V к настоящему Руководству) (п. 671.4 TS-G-1.1).

2.12.3-C5. Нейтронные поглотители иногда применяются в упаковках для уменьшения эффекта замедления и вклада в размножение нейтронов за счет взаимодействия между упаковками (см. п. 501.8 TS-G-1.1 и справку 2.12.3-C2 настоящего Руководства). Типичные поглощающие нейтроны материалы, используемые для контроля критичности, наиболее эффективны, если присутствует замедлитель нейтронов для снижения энергии нейтронов. Потеря эффективности поглотителей нейтронов, например за счет коррозии и перераспределения или, как в случае порошкового содержимого, за счет осаждения, может заметно влиять на коэффициент размножения нейтронов (п. 671.5 TS-G-1.1).

2.12.3-C6. В пункте рассматриваются обстоятельства, возникающие при изменении размеров или перемещении содержимого в процессе перевозки. При установлении запаса подкритичности следует рассматривать возможные изменения расположения упаковочного комплекта или содержимого. Изменение размеров упаковки при испытаниях в нормальных или аварийных условиях должно быть предметом рассмотрения исследователя, занимающегося оценкой подкритичности. При появлении признаков изменения размеров во время аварийного испытания исследователю следует проводить анализ чувствительности размножения нейтронов от этих изменений. Потеря делящегося материала из группы упаковок, рассматриваемых при оценке по п. 682 Правил МАГАТЭ-96, должна быть ограничена подкритичным количеством. Это подкритичное количество материала должно соответствовать типу содержимого и оптимальному водному замедлителю и отражателю в виде слоя воды полной плотности толщиной 20 см. Уменьшение расстояний между упаковками, вероятное вследствие возможных повреждений упаковки при перевозке, будет прямо влиять на взаимодействие нейтронов между упаковками; таким образом, это требует проверки. Следует рассматривать воздействие на реактивность допусков на размеры и состав материалов. Не всегда очевидно, следует ли определенный размер или содержимое материала увеличивать или уменьшать или как в комбинации они повлияют на реактивность. Может потребоваться ряд расчетов для определения максимальной реактивности системы или для разработки подходящих допущений (п. 671.6 TS-G-1.1).

2.12.3-C7. Влияние температурных изменений на устойчивость формы делящегося материала или на характер взаимодействия нейтронов требует исследования. Например, для урановых систем, где доминируют нейтроны с очень низкими энергиями (тепловые), снижение температуры приводит к увеличению размножения нейтронов. Изменение температуры может также влиять на целостность упаковки. Температуры, которые следует рассматривать, включают и те, которые возникают вследствие требований к температуре окружающей среды, определенных в п. 676 Правил МАГАТЭ-96, и те, что являются результатом установления требований к испытаниям (пп. 728 или 736 Правил МАГАТЭ-96 – по обстоятельствам) (п. 671.7 TS-G-1.1).

2.12.4-C1. Требования к демонстрации подкритичности для отдельной упаковки установлены так, чтобы определять максимальное размножение нейтронов в нормальных и аварийных условиях перевозки. При проведении оценки необходимое внимание должно быть уделяться результатам испытаний, требуемых в пп. 681.b) и 682.b) Правил МАГАТЭ-96, и условиям, в которых может быть принято отсутствие протечки воды, как это описано в п. 677 Правил МАГАТЭ-96 (п. 679.1 TS-G-1.1).

2.12.4-C2. Оценка требует, чтобы при определении количества 5N подкритичных упаковок рассматривались все варианты расположения упаковок, поскольку взаимодействие нейтронов, возникающее между ними в партии, может не быть одинаковым по трем направлениям (п. 681.1 TS-G-1.1).

2.12.4-C3. Оценка может включать расчеты больших конечных партий, для которых отсутствуют экспериментальные данные. Поэтому следует сделать специальное вспомогательное допущение дополнительно к другим запасам, обычно учитывающим случайные и систематические влияния на рассчитанные значения коэффициента размножения нейтронов (п. 681.2 TS-G-1.1).

2.12.4-C4. Термин «подкритичный» означает, что максимальное размножение нейтронов, скорректированное с учетом погрешности расчета, неопределенности и запаса подкритичности, должно быть менее 1,0. Специальные рекомендации по процедуре оценки и рекомендации по оценке верхнего предела подкритичности см. в приложении VII TS-G-1.1 и в приложении V к настоящему Руководству (п. 681.3 TS-G-1.1).

2.12.4-C5. С издания Правил МАГАТЭ 1996 г. (и в НП-053-04) испытания для аварийных условий перевозки должны предусматривать испытание на механическое повреждение согласно п. 727.c) Правил МАГАТЭ-96 для легких (< 500 кг) и низкой плотности (< 1000 кг/м^3) упаковок. Критерии для введения испытания на динамическое раздавливание в противоположность испытанию на свободное падение, согласно п. 727.a) Правил МАГАТЭ-96, те же, что используются для упаковок с содержимым, большим чем 1000 A_2, не относящимся к РМ особого вида (см. п. 656.b) НП-053-04) (п. 682.1 TS-G-1.1).

2.12.4-C6. Пункт 682.c) Правил МАГАТЭ-96 накладывает серьезное ограничение на любой

делящийся материал, для которого разрешен выход из упаковки при аварийных условиях. Следует принимать все меры предосторожности для предотвращения выхода делящегося материала из системы герметизации. Множество возможных конфигураций для делящегося материала, выходящего из системы герметизации, и возможность последующих химических или физических изменений обуславливают требование, чтобы суммарное количество делящегося материала, который выходит из партии упаковок, было меньше, чем минимальная критическая масса для данного типа делящегося материала при оптимальных условиях замедления и отражения в виде 20 см слоя воды полной плотности. Следует полагать, что из каждой упаковки в партии выходит равное количество материала. Трудность состоит демонстрации максимального количества, которое может выйти из системы герметизации. В зависимости от элементов упаковочного комплекта, которые определяют систему герметизации и систему локализации, делящийся материал может выйти из системы герметизации, но не из системы локализации. В таких случаях могут быть адекватные механизмы для контроля критичности. Назначение этого пункта, однако, состоит в том, чтобы обеспечивать должное рассмотрение любого потенциального выхода делящегося материала из упаковки, если можно предположить потерю управления критичностью (п. 682.2 TS-G-1.1).

2.12.4-С7. Следует обеспечивать, чтобы рассмотренные условия оценки включали также условия менее серьезные, чем условия рассмотренных испытаний. Например, упаковка может оставаться подкритичной после испытания на свободное падение с высоты 9 м, но быть критичной при условиях, соответствующих менее серьезному удару (п. 682.3 TS-G-1.1).

2.12.4-С8. См. пп. 681.1–681.3 TS-G-1.1 (справки 2.12.4-С2 – 2.12.4-С4 настоящего Руководства соответственно) (п. 682.4 TS-G-1.1).

2.12.5-С1. Это требование относится к оценке критичности упаковок в нормальных условиях перевозки. Предотвращение проникновения куба с ребром 10 см рассматривалось первоначально, когда были разрешены открытые упаковки типа "птичьей клетки". Теперь это требование может рассматриваться как обеспечение критерия для оценки целостности внешнего контейнера упаковки. Существуют упаковки, имеющие характеристики, аналогичные конструкции типа "птичьей клетки", но выступы которых за пределы закрытой оболочки (птица) упаковочного комплекта существуют не для того, чтобы обеспечивать расстояние между единицами груза в группе, а, например, как ограничители удара. Если на эти выступы не возлагается функция дистанциирования единиц груза, то куб размером 10 см за или между выступами, но за пределами закрытой оболочки упаковочного комплекта, не следует рассматривать как "проникший" в упаковку (п. 675.1 TS-G-1.1).

2.12.6-С1. Выход за пределы температурного диапазона -40°С ... 38°С может быть приемлемым в некоторых ситуациях при согласовании компетентным органом. Если оценка аспектов деления нуклидов в упаковке относительно реакции на нормативные испытания выявляет неблагоприятное влияние температуры окружающей среды, то компетентному органу следует определять в сертификате-разрешении об утверждении область температур, для которой эта упаковка утверждена (п. 676.1 TS-G-1.1).

2.12.7.2-С1. Из-за существенного влияния, которое может оказывать вода на размножение нейтронов делящихся материалов, оценка критичности упаковки требует учета присутствия воды во всех полостях упаковки в той степени, которая вызывает максимальное размножение нейтронов. Присутствие воды может быть исключено только для свободных полостей, защищенных специальными устройствами, которые должны оставаться водонепроницаемыми в аварийных условиях перевозки. Следует рассматривать вероятные условия перевозки, которые могут приводить к избирательному затоплению упаковок, ведущему к увеличению размножения нейтронов (п. 677.1 TS-G-1.1).

2.12.7.2-С2. Для того, чтобы считаться водонепроницаемой для предотвращения проникновения или утечки воды в связи с безопасностью по критичности, необходимо рассмотрение испытаний как на нормальные, так и на аварийные условия перевозки. Окончательные критерии утечки для "водонепроницаемости" должны быть установлены в проекте ТУК для каждой упаковки и быть приемлемыми для компетентного органа. Должно быть продемонстрировано, что эти критерии достигнуты при испытаниях и достижимы в промышленных моделях (п. 677.2 TS-G-1.1).

2.12.7.2-С3. Размножение нейтронов для упаковок, содержащих гексафторид урана, очень чувствительно к количеству водорода в упаковке. Вследствие этой чувствительности большое внимание уделено ограничению возможности проникновения воды в упаковки. Лицам, ответственным за испытание, подготовку, эксплуатацию и перевозку этих упаковок, следует быть осведомленными о чувствительности размножения нейтронов для гексафторида урана даже к небольшим количествам воды и гарантировать, что наличие специальных устройств, определенных здесь, строго обеспечивается (п. 677.3 TS-G-1.1).

2.12.7.5-С1. Значения неизвестных или неопределенных параметров следует выбирать так, чтобы обеспечивать максимальное значение коэффициента размножения нейтронов при выполнении оценок, описанных в пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04 (пп. 671– 682 Правил МАГАТЭ-96). На практике это требование может быть удовлетворено путем охвата влияния этих неопределенностей подходящими допущениями в критериях приемлемости. Смеси, содержание которых определено не

достаточно ясно, часто производятся как побочные продукты производственных процессов, например, загрязненная рабочая одежда, перчатки или инструменты, остатки химических анализов и реакций, мусор, собранный при уборке полов, и прямые продукты обработки отходов. Важно определять комбинацию параметров, которая приводит к максимальному размножению нейтронов. Таким образом, оценка безопасности по критичности должна включать как определение неизвестных параметров, так и объяснение взаимосвязи параметров и их влияния на размножение нейтронов. Диапазон возможных величин (основанный на доступной информации и соответствующий природе вовлеченного материала) следует определять для каждого параметра, и для любой возможной комбинации параметров следует показывать, что коэффициент размножения нейтронов удовлетворяет критерию приемлемости. Этот принцип также следует применять для характеристик облучения при определении изотопного состава облученного ядерного топлива (п. 673.1 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C1. В этом пункте рассмотрены требования к оценке критичности облученного ядерного топлива. Главной целью является обеспечение того, что содержание радионуклидов, использованное для оценок безопасности, дает консервативную оценку размножения нейтронов по сравнению с фактической загрузкой в упаковке. Облучение делящегося вещества обычно уменьшает содержание делящегося нуклида и производит актиниды, дающие вклад в образование и поглощение нейтронов, и продукты деления, дающие вклад в поглощение нейтронов. Длительное комбинированное влияние таких изменений на состав радионуклидов должно приводить к снижению реактивности по сравнению с необлученным состоянием. Однако конструкция реакторного топлива, включающая фиксированные выгорающие нейтронные поглотители, может испытывать увеличение реактивности в течение короткого срока облучения, если прирост реактивности из-за истощения нейтронных поглотителей больше, чем потеря реактивности за счет изменения композиции топлива. Если при оценке использован изотопный состав, который не соответствует условию большего или равного максимального нейтронного размножения в процессе облучения, то для предполагаемой композиции делящегося материала следует демонстрировать обеспечение консервативного значения размножения нейтронов для известных характеристик облученного ядерного топлива, загруженного в упаковку (п. 674.1 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C2. Если при проведении оценки критичности не может быть продемонстрировано, что в течение периода возможного облучения было обеспечено максимальное размножение нейтронов, необходимы предперевозочные измерения для гарантии, что характеристики делящегося материала удовлетворяют критериям (например, общее облучение и остаточное тепло), принятым при оценке (см. п. 502.8 TS-G-1.1). Требование для измерений перед транспортированием соответствует требованию гарантировать присутствие фиксированных нейтронных поглотителей (см. п. 501.8 TS-G-1.1 или справку 2.12.3-C2 настоящего Руководства) или сменных нейтронных поглотителей (см. п. 502.4 TS-G-1.1 или 2.12.7.6-C4 настоящего Руководства), если это требуется в соответствии с сертификатом-разрешением об утверждении конструкции упаковки, который использован для контроля критичности. В случае облученного ядерного топлива обеднение делящихся нуклидов и выгорание актинидов, поглощающих нейтроны, и продуктов деления может обеспечиать контроль критичности, который должен быть подтвержден (п. 674.2 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C3. Следует удостовериться, что облученное ядерное топливо находится в диапазоне условий, для которых при оценке безопасности по критичности продемонстрировано соответствие критериям пп. 2.12.1–2.12.12 НП-053-04 (пп. 671-682 Правил МАГАТЭ-96). Обычно первичными условиями, предлагаемыми для использования при оценке безопасности облученного ядерного топлива с известным обогащением, являются выгорание и характеристики распада, и если так, эти параметры должны быть проверены измерением. Методы измерения должны зависеть от вероятности ошибочной загрузки топлива и от величины запаса подкритичности из-за облучения. Например, с ростом числа топливных элементов с различным облучением, хранимых в бассейне выдержки реактора, и длительности интервала времени от выгрузки до перевозки возрастает вероятность ошибочной загрузки. Аналогично, если при оценке критичности использовалось облучение 10 ГВт·сут/МтU, но загрузка топлива в упаковки с облучением менее 40 ГВт сут/МтU не разрешена сертификатом-разрешением на конструкцию, проверка облучения измерением с использованием метода, обладающего большой неопределенностью, может быть достаточной. Однако, если в оценках критичности использовалось облучение 35 ГВт·сут/МтU, то метод измерения для проверки облучения должен быть значительно более надежным. Критерии измерений, которые необходимо выполнять для получения разрешения на загрузку и перевозку топлива, следует ясно определять в сертификате-разрешении об утверждении. В публикациях [77-80] имеется информация об используемых [77] или предложенных для использования подходах к измерениям [78-80] (п. 502.8 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C4. В сертификатах-разрешениях об утверждении для упаковок, содержащих делящийся материал, указывается разрешенное содержимое упаковки. Перед каждой перевозкой следует проверять, что делящееся содержимое имеет характеристики, представленные в перечне разрешенного содержимого. Если сменные поглотители нейтронов или другие сменные устройства, контролирующие характеристики критичности, специально разрешены сертификатом-разрешением,

то проверками и (или) испытаниями (по обстоятельствам) следует убедиться в присутствии, правильном положении и (или) концентрации этих поглотителей нейтронов или устройств, управляющих реактивностью. Растворы поглотителей или растворимые в воде поглотители не соответствуют назначению, поскольку их непрерывное присутствие не может быть гарантировано. Процедурой подтверждения или испытаниями следует гарантировать, что наличие, правильное(ые) положение(я) и(или) концентрация(и) нейтронного поглотителя или контролирующих устройств в пределах упаковки соответствуют принятым в оценке безопасности по критичности. Только обеспечения количества контролирующего материала не всегда достаточно, поскольку его распределение в пределах упаковки может иметь значительное влияние на реактивность системы (п. 502.4 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C5. Максимальное размножение нейтронов часто имеет место в необлученном состоянии. Однако один из методов увеличивающих полезное время нахождения делящегося материала в реакторе, состоит в том, чтобы добавлять распределенные фиксированные выгорающие поглотители нейтронов, обеспечивающие большее начальное содержание делящихся нуклидов, чем в альтернативном случае. Такое реакторное топливо с выгорающими поглотителями может увеличивать реактивность в течение короткого периода облучения, когда прирост реактивности за счет выгорания фиксированных поглотителей нейтронов больше, чем уменьшение реактивности за счет изменения композиции топлива. Если проводится оценка критичности такого топлива, как необлученного или «неотравленного», то не требуется никаких предперевозочных измерений, поскольку при этом обеспечивается консервативная оценка максимального размножения нейтронов в процессе облучения. Поэтому требования 1-го абзаца п. 2.12.7.6 НП-053-04 (п. 674.a) Правил МАГАТЭ-96) применяются не к требованиям 2-го абзаца данного пункта НП-053-04 (п. 674.b) Правил МАГАТЭ-96). Кроме того, топливо реактора-размножителя и топливо реактора накопителя может иметь коэффициент размножения нейтронов, который растет с увеличением времени облучения (п. 674.3 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C6. При оценке коэффициента размножения нейтронов для облученного ядерного топлива необходимо рассматривать те же нормы по работоспособности, что и для необлученного ядерного топлива. Однако в ходе оценки для облученного ядерного топлива необходимо определять изотопный состав и распределение, соответствующие имеющейся информации от истории облучения. Состав радионуклидов конкретной топливной сборки в реакторе зависит в различной степени от начального избытка радионуклидов, удельной мощности и истории эксплуатации реактора (включая температуру замедлителя, растворенный бор и положение сборки в реакторе и т.п.), присутствия выгорающих поглотителей или управляющих стержней, времени выдержки после выгрузки. Редким, если не невозможным, является случай, когда все параметры облучения известны специалисту, проводящему оценки безопасности. Поэтому должны быть учтены требования п. 673 Правил МАГАТЭ-96 относительно неизвестных параметров. Обычно имеющаяся информация о характеристиках облученного ядерного топлива включает начальный состав топлива, среднее выгорание в сборке и время выдержки. Данные по истории эксплуатации, осевому распределению выгорания и присутствию выгорающих поглотителей обычно должны быть основаны на общих знаниях относительно характеристик реактора с рассматриваемым облученным топливом. Должно быть продемонстрировано, что состав и распределение радионуклидов, определенные с использованием известных и предполагаемых параметров облучения и времени распада, обеспечат консервативную оценку коэффициента размножения нейтронов после учета всех влияний и неопределенностей. Консерватизм можно продемонстрировать, игнорируя все или часть продуктов деления и(или) актинидов, поглощающих нейтроны, или предполагая более низкое выгорание, чем в реальности. Аксиальное распределение радионуклидов в топливной сборке очень важно, так как области с пониженным выгоранием на концах сборки могут вызвать увеличение реактивности по сравнению со сборкой, для которой предполагается среднее выгорание по всей высоте [81–83] (п. 674.4 TS-G-1.1).

2.12.7.6-C7. Следует использовать достоверные (прошедшие валидацию) расчетные методы для определения размножения нейтронов, предпочтительно в сравнении с подходящими измеренными данными (см. приложение VII TS-G-1.1 (приложение V к настоящему Руководству). Для облученного ядерного топлива в такую валидацию следует включать сравнение с измеренными данными для радионуклидов. Результаты этой валидации следует учитывать при проведении анализа влияния неопределенностей и косвенного влияния, обычно связанных с расчетным размножением нейтронов. Ядерные сечения продуктов деления могут быть важны при анализе безопасности по критичности облученного ядерного топлива. Измерениям и оценке ядерного сечения продуктов деления в широком энергетическом диапазоне не придавалось значения в той степени, какую имеют ядерные сечения актинидов. Поэтому адекватность ядерных сечений продуктов деления, использованных в оценке, следует анализировать и обосновывать специалистам в области безопасности (п. 674.5 TS-G-1.1).

3. ИСПЫТАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, УПАКОВОЧНЫХ КОМПЛЕКТОВ И УПАКОВОК

3.1. Общие положения

3.1.1-С1. Подтверждать соответствие РМ и упаковок требованиям НП-053-04 можно любым из методов, приведенных в подпунктах а) – г), или их сочетанием. Поэтому в тексте НП-053-04 и в настоящем Руководстве, если специально не указано проведение практического испытания, под испытанием понимается любой из указанных методов доказательств или их сочетание.

3.1.1-С2. Правила содержат нормы по эксплуатационным характеристикам, как противоположность специальным конструкционным требованиям. Хотя это и означает большую гибкость для проектировщиков, однако представляет больше трудностей при получении утверждения. Смысл в том, чтобы разрешать заявителю использовать принятую инженерную практику для оценки упаковки или РМ. Это может включать в себя испытание полномасштабных упаковок, масштабных моделей, макетов отдельных частей упаковок, расчеты и разумную аргументацию или комбинацию этих методов. Вне зависимости от использованных методов, документация должна быть достаточно полной и точной, чтобы убедить компетентные органы в том, что все аспекты безопасности и виды отказов рассмотрены. Все принятые допущения следует ясно излагать и обосновывать в полной мере (п. 701.1 TS-G-1.1).

3.1.1-С3. Решение о выборе метода доказательства соответствия РМ или упаковки Правилам основывается на многочисленных факторах, включая сложность и новизну конструкции, наличие необходимого оборудования, возможностей макетирования и моделирования. Целесообразно уже в ходе разработки проконсультироваться по этому вопросу с ГКО и органами государственного регулирования безопасности.

3.1.1-С4. Для демонстрации соответствия следует рассматривать многие другие факторы. Они включают в себя (но не ограничиваются этим) сложность конструкции упаковки, специальные явления, которые требуют исследования, наличие оборудования, возможность точных измерений и(или) влияние масштабного фактора (п. 701.3 TS-G-1.1).

3.1.1-С5. Испытание упаковок, содержащих РМ, представляет собой особую проблему, связанную с радиоактивной опасностью. В то время как проведение испытаний, требующих использования радиоактивных материалов, может быть нецелесообразным, необходимо убедить компетентные органы, что все регулирующие требования выполнены. При решении вопроса о том, должны ли использоваться при проведении испытаний РМ или предназначенное радиоактивное содержимое, следует выполнять оценки радиационной безопасности (п. 701.2 TS-G-1.1).

3.1.1-С6. В том случае, когда Правила требуют соответствия установленному пределу удельной утечки, разработчику следует предусмотривать специальные средства, чтобы иметь возможность продемонстрировать требуемую степень герметичности. Один из методов состоит в том, чтобы предусмотривать какую-либо пробоотборную камеру или испытательный штуцер, которые могут быть легко проверены перед погрузкой (п. 701.4 TS-G-1.1).

3.1.1-С7. В испытуемых моделях следует точно представлять заданную конструкцию с методами изготовления, обеспечением качества и контролем качества, идентичными тем, которые предназначены для конечного продукта. Повышенное внимание следует уделять прототипу гарантии, что испытуемый образец действительно представляет изделие. Если используется имитация радиоактивного содержимого, то следует обеспечивать, чтобы это содержимое правильно представляло реальное содержимое по массе, плотности, химическому составу, объему и любым другим важным характеристикам. Требуется, чтобы содержимое имитировало любые нагрузки, воздействующие на внутреннюю поверхность упаковки и на закрывающие крышки. Любые недостатки и отличия модели следует документировать перед испытаниями, кроме того, следует проводить оценки с целью определения, как могут повлиять выявленные отличия на результаты испытаний – либо положительно, либо отрицательно (п. 701.5 TS-G-1.1).

3.1.1-С8. Число образцов, использованных в испытаниях, будет зависеть от характерных особенностей конструкции, которую необходимо испытать, и от желаемой надежности оценок. Можно повторить испытания с различными образцами для оценки вариации в диапазоне свойств спецификации материалов или допусков, имеющихся в конструкции (п. 701.6 TS-G-1.1).

3.1.1-С9. Результаты испытаний могут приводить к необходимости увеличивать количество образцов для того, чтобы удовлетворять требованиям процедуры испытаний относительно максимального повреждения. Допустимо использовать компьютерное моделирование с целью уменьшения количества требуемых испытаний (п. 701.7 TS-G-1.1).

3.1.1-С10. Должна быть проявлена тщательность при планировании оснащения инструментами и проведении анализа как для испытаний масштабных моделей, так и для полномасштабных испытаний. Следует обеспечивать адекватную калибровку инструментов и испытательных приборов с тем, чтобы результаты испытаний могли быть документированы и оценены с целью верификации результатов испытаний. В то же самое время следует исключать влияние на испытываемую

модель инструмента и измерительных приборов, электрических соединений, которые могли бы сделать результаты испытаний недействительными (п. 701.8 TS-G-1.1).

3.1.1-C11. Если для оценки поведения упаковки при ударе используются датчики ускорения, следует учитывать частоту отсечки (граничную частоту). Эту частоту следует выбирать в соответствии со структурой (формой и размерами) упаковки. Опыт показывает, что для упаковки массой 100 метрических тонн с ограничителем удара, частота отсечки будет между 100 и 200 Гц, а для меньших упаковок с массой m метрических тонн значение частоты отсечки следует умножать на коэффициент $(100/m)^{1/3}$. Если упаковка включает в себя элементы, необходимые для обеспечения безопасности в условиях удара и имеющие резонанс на основной частоте или частоте первой моды колебаний, превышающей упомянутую выше частоту отсечки, может потребоваться корректировка значения частоты отсечки с тем, чтобы отсеченная часть сигнала не имела существенного влияния на оценку механического поведения указанных элементов. В этих случаях может потребоваться проведение модального анализа. Примерами таких элементов могут быть оболочки, оцениваемые на хрупкое разрушение, и внутренние конструкции, необходимые для обеспечения подкритичности. Когда этот вопрос рассматривается с помощью аналитических методов оценки, необходимо, чтобы методы расчета и моделирования позволяли выполнять оценки таких динамических эффектов. Может потребоваться корректировка размера временного шага или размера расчетной ячейки в сторону уменьшения для соответствия упомянутым выше частотам, использованным в расчетах (п. 701.9 TS-G-1.1).

3.1.1-C12. Во многих случаях испытание полномасштабных моделей может быть более простым и менее дорогим по сравнению с испытанием масштабных моделей или с доказательством соответствия путем расчетов или обоснованных аргументов. Одним из недостатков подхода, полностью полагающегося на испытания, является то, что любые последующие изменения либо содержимого, либо конструкции упаковки может быть труднее либо невозможно обосновывать. На практике, если упаковки не являются очень дешевыми в отношении их создания и проведения нескольких испытаний, обычно требуется дополнительная работа для обоснования применимости испытаний (п. 701.10 TS-G-1.1).

3.1.1-C13. При рассмотрении предыдущих удовлетворительных доказательств, по характеру близких к требуемым, следует анализировать все сходства и отличия между двумя упаковками. Диапазоны различия могут потребовать изменения результатов доказательства. Способы и степень, до которой различия и сходства будут определять применимость предыдущих доказательств, зависят от их влияния. В предельном случае, упаковочный комплект может быть геометрически идентичен с используемым в утвержденной упаковке, но из-за изменения материала в новом упаковочном комплекте ссылка на предыдущее подтверждение будет недействительной и, следовательно, не сможет быть использована (п. 701.11 TS-G-1.1).

3.1.1-C14. Другой метод демонстрации соответствия – метод расчета или обоснованная аргументация, когда общепризнано, что методика и параметры расчета надежны или консервативны. Безотносительно к выбранному методу могут потребоваться некоторые расчеты и обоснованная аргументация. Свойства материалов в спецификациях обычно представлены так, чтобы на 95÷98% гарантировать вероятность того, что материал удовлетворяет требованиям по прочности. Если для определения свойств материалов проводятся испытания, следует принимать во внимание разброс данных. Для экспериментального результата с ограниченным числом испытаний обычно задание предела на уровне среднего значения плюс двойное среднеквадратичное отклонение для нормального (Гауссового) распределения (вероятность приблизительно 95%). Кроме того, необходимо учитывать разброс из-за отклонений в свойствах материалов и допусков при изготовлении, если во всех расчетах не используется наихудшая комбинация всех величин. При использовании компьютерных программ следует четко показывать, что использованные формулировки применимы к конечной деформации (т.е. не только большое перемещение, но также и большое напряжение). В большинстве случаев, особенно включающих ударные воздействия, будет необходимо формулировать конечные напряжения вследствие потенциальных серьезных разрушений. Игнорирование этих деталей может приводить к серьезной ошибке. Любую обоснованную аргументацию следует основывать на инженерном опыте. Там, где используется теория, должное внимание следует уделять деталям конструкции, которые могут изменять результат общей теории, например сосредоточенными неоднородностями, асимметрией, негомогенными или переменными свойствами материалов. Следует избегать представления доказывающих аргументов, основанных на субъективных материалах (п. 701.12 TS-G-1.1).

3.1.1-C15. Во многих расчетах может потребоваться использование доступных расчетных программ. Следует рассматривать вопросы надежности и необходимой валидации выбранных программ. Во-первых, действительно ли программа применима для требуемого расчета? Например, для механических оценок может ли она выполнять расчет ударов? Приемлема ли она для расчета пластических, а также упругих деформаций? Во-вторых, действительно ли расчетная программа адекватно представляет упаковочный комплект, рассматриваемый на предмет соответствия требованиям? Чтобы удовлетворять этим двум критериям, пользователю может потребоваться проведе-

ние расчетов контрольной задачи, когда используется программа для моделирования и расчета параметров решения проблемы, результаты которой известны. Значительное влияние на законность использования результатов расчета контрольной задачи для решаемой проблемы могут оказывать установочные опции программы. В программах по механике рассмотрение опций и моделирования охватывает свойства материалов упаковки в динамических режимах, упругие и пластические деформации, детальные связи между компонентами, такими как болты и сварные швы, допустимое трение, гидродинамику, эффекты скольжения и демпфирования. Опыт пользователя в правильном выборе опций программы, свойств материалов, размеров расчетных ячеек может влиять на результаты, если используется специфическая программа. В рамках расчетов контрольной задачи следует анализировать чувствительность результатов к изменяемым параметрам. Степень доверия может быть повышена путем постоянного проведения расчетов контрольных задачза счет перехода от простых к сложным. В других случаях могут быть необходимы проверки входных и выходных балансов по энергии и нагрузке. Если используемая программа не достаточна хорошо известна и широко используема, следует также представлять подтверждение корректности теоретических положений (п. 701.13 TS-G-1.1).

3.1.1-C16. Подтверждение конструкции может быть выполнено путем проведения испытаний моделей подходящего масштаба, включающих особенности, важные для исследуемых вопросов, если инженерный опыт показал приемлемость результатов таких испытаний для целей конструкции. При использовании масштабных моделей следует принимать во внимание необходимость корректировки определенных параметров эксперимента, таких как диаметр стержня или сжимающих нагрузок. С другой стороны, определенные параметры не могут быть скорректированы. Например, время и гравитационное ускорение – это реальные параметры, поэтому необходимо корректировать результаты, используя масштабный фактор. Масштабное моделирование следует поддерживать расчетами либо компьютерной имитацией, используя контрольные компьютерные программы, для гарантии наличия необходимого запаса безопасности (п. 701.14 TS-G-1.1).

3.1.1-C17. Когда масштабные модели используются для определения разрушения, должное внимание следует уделять механизмам, влияющим на поглощение энергии. Так трение, разрыв, раздавливание, упругость, пластичность и неустойчивость могут иметь различные масштабные факторы, как результат влияния различных параметров в проведенном испытании. Поскольку демонстрация соответствия требует комбинации трех типов испытаний (испытание на проникновение, испытание на удар и тепловое испытание для упаковок типа B(U) и типа B(M)), противоречивые требования к параметрам эксперимента могут потребовать компромисса, который, в свою очередь, приводит к результатам, требующим учета масштабного фактора. В целом эффект масштабирования следует анализировать для всех имеющихся областей различий (п. 701.15 TS-G-1.1).

3.1.1-C18. Как показывает опыт испытания уменьшенных моделей могут быть очень полезны для демонстрации соответствия определенным специфическим требованиям Правил, особенно механические испытания. Попытки выполнять тепловые испытания на масштабных моделях весьма проблематичны (см. справки 3.1.1-C19-C20 настоящего Руководства, или пп. 728.23 и 728.24 TS-G-1.1 соответственно). Выполнение условий подобия в механических испытаниях обеспечивать относительно просто при условии идентичных материалов и подходящих методов изготовления, использованных для модели и для полномасштабной упаковки. Таким образом, экономичным способом можно исследовать взаимосвязь ориентации упаковки и результирующего разрушения и общей деформации упаковки, а также получать информацию о торможениях отдельных частей упаковки. С помощью модельных испытаний может быть оптимизировано много элементов и параметров конструкции (п. 701.16 TS-G-1.1).

3.1.1-C19. Расчет теплопередачи или определение физических и химических изменений полномасштабной упаковки, основанные на экстраполяции результатов теплового испытания масштабной модели, могут быть невозможными без большого количества других испытаний. Программа моделирования каждого процесса отдельно в широком диапазоне потребует всестороннего исследования с помощью теоретической модели. Таким образом, метод имеет небольшие преимущества перед обычным аналитическим методом. Любое масштабное испытание и интерпретация полученных результатов требуют демонстрации технической достоверности. Однако может быть полезно использование полномасштабных моделей частей упаковки, если расчет для элемента (такого как оребренная поверхность) оказывается затруднен. Например, эффективность тепловой защиты или амортизатора, выполняющего эту роль, может быть легко продемонстрирована путем испытания этого компонента с относительно простым телом под ним. Моделирование элементов весьма важно для валидации компьютерных моделей. Но измерения температуры пламени и излучательной способности пламени и поверхности очень трудоемки и могут не обеспечивать достаточно точных данных для расчетов с целью валидации. Выбор размера элемента и соответствующей изоляции следует проводить таким образом, чтобы входящий тепловой поток от искусственных границ (т. е. границ, представляющих остальную часть упаковки) был незначительным (п. 728.23 TS-G-1.1).

3.1.1-C20. Тепловое испытание уменьшенных моделей, удовлетворяющее определенным условиям теплового испытания, может проводиться и давать консервативные результаты для тем-

пературы при условии, что отсутствуют фундаментальные изменения в тепловом поведении компонентов (п. 728.24 TS-G-1.1).

3.1.1-C21. Детали, которые следует учитывать в модели, служат предметом обсуждения и зависят от типа испытания, для которого предназначается модель. Например, при определении характеристики реагирования конструкции на удар, исключение боковых ребер охлаждения из масштабной модели может приводить к ее более серьезному повреждению. Такого типа рассмотрение может значительно упростить конструкцию модели без уменьшения ее обоснованности. Необходимо включать только основные конструктивные особенности, способные повлиять на результаты испытания. Существенным, однако, является то, чтобы для модели и полномасштабной упаковки использовались одинаковые материалы, а также сходные технологии конструирования и изготовления. Следует использовать методы конструирования и изготовления, которые будут воспроизводить механическое поведение и реагирование конструкции полномасштабной упаковки, учитывая такие процессы, как машинная обработка, сварка, тепловая обработка, а также методы крепления. Характеристики зависимости деформации от напряжения для конструкционных материалов не должны зависеть от скорости деформации в такой степени, при которой результаты испытаний на модели становятся непригодными. Эту степень необходимо учитывать ввиду того, что скорости деформаций в модели могут быть выше, чем в полномасштабной упаковке (п. 701.17 TS-G-1.1).

3.1.1-C22. В некоторых случаях точное масштабирование всех элементов упаковки может быть нецелесообразным. Например, рассмотрим толщину ограничителя удара по сравнению с общей длиной упаковки. В модели отношение толщины к общей длине может быть отличным от этого соотношения для реальной упаковки. Другие примеры включают в себя толщину листового металла, размер уплотнения или болта, которые могут быть нестандартного размера или которых может не быть в наличии. Если существуют заметные геометрические расхождения между реальной упаковкой и испытываемой моделью, поведение обеих при падении с высоты 9 м следует сравнивать с помощью компьютерного моделирования чтобы определять, действительно ли геометрические отличия должны стать предметом серьезного анализа. Для выполнения расчетов следует выбирать программу верифицированную путем надлежащих контрольных испытаний. Если влияние отличий несущественно, модель может быть признана пригодной для проведения масштабных испытаний на падение. Этот подход применим для масштабного соотношения 1:4 или более (п. 701.18 TS-G-1.1).

3.1.1-C23. Выбор масштабного коэффициента для модели – еще одна область, где необходимо обоснование, так как выбор масштабного коэффициента зависит от точности, с которой нужно обеспечивать представительность модели. Чем больше отклонение от реального масштаба, тем больше вносимая ошибка. Следовательно, снижение масштаба может быть предпочтительнее для изучения деформации упаковки в целом, чем для испытаний отдельных частей упаковки, и в некоторых случаях выбор масштабного фактора может определяться конкретным типом предполагаемых испытаний. Для некоторых испытаний, таких как испытание на проникновение, определенное в Правилах, штырь следует масштабировать для получения точных результатов. В других случаях, когда упаковочный комплект может быть защищен значительной толщиной деформируемой конструкции, может потребоваться масштабирование высоты падения (п. 701.19 TS-G-1.1).

3.1.1-C24. Масштабный коэффициент M (отношение размера модели к размеру прототипа) должен быть не менее чем 1:4. Для моделей с масштабным фактором 1:4 или более эффект влияния скорости нагружения на механические свойства материалов будет пренебрежимо мал. Влияние зависимости от скорости нагружения для типичных материалов (например, для нержавеющей стали) следует проверять (п. 701.20 TS-G-1.1).

3.1.1-C25. Масштабирование испытаний на падение возможно, с учетом приведенных ниже ограничений, являющихся результатом следующих законов моделирования, которые верны для случаев, когда сохраняется высота падения оригинала:

Ускорения:	$a_{модель} = (a_{оригинал})/M$
Силы:	$F_{модель} = (F_{оригинал})M^2$
Напряжения:	$\sigma_{модель} = \sigma_{оригинал}$
Деформации:	$\varepsilon_{модель} = \varepsilon_{оригинал}$ (п. 701.21 TS-G-1.1).

3.1.1-C26. Для легких моделей на пространственную ориентацию модели или ее скорость в процессе испытаний на падение могут влиять такие факторы, как качание несущего корда для проводов к датчикам ускорения или тензометров или действие ветра. Опыт показывает, что для упаковок массой более 1000 кг при проведении испытаний следует использовать полномасштабные модели либо специальные направляющие для масштабных моделей (п. 701.22 TS-G-1.1).

3.1.1-C27. Когда заявка на утверждение конструкции упаковки основана в какой-то степени на испытаниях масштабных моделей, она должна включать обоснование использованных методов моделирования. В частности, в обоснование следует включать:

- определение масштабного коэффициента;
- доказательство того, что сконструированная модель достаточно точно воспроизводит детали упаковки или части упаковочного комплекта, которые должны быть испытаны;

- перечень деталей и элементов, не воспроизведенных в модели;
- обоснование для исключения деталей или элементов на модели;
- обоснование использованных критериев подобия (п. 701.23 TS-G-1.1).

3.1.1-С28. При оценке результатов испытаний масштабных моделей следует анализировать повреждение не только самой упаковки, но в некоторых случаях и повреждение содержимого упаковки. В частности, повреждение содержимого упаковки следует рассматривать, когда оно имеет следствием изменения:

- потенциальной скорости выхода;
- параметров, влияющих на критичность;
- эффективности защиты;
- теплового режима (п. 701.24 TS-G-1.1).

3.1.1-С29. Экстраполяция результатов испытания масштабных моделей с уплотнениями и уплотняющими поверхностями на натурную упаковку может быть сопряжена с трудностями. Несмотря на то, что получение информации о деформации и перемещении уплотняющих поверхностей на масштабных моделях возможно, к экстраполяции характеристик уплотнения и протечки следует подходить с осторожностью (см. п. 716.7 TS-G-1.1). Когда масштабные модели используются для испытания уплотнений, следует рассматривать влияние таких факторов, как шероховатость поверхности, зависимость поведения уплотнения от типа и толщины материала, проблемы, связанные с оценкой скорости утечки на основе результатов масштабных испытаний (п. 701.25 TS-G-1.1).

3.1.2-С1. Под действующей нормативной документацией понимаются федеральные нормы и правила, государственные и отраслевые стандарты (стандарты), аттестованные методики и прочая нормативно-техническая документация, применяемые при подтверждении соответствия РМ, упаковочных комплектов и упаковок требованиям раздела 2 НП-053-04, которые не охватываются испытаниями, приведенными в настоящем разделе, и должны быть согласованы (разрешены) для использования ГКО и органами государственного регулирования безопасности.

3.1.3-С1. Объем и порядок испытаний при эксплуатации и т.п. входят в программы обеспечения качества упаковки, и они должны представляться в ГКО в составе заявки на получение сертификата-разрешения вместе с другой конструкторской документацией на упаковку. Испытания по прямому назначению – это проверка возможности загрузки-выгрузки отработавшего ядерного топлива на объектах с определением фактических теплофизических параметров упаковки.

3.1.4-С1. Мишень, описанная в п. 3.1.4 НП-053-04, представляет собой практически абсолютно жесткую, недеформируемую поверхность по отношению к испытуемым упаковкам. Для реальных конструкций упаковок их деформации при ударе о такую поверхность будут больше, чем при ударе с той же скоростью о реальные поверхности (асфальт, бетон, скальная порода, песок и др.) при транспортных авариях в подавляющем большинстве случаев.

3.1.4-С2. Один из примеров недеформируемой мишени, соответствующей нормативным требованиям, – это стальная плита толщиной 4 см, установленная на бетонном блоке, укрепленном на жестком грунте или на скальной породе. Рекомендуется, чтобы суммарная масса стали и бетона была бы больше, чем масса образца в 10 раз, по крайней мере, для испытаний, указанных в пп. 3.3.4, 3.4.2.4, 3.4.3.1(а), 3.4.4.2 и 3.4.6.2 НП-053-04 (пп. 705, 722, 725(а), 727 и 735 Правил МАГАТЭ-96), и в 100 раз для испытаний по п. 3.4.6.4 НП-053-04 (п. 737 Правил МАГАТЭ-96), если не могут быть обоснованы другие значения. Следует оборудовать стальную плиту выступающими стальными конструкциями на нижней поверхности для того, чтобы обеспечивать плотный контакт с бетоном. Если испытываемые упаковки имеют твердое покрытие, следует предусмотривать нужную прочность стали. Для того чтобы минимизировать изгиб, бетон должен быть достаточно толстым, но допустимым по размерам испытываемого образца. Другие использованные мишени описаны в [84, 85]. В связи с тем, что изгиба мишени следует избегать, особенно в вертикальном направлении, рекомендуется, чтобы форма мишени была близка к кубической с глубиной, сравнимой с длиной и шириной (п. 717.2 TS-G-1.1).

3.1.4-С3. Использование при испытаниях "абсолютно" жесткой мишени позволяет обеспечивать повторяемость результатов, возможность моделирования и облегчает сравнение результатов с расчетными данными.

3.3. Испытания радиоактивного материала особого вида и радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию

3.3.1-С1. Испытания РМ особого вида имитируют возможные воздействия на этот материал при транспортных авариях в случае его выпадения из упаковки при разрушении.

3.3.1-С2. При испытаниях РМ особого вида в виде капсулы содержимое капсулы может быть заменено другим материалом с такими же механическими свойствами. В этом случае соответствие требованиям по сохранению герметичности капсулы может быть проверено методами контроля объемной утечки.

Содержимое капсулы также может быть заменено другим, менее опасным радиоактивным

материалом (например, короткоживущие изотопы), и после испытаний оценена утечка его по активности выщелачиванием.

3.3.1-C3. Испытания конструкции капсулы могут быть проведены с имитатором радиоактивного материала. Термин "имитатор" означает точную копию закрытого радиоактивного источника, капсула которого имеет такую же конструкцию и сделана из тех же материалов, что и капсула радиоактивного источника, который имитатор представляет, но вместо РМ капсула содержит вещество с механическими, физическими и химическими свойствами, как можно более близкими к РМ, и содержащее индикаторный радиоактивный материал только в виде следов. Индикатор должен быть растворимым в растворителе, который не воздействует на капсулу. Процедура, описанная в стандарте ISO 2919 [86], использует либо активность 2 МБк Sr-90 и Y-90 в виде растворимой соли, либо 1 МБк Co-60 в виде растворимой соли. По возможности следует использовать более короткоживущие нуклиды. Однако, если применяется метод оценки с выщелачиванием, то следует тщательно проводить интерпретацию результатов. Следует учитывать масштабные эффекты, значение которых будет зависеть от максимальной активности, которая содержится в капсуле, а также от физической формы содержимого капсулы, особенно от растворимости содержимого по сравнению с индикаторным радионуклидом. Этой проблемы можно избежать, в случае проведения испытаний методом объемной утечки (см. пп. 603.3 и 603.4 TS-G-1.1 (справки 2.2.2-C5 и 2.2.2-C6 настоящего Руководства соответственно). Обычно испытания для РМ особого вида проводятся с использованием полномасштабных закрытых источников излучения или нерассеиваемых твердых материалов, так как они недороги и результаты испытаний легко интерпретируются (п. 704.3 TS-G-1.1).

3.3.1-C4. В Правилах заданы четыре вида испытаний (испытание на столкновение, на удар, на изгиб и тепловое испытание), предназначенных для имитации механических и тепловых воздействий, которым РМ особого вида могут подвергнуться в случае выхода из своего упаковочного комплекта (п. 704.1 TS-G-1.1).

3.3.1-C5. Требования к этим испытаниям устанавливаются для гарантии, что РМ особого вида, будучи в результате аварии погруженные в жидкость, не будут рассеиваться выше пределов, указанных в п. 603 Правил МАГАТЭ-96 (п. 704.2 TS-G-1.1).

3.3.4-C1. Поскольку этому испытанию предназначено быть аналогом испытания на падение с высоты 9 м для упаковки типа B(U) (см. п. 603.1 TS-G-1.1 (справка 2.2.2-C2 настоящего Руководства), то образец должен падать таким образом, чтобы получить максимальные повреждения (п. 705.1 TS-G-1.1).

3.3.5-C1. Для получения максимального повреждения следует уделять особое внимание условиям испытания на удар (п. 706.1 TS-G-1.1).

3.3.8-C1. Признается, что испытания, указанные в пп. 3.3.4, 3.3.5, 3.3.7 НП-053-04 (пп. 705, 706, 708 Правил МАГАТЭ-96) не являются уникальными, и что могут быть равно приемлемы другие международные нормы испытаний. Два испытания, описанные Международной организацией по стандартизации, были определены как адекватная альтернатива (п. 709.1 TS-G-1.1).

3.3.8-C2. Альтернативное испытание, предложенное в п. 3.3.8.а) НП-053-04 (п. 709.а) Правил МАГАТЭ-96) является испытанием на удар класса 4 ISO 2919 [86] и состоит в следующем: молот массой 2 кг, с плоской ударной поверхностью, имеющей диаметр 25 мм со скругленной кромкой радиусом 3 мм, падает на образец с высоты 1 м; образец размещается на стальной наковальне, которая имеет массу не менее 20 кг. Требуется, чтобы наковальня была жестко закреплена и имела достаточно большую плоскую поверхность, чтобы вместить весь образец. Это испытание может быть проведено одновременно вместо испытания на столкновение (п. 3.3.4 НП-053-04 или п. 705 Правил МАГАТЭ-96) и испытания на удар (п. 3.3.5 НП-053-04 или п. 706 Правил МАГАТЭ-96) (п. 709.2 TS-G-1.1).

3.3.8-C3. Альтернативное испытание, предложенное в п. 3.3.8.б) НП-053-04 (п. 709.в) Правил МАГАТЭ-96), является температурным испытанием класса 6 ISO 2919 [86] и состоит в том, что образец подвергается воздействию минимальной температуры -40°C в течение 20 мин и нагревается за период времени, не превышающий 70 мин, от температуры окружающей среды до 800°C; после этого образец выдерживается в течение 1 ч при температуре 800°C, за которым следует тепловой удар при погружении в воду, температура которой 20°C (п. 709.3 TS-G-1.1).

3.3.10-C1. Для образцов, содержащих либо имитирующих содержание радиоактивных материалов в закрытой капсуле, следует применять оценку выщелачивания, как определено в п. 3.3.10.а) НП-053-04 (п. 711.а) Правил МАГАТЭ-96), либо один из методов оценки объемной утечки, определенных в п. 3.3.10.б) НП-053-04 (п. 711.в) Правил МАГАТЭ-96). Оценка на выщелачивание аналогична методу, применяемому к нерассеиваемым твердым материалам (см. п. 3.3.9 НП-053-04 или п. 710 Правил МАГАТЭ-96), за исключением того, что образец не помещается первоначально в воду на 7 дней. Другие этапы остаются теми же самыми (п. 711.1 TS-G-1.1).

3.3.10-C2. Альтернативный метод оценки объемной утечки, определенный в п. 711(а) Правил МАГАТЭ-96, может состоять из любых испытаний, описанных в ISO 9978 [30], которые приемлемы для компетентного органа. Испытания в основном позволяют сокращать время испытаний, и к тому же некоторые из них предназначены для нерадиоактивных веществ. Выбор метода оценки

объемной утечки обеспечивает сокращение времени, связанного с полной последовательностью испытаний, и может включать сокращение времени, связанного с использования защитной камеры в процессе испытания. Таким образом, выбор метода оценки объемной утечки может приводить к значительному снижению затрат (п. 711.2 TS-G-1.1).

3.3.11-С1. Чтобы иметь освобождение от требований к упаковкам типа С, РМНР должны удовлетворять тем же самым критериям работоспособности в отношении удара и огнестойкости, что и упаковки типа С, не создавая при этом значительного количества рассеиваемых материалов (п. 712.1 TS-G-1.1).

3.3.11-С2. Чтобы материал мог быть квалифицирован как РМНР, определенные свойства материала должны быть продемонстрированы путем соответствующих прямых физических испытаний, аналитическими методами или их надлежащей комбинацией. Должно быть показано, что выполнен критерий работоспособности, указанный в п. 605 Правил МАГАТЭ-96, если содержимое упаковок типа B(U) или упаковок типа B(M) было подвергнуто необходимым испытаниям. Требуется проведение трех испытаний: испытание на столкновение со скоростью 90 м/с о жесткую мишень, усиленное тепловое испытание и испытание на выщелачивание. Испытание на столкновение и тепловое испытание не являются последовательными. Для испытания на выщелачивание материал должен быть в виде, представляющем свойства материала либо после испытания на столкновение, либо после теплового испытания. Испытания, проводимые для демонстрации необходимых для РМНР свойств, не требуется проводить с полным содержимым упаковки, если результаты, полученные с представительной долей содержимого, могут быть надежным образом перенесены на полное содержимое упаковки. То есть, например, это может быть случай, когда содержимое упаковки состоит из нескольких идентичных составляющих и может быть показано, что умножение выброса, установленного для одной составляющей, на общее число компонентов в упаковке даст верхний предел оценки выброса для целого содержимого упаковки. Для больших предметов также можно проводить испытания с их представительной частью или с уменьшенной моделью, если установлено, что результаты испытаний, полученные таким путем, могут быть экстраполированы на поведение выброса для всего содержимого упаковки (п. 712.2 TS-G-1.1).

3.3.11-С3. Для испытаний на столкновение при скорости 90 м/с должно быть продемонстрировано, что удар всего содержимого упаковки, не защищенного упаковкой, о жесткую мишень со скоростью 90 м/с приводит к выходу летучих радиоактивных материалов в газообразной форме или в форме частиц с аэродинамически эквивалентным диаметром (АЭД) до 100 мкм в количестве, меньшем, чем $100A_2$. АЭД аэрозольных частиц определяется, как диаметр сферы плотностью 1 г/см^3, который имеет те же характеристики осаждения в воздухе. Он может определяться с помощью большого количества способов и измерительных инструментов, таких как импакторы, оптические счетчики частиц, центробежные сепараторы (циклоны). Могут использоваться различные процедуры проведения экспериментов. Один из возможных подходов – удар горизонтально летящего образца о вертикальную стену, имеющая все требуемые для жесткой мишени свойства. Все частицы с АЭД менее 100 мкм становятся переносимыми воздухом и могут транспортироваться восходящим потоком воздуха, с соответствующей скоростью, и затем подвергаться анализу относительно размера частиц с помощью установленной измерительной техники для аэрозолей. Воздушный поток с восходящей скоростью около 30 см/с может служить в качестве сепаратора, в котором частицы с АЭД менее 100 мкм будут оставаться в потоке, в то время как более крупные частицы будут удаляться из потока, поскольку скорость их осаждения превышает 30 см/с (п. 712.3 TS-G-1.1).

3.4. Испытания транспортных упаковочных комплектов и упаковок

3.4.1. Общие положения

3.4.1.1-С1. Если реальное состояние образца не будет зафиксировано заранее, перед опытом, то впоследствии будет очень трудно решать, действительно ли дефект получен в процессе испытания (п. 713.1 TS-G-1.1).

3.4.1.2-С1. При испытаниях, имеющих целью определять выход активности, следует ясно понимать, что оценка производится в отношении системы герметизации упаковки, а не всей упаковки.

3.4.1.2-С2. Поскольку в отдельных случаях компоненты, формирующие систему герметизации, могут быть собраны различными путями, для эксперимента важно, чтобы образец и метод сборки были ясно определены (п. 714.1 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С1. Требование о проведении оценок после каждого испытания соответствует требованию к упаковке отвечать соответствующим требованиям Правил именно после каждого испытания. Следует также учитывать, что могут быть случаи, когда последующее испытание может изменять параметры упаковки в отношении, например, утечки содержимого, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения по сравнению с предыдущим испытанием. Однако если будет ясно

показано, что последующие испытания могут только увеличивать значение таких параметров, то замеры или другие оценки могут производиться после всей совокупности испытаний.

3.4.1.3-С2. Чтобы установить эксплуатационные характеристики образцов, которые были подвергнуты испытаниям, указанным в разделах 3.4.2-3.4.5 НП-053-04 (пп. 719 – 733 Правил МАГАТЭ-96), может потребоваться выполнение исследовательской программы, включающей и освидетельствование, и дальнейшие вспомогательные испытания. В общем случае первым этапом будет визуальное обследование образца и фиксация его состояния с помощью фотографии. Дополнительно могут потребоваться другие обследования. Если испытания проводились с образцами, содержащими радиоактивные индикаторы (следы радиоактивных материалов), то мазки, взятые с поверхностей, могут дать измерения утечки. Герметичность может быть определена с учетом процедур, описанных в справках 2.6.2-С3 – 2.6.2-С5 настоящего Руководства (пп. 646.3-646.5 для упаковок типа IP, типа A, типа B в TS-G-1.1). Точно так же целостность защиты может быть оценена с помощью материалов, содержащих радиоизотопы, помещенные внутрь упаковки. После проверки внешней целостности защитную оболочку (систему герметизации) следует разобрать для проверки состояния внутри: целостности капсул, стекла, контейнеров и т.д.; стабильности геометрических объемов, особенно в упаковке, где содержимое является делящимся материалом; распределения поглощающего материала; стабильности защиты; функционирования механических частей. Исследовательскую программу следует нацеливать на проверку трех специфических моментов:

- целостность системы герметизации;
- целостность защиты;
- обеспечение в соответствующих случаях того, чтобы перегруппировка делящегося содержимого или поглотителей нейтронов или степени замедления не имела неблагоприятного влияния на предположения и прогнозы по оценке критичности (п. 716.1 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С3. Целостность системы герметизации может оцениваться многими путями. Например, выход радиоактивности из системы герметизации но рассчитывать на основе объемного (т.е. газообразного) выхода (п. 716.2 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С4. Если испытываемые образцы представляют полноразмерную систему герметизации, то на испытываемом образце могут быть сделаны прямые измерения утечки (п. 716.3 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С5. Требуют внимания следующие области:

- характеристика нормальной системы закрытия;
- уровни утечек, которые могут возникать где-либо еще в системе герметизации (п. 716.4 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С6. Система герметизации в соответствии с Правилами предполагает так много вариантов, что единая стандартная методика проведения испытания невозможна (п. 716.5 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С7. В Американском национальном стандарте ANSI N14.5-1977 [51], приемлемые виды испытаний включают, следующие испытания, перечисленные в порядке возрастания чувствительности при обычных условиях, но не ограничиваются только ими:

- падение давления газа;
- пузыри водной иммерсии или мыльные пузыри;
- этиленгликоль;
- подъем давления газа;
- вакуумный с воздушным пузырением;
- галогеновый детектор;
- гелиевый масс-спектрометр (п. 716.6 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С8. Американский национальный стандарт ANSI N14.5-1977 [51]:

- соотносит нормативные требования к системам герметизации с радиоактивным материалом и практически определимые скорости утечки массового потока;
- определяет понятие "герметичный" в единицах объемной утечки;
- делает некоторые упрощающие, консервативные предположения таким образом, что многие из переменных могут быть объединены;
- описывает процедуру испытаний на утечку;
- описывает конкретные испытания на объемную утечку (п. 716.7 TS-G-1.1).

3.4.1.3-С9. В стандарте ISO 12807 [52] определены критерии испытания на утечку газа и методы испытаний для демонстрации того, что упаковки типа B(U) и типа B(M) соответствуют требованиям Правил по целостности системы герметизации для конструкции, изготовления, а также предперевозочных и периодических проверок. Предпочтительные методы испытаний, описанные в стандарте ISO 12807, включают, но не ограничиваются, следующие:

(а) Количественные методы:

- падение давления газа;
- рост давления газа;
- газовый детектор с заполненной газом оболочкой;

- газовый детектор с оболочкой, откуда убран газ;
- вакуумная оболочка с противодавлением;

(b) Качественные методы:

- методы газового пузырения;
- метод мыльного пузырения;
- электронный анализатор индикаторного (трассирующего) газа;
- метод распыления трассирующего газа (п. 716.8 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C10. Этот стандарт основан на следующих допущениях:

- радиоактивные материалы могут выйти из упаковки в форме жидкости, газа, твердого тела, жидкости с частицами твердого тела (суспензии) или твердых частиц в газе (аэрозолей) или в любой комбинации таких форм;
- радиоактивный выход или утечка может произойти одним из следующих путей: вязкое течение, молекулярное течение, проницаемость или блокировка;
- скорость выхода радиоактивного содержимого измеряется непрямым методом испытания на эквивалентную газовую утечку, где она измеряется в единицах скоростей потока газа (нерадиоактивного);
- скорости могу быть выражены математически через диаметр единичного прямого капилляра, который в большинстве случаев считается консервативным представлением утечки или утечек (п. 716.9 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C11. Основными шагами, предусмотренными стандартом для определения утечки как для нормальных, так и для аварийных условий перевозки, являются следующие:

- определение допустимой скорости выхода радиоактивности;
- определение стандартизированной скорости утечки;
- определение допустимой скорости утечки в испытаниях для каждой стадии проверки;
- выбор подходящих методов испытаний;
- выполнение испытаний и запись результатов (п. 716.10 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C12. Если для испытаний были использованы образцы уменьшенных размеров, то прямые измерения утечки через уплотнения могут быть нецелесообразны, поскольку не все параметры, связанные с утечкой через уплотнения, легко масштабируются. В таком случае, поскольку потеря уплотнения часто связана с потерей уплотняющего давления (например, из-за постоянного удлинения прижимающих крышку болтов), рекомендуется проведение детального метрологического исследования для того, чтобы установить степень, до которой произошло удлинение болта и деформация уплотняющей поверхности на экспериментальном образце после механических испытаний. Данные, основанные на детальном метрологическом исследовании, могут быть масштабированы, чтобы определять деформацию уплотняющей поверхности и растяжения болтов для реальных размеров. Из испытаний с полномасштабными уплотнениями, используя масштабированные измеренные данные, можно определять поведение полномасштабной упаковки (п. 716.11 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C13. При оценке целостности защиты в стандарте ISO 2855 [55] обращается внимание на тот факт, что если для создания поставарийных условий испытания планируется использовать радиоактивные источники, то любое повреждение или изменение посттестовой конфигурации упаковки, вызванное помещением в нее источника, может сделать полученные результаты недействительными (п. 716.12 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C14. Если для испытания был использован полномасштабный образец, то один из методов подтверждения целостности защиты состоит в том, что при наличии соответствующего источника внутри образца, вся поверхность образца исследуется с помощью рентгеновской пленки или другого подходящего метода, с целью определить, действительно ли была потеряна защита. Если есть доказательства потери защиты в любой точке поверхности образца, следует определять уровень излучения с помощью расчетов и измерений с тем, чтобы продемонстрировать соответствие требованиям пп. 2.8.12, 2.9.3, 2.9.5 и 2.11.3 НП-053-04 (пп. 646, 651, 656 и 669 Правил МАГАТЭ-96). Для дополнительной информации следует обращаться к справкам 2.6.2-C1 – 2.6.2-C5 и 2.9.2-C3 – 2.9.2-C8 настоящего Руководства (пп. 646.1–646.5 и 656.13–656.18 TS-G-1.1) (п. 716.13 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C15. В качестве альтернативы может быть проведено тщательное исследование размеров компонентов, которые определяют характеристики защиты, чтобы убедиться, что они не подверглись неблагоприятным воздействиям, например за счет сползания или потери свинца из защиты, приводящего либо к росту общего уровня излучения, либо к возрастанию локальных уровней излучения (п. 716.14 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C16. Применяемые испытания могут показывать, что допущения, принятые при оценке безопасности по критичности, не верны. Изменения геометрии, физической или химической форм компонентов упаковочного комплекта или содержимого могут повлиять на взаимодействие нейтронов внутри или между упаковками, и любые изменения должны соответствовать допущениям, сделанным при оценке безопасности по критичности согласно пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04

(пп. 671-682 Правил МАГАТЭ-96). Если условия после испытаний не соответствуют допущениям, принятым при оценке безопасности по критичности, оценку следует корректировать (п. 716.15 TS-G-1.1).

3.4.1.3-C17. Хотя испытания полноразмерных или уменьшенных упаковок могут проводиться с имитатором содержимого и из этих испытаний могут быть получены некоторые данные относительно поведения корзины (чехла) или бадьи, используемых для размещения содержимого, конечная геометрия на практике будет зависеть от взаимодействия реальных материалов (механические свойства которых могут отличаться от свойств имитатора содержимого) – с корзиной или бадьей или другими компонентами упаковочного комплекта (п. 716.16 TS-G-1.1).

3.4.2. Испытания для подтверждения способности выдерживать нормальные условия перевозки

3.4.2.1-C1. Климатические условия окружающей среды, в которых может находиться упаковка, включают изменения влажности, окружающей температуры и давления, а также нагрев от солнечной инсоляции и дождь.

3.4.2.1-C2. Климатические условия, которым может быть подвергнута упаковка при перевозке в нормальной окружающей среде, включают изменения влажности, температуры окружающей среды и давления, воздействие солнечного тепла и дождя (п. 719.1 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C3. Относительно низкая влажность, в частности, когда она проявляется в совокупности с высокой температурой, вызывает структурные изменения в материалах упаковки, такие как высыхание, усадка, растрескивание и охрупчивание. Прямое солнечное облучение упаковки может приводить к повышению температуры поверхности по сравнению с температурой окружающей среды на несколько часов в районе полудня. Крайний холод отверждает и охрупчивает определенные материалы, особенно используемые для соединений или амортизации. Изменения температуры и давления могут вызывать эффект "дыхания" и постепенное возрастание влажности внутри наружных частей упаковочного комплекта, и, если температура падает достаточно низко, это может приводить к конденсации воды внутри упаковки; влажность в корабельном трюме часто очень высока, и падение температуры приводитт к значительной конденсации на внешней поверхности упаковки. При конденсации внешние картонные ящики и дистанционные элементы, предусмотренные для снижения внешнего уровня излучения, могут разрушаться. Воздействие дождя возможно в то время, когда упаковки ожидают погрузки или во время движения к месту погрузки или во время самой погрузки (п. 719.2 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C4. При нормальной перевозке упаковка может подвергаться как динамическим, так и статическим механическим нагрузкам. Первый вид воздействия может включать ограниченные удары, повторяющиеся толчки и (или вибрацию), второй – сжатие и растяжение (п. 719.3 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C5. Упаковка также может подвергаться ограниченным ударам от свободного падения на поверхность в процессе обращения с ней. Грубое обращение, в частности, перекатывание цилиндрических упаковок и кантование прямоугольных – другой общий источник ограниченных ударов. Они могут также возникать как результат проникновения предмета с относительно малым поперечным сечением или от удара об угол или кромку другой упаковки (п. 719.4 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C6. Наземный транспорт часто бывает причиной повторяющейся тряски; все виды транспорта создают вибрационные нагрузки, которые могут вызывать усталость металла и (или) ослаблять болты и гайки. Штабелирование упаковок для перевозки и изменения нагрузки в результате быстрого изменения скорости в ходе перевозки могут подвергать упаковки значительному сжатию. Увеличение и снижение окружающего давления вследствие изменения высоты над уровнем моря вызывает в упаковке напряжения (п. 719.5 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C7. Следующие испытания были выбраны для воспроизведения повреждений, которые могут быть следствием воздействия климатических и транспортных условий и напряжений: испытание обрызгиванием водой, испытание на свободное падение, испытание на укладку штабелем и испытание на глубину разрушения. Маловероятно, чтобы одна упаковка столкнулась со всеми вариантами грубого обращения или небольшими происшествиями, которые представлены требованиями к четырем перечисленным испытаниям. Непреднамеренный выход части содержимого, хотя и очень нежелательный, не представляет собой большое происшествие вследствие ограничения содержимого упаковок типа А. Достаточно, чтобы каждый из трех образцов был подвергнут по отдельности испытанию на свободное падение, испытанию на укладку штабелем либо испытанию на глубину разрушения, которое в каждом случае будет предваряться испытанием на обрызгивание водой. Однако это не препятствует использованию одного образца во всех испытаниях (п. 719.6 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C8. Испытания не включают в себя всех воздействий внешней среды, которым может подвергаться упаковка типа А при перевозке. Однако представляется, что они адекватные, рассматривая их в совокупности с другими общими конструкционными требованиями, связанными с

условиями перевозки, такими как температура окружающей среды и ее изменения, обращение с упаковкой и вибрация (п. 719.7 TS-G-1.1).

3.4.2.1-C9. Цель испытаний на нормальные условия перевозки заключается в моделировании воздействий на упаковки в результате неаккуратного обращения с ними при перевозке, воздействии влажности и попадании под дождь, нагрузках при складировании упаковок в транспортном средстве и при маневрировании транспортных средств, т.е. воздействий не обязательных, но довольно часто имеющих место при любой перевозке.

3.4.2.2-C1. Если обрызгивание водой осуществляется с четырех сторон одновременно, следует предусмотривать двухчасовой перерыв между испытанием на обрызгивание водой и последующими испытаниями. Данный интервал составляет время, которое необходимо, чтобы вода постепенно впиталась извне внутрь упаковки и снизила ее конструкционную прочность. Если упаковка подвергается последующему испытанию на свободное падение, укладку штабелем или на проникновение вскоре после этого перерыва, это приводит к максимальному повреждению. Однако если обрызгивание водой осуществлялось по четырем направлениям последовательно, впитывание воды во внутрь упаковки по каждому направлению и высыхание воды снаружи будет происходить постепенно за период, превышающий 2 ч. Соответственно не следует предусматривать интервал между завершением испытания на обрызгивание водой и последующим испытанием на свободное падение (п. 720.1 TS-G-1.1).

3.4.2.3-C1. Испытание на обрызгивание водой прежде всего предназначено для упаковочных комплектов, использующих материалы, которые абсорбируют воду или размягчаются от воды, или включают в себя растворимый в воде клей. Для упаковочных комплектов, внешние слои которых состоят полностью из металла, дерева, керамики или пластика или из некоторой комбинации этих материалов, может показываться возможность пропуска такого испытания на основании обоснованной аргументации при условии, что эти упаковки не задерживают воду и не увеличивают значительно свою массу (п. 721.1 TS-G-1.1).

3.4.2.3-C2. Одним из методов проведения испытания на обрызгивание водой, который считается удовлетворяющим условиям, сформулированным в п. 3.4.2.3 НП-053-04 (п. 721 Правил МАГАТЭ-96), является следующий.

(a) Образец помещается на плоскую горизонтальную поверхность в положение, в котором наиболее вероятно наибольшее повреждение упаковки. Равномерно распределенная струя направляется на поверхность упаковки в течение 15 мин с каждого из четырех направлений под прямыми углами, при этом смену направления обрызгивания следует выполнять так быстро, как это возможно. Может потребоваться испытание более чем в одном положении упаковки.

(b) Рекомендуется учитывать следующие дополнительные условия испытания:

(i) Угол при вершине конуса расширения струи должен быть достаточен для охвата всего образца на расстоянии, определенном в (ii).

(ii) Расстояние от форсунки до ближайшей точки образца, по крайней мере, 3 м.

(iii) Расход воды должен быть эквивалентен интенсивности дождя 5 см/ч, усредненной по площади конуса расширения струи в месте воздействия на образец и перпендикулярной к оси конуса расширения струи.

(iv) Вода дренируется так же быстро, как и подается.

(c) Требование п. 721 предусмотрено для обеспечения максимальной поверхности смачивания, и это может быть выполнено направлением струи вниз под углом 45° к горизонтали:

(i) Для прямоугольных образцов струя может быть направлена на каждый из четырех углов;

(ii) Для цилиндрических образцов, стоящих на одной плоскости, струя может быть направлена с каждого из четырех направлений с интервалом 90° (п. 721.2 TS-G-1.1).

3.4.2.3-C3. Не следует поддерживать упаковку над поверхностью, чтобы учитывать воздействие воды, собираемой у основания упаковки (п. 721.3 TS-G-1.1).

3.4.2.4-C1. Испытание на свободное падение имитирует воздействия, которым может подвергаться упаковка при падении с платформы, кузова автомобиля или при неаккуратном обращении. После таких инцидентов состояние упаковки не должно влиять на возможность ее дальнейшей перевозки.

Для тяжелых упаковок высота падения при испытании уменьшается, так как вероятность их падения при перевозке с больших высот меньше, чем для малых упаковок. Очевидно, что при падении большегрузной упаковки (несколько десятков тонн) с высоты 1 м вопрос о дальнейшей ее перевозке может решаться только после тщательного обследования состояния упаковки. Такое падение можно относить к испытаниям не на нормальные, а на аварийные условия.

3.4.2.4-C2. Испытание на свободное падение имитирует тип удара, когда упаковка падает с платформы перевозочного средства или в процессе обращения с ней. В большинстве случаев перевозка будет продолжаться после таких ударов. Поскольку ожидается, что более тяжелые упаков-

ки в меньшей степени подвержены падению с большой высоты в процессе нормального обращения, расстояние для свободного падения в таких испытаниях назначается в соответствии с массой упаковки. Если тяжелая упаковка испытывает падение с большей высоты, то ее следует тщательно проверять на повреждение или на потерю содержимого или защиты. Легкие упаковки, выполненные из картонных (фибровых) или деревянных ящиков, требуют дополнительных испытаний на падение, для имитации повторяющихся воздействий в процессе обращения. Для упаковок, содержащих делящиеся материалы, требование о дополнительных испытаниях на свободное падение с высоты 0,3 м на каждый угол или, в случае цилиндрической упаковки на каждую четверть, каждого обода (ранее п. 622.b) Правил, издания 1990 г., исправленного) были исключены из Правил МАГАТЭ, начиная с издания 1996 г. потому что такие упаковки, состоящие из металлических конструкций, не рассматриваются как уязвимые к накоплению повреждений, например легкие упаковки из дерева или картона. Любые несоответствия требованиям в конструкции упаковок, содержащих делящиеся материалы, выдерживать нормальное обращение, будут обнаружены испытанием по п. 3.4.2.4 НП-053-04 (п. 722 Правил МАГАТЭ-96). Дополнительные испытания на свободное падение с высоты 0,3 м до сих пор применимы к определенным картонным или деревянным упаковкам, независимо от того, содержат они делящиеся материалы или нет. Это вносит логику в режим испытания упаковок (п. 722.1 TS-G-1.1).

3.4.2.4-С3. Любые испытания на свободное падение следует проводить с содержимым упаковки, имитирующим максимальную массу. Может потребоваться более одного испытания на свободное падение для оценки всех возможных вариантов падения. Может возникать необходимость испытания специфических устройств упаковки, таких как петли и замки, для гарантии сохранения системы герметизации, защиты и безопасности по критичности (п. 722.2 TS-G-1.1).

3.4.2.4-С4. Устройства, требующие испытания, зависят от типа испытываемой упаковки. Такими устройствами являются элементы конструкции, материалы и механизмы, предусмотренные в конструкции, для предотвращения потери или распространения радиоактивных веществ или потери защитных материалов (т. е. система герметизации целиком, такие элементы, как клапаны крышки и их уплотнения). Для упаковок, содержащих делящиеся материалы, устройства могут включать в себя, помимо упомянутых выше, элементы для сохранения подкритичности, такие как фиксирующие рамы для топлива и поглотители нейтронов (п. 722.3 TS-G-1.1).

3.4.2.4-С5. "Максимальное повреждение" означает максимальное нарушение целостности упаковки. Для большинства упаковок с целью нанесения максимального повреждения, образец следует подвергать свободному падению в одном или более положениях таким образом, чтобы ударное ускорение и(или) деформация рассматриваемых элементов были бы максимальны. Большинство контейнеров имеют некоторую асимметрию, определяющую различное сопротивление удару. В любом исследовании следует учитывать адекватные конструктивные элементы, обеспечивающие возможное поглощение всей кинетической энергии упаковки. Следует разрабатывать обоснования как для повреждений в различных элементах между точкой удара и центром массы относительно их роли в поглощении энергии, в возбуждении внутренних нагрузок, в искривлении, изгибе или смятии, так и для последствий таких явлений (п. 722.4 TS-G-1.1).

3.4.2.4-С6. Упаковки малой массы можно вручную удерживать над мишенью и ронять, обеспечивая требуемое положение. Во всех остальных случаях следует предусматривать механические средства для удержания и освобождения упаковки в требуемом для удара положении. Это может быть просто спусковой механизм, подвешенный за находящуюся на верху конструкцию, такую как потолочная конструкция, кран или башня, сконструированная специально для испытаний на свободное падение. Конструкция специализированной установки для испытаний на падение имеет четыре главных элемента: опора, спусковое устройство, направляющее устройство (обычно не используется при прямых падениях) и мишень, которая определена в п. 3.1.4 НП-053-04 (п. 717 Правил МАГАТЭ-96). Требуется достаточная высота опоры, чтобы полностью вмещать спусковой механизм, удерживающий трос или системы подвески, и испытываемый образец, при этом обеспечивая правильное положение и высоту падения, измеряемую между нижней точкой упаковки и мишенью. В тех случаях, когда упаковка оборудована ограничителями удара, высоту падения следует отсчитывать от нижней точки ограничителя. Спусковой механизм для испытаний на свободное падение должен позволять легко закреплять и мгновенно отпускать образец, но он не должен нежелательным образом влиять на положение образца и не должен добавлять образцу механических повреждений. Могут использоваться различные типы механизмов (механические, электромагнитные или их комбинации). Ряд испытательных стендов описан в IAEA-TECDOC-295 [87] и в Перечне стендов для испытания упаковок для перевозки радиоактивных материалов, опубликованном в международном журнале "Перевозка радиоактивных материалов" [88] (п. 722.5 TS-G-1.1).

3.4.2.4-С7. В процессе пересмотра, который привел к изданию Правил МАГАТЭ 1996 г., и при разработке НП-053-04 было согласовано, что при проведении испытаний на свободное падение нет необходимости предусматривать все возможные положения, если испытания проводятся для нормальных условий перевозки. Если в нормальных условиях перевозки невозможно падение упаковки в определенных положениях, эти положения могут не рассматриваться при оценке наихудше-

го повреждения. Было предусмотрено, что данное ослабление требований разрешается только для упаковок больших размеров и с большим отношением сторон. Такое ослабление требует от конструктора упаковки документальных обоснований. Конструкции упаковок, требующие утверждения компетентных органов, следует испытывать в положениях наибольшего повреждения, независимо от размера упаковки или соотношения ее сторон (п. 722.6 TS-G-1.1).

3.4.2.4-C8. Методы масштабного моделирования могут быть полезными для определения наиболее опасного, с точки зрения повреждения, положения. Внимание должно уделяться приборам и инструментам, так как собственные частоты датчиков и элементов их крепления могут приводить к ошибкам в полученных данных.

3.4.2.4-C9. Методы масштабного моделирования могут использованы для определения наиболее уязвимого положения для повреждения при свободном падении (см. справки 3.1.1-C9 – 3.1.1-C27 настоящего Руководства, или пп. 701.7-701.25 TS-G-1.1, соответственно). Следует уделять внимание измерительной технике, поскольку частоты элементов крепления и самих датчиков могут вносить ошибки в полученные данные (п. 722.7 TS-G-1.1).

3.4.2.5-C1. Испытания на укладку штабелем предусмотрены для имитации эффекта давления на упаковку в течение длительного периода времени, чтобы получить уверенность в том, что эффективность защиты и системы герметизации не будет снижена, и в случае, когда содержимое будет делящимся материалом, не возникнет неблагоприятного воздействия на конфигурацию. Продолжительность этого испытания соответствует требованиям Рекомендаций ООН [21] (п. 723.1 TS-G-1.1).

3.4.2.5-C2. Любая упаковка, у которой нормальная верхняя поверхность, т. е. сторона, противоположная той, на которой она обычно стоит, является параллельной и плоской, может укладываться в штабель. Для укладки штабелем могут использоваться дополнительные подставки и опоры или рамы для упаковок с искривленной поверхностью. Упаковки с искривленной поверхностью не могут быть уложены в штабель, если они не снабжены опорами или подставками (п. 723.2 TS-G-1.1).

3.4.2.5-C3. Образец следует размещать нижним основанием на плоской поверхности, такой как бетонный пол или стальная плита. Если необходимо, плоскую плиту, имеющую достаточную площадь для покрытия верхней поверхности образца, следует помещать на эту поверхность так, чтобы нагрузка могла распределяться равномерно. Массу плиты следует включать в суммарную сдавливающую массу, применяемую в испытании. Если ряд однотипных упаковок возможно складировать, то наиболее простой метод состоит в построении штабеля из пяти упаковок на верхней поверхности испытываемого образца. Вместо этого на упаковку могут помещаться стальная плита или плиты или другие подходящие материалы, масса которых в 5 раз превышает массу упаковки (п. 723.3 TS-G-1.1).

3.4.2.6-C1. Испытание на проникновение (глубину разрушения) предназначено для гарантий того, что содержимое не выйдет из системы герметизации или что защита или система локализации не будут повреждены в случае, если тонкий объект, такой как длинный отрезок трубы или ручка руля падающего велосипеда, ударит и проникнет через внешний слой упаковочного комплекта (п. 724.1 TS-G-1.1).

3.4.3. Дополнительные испытания упаковок типа А, предназначенных для жидкого радиоактивного материала

3.4.3.1-C1. Эти дополнительные испытания для упаковок типа А, сконструированных для жидкостей или газов, продиктованы тем, что жидкие и газообразные вещества обладают более высокой способностью утечки, чем твердые материалы. Испытания не требуют предварительного испытания на обрызгивание водой (п. 725.1 TS-G-1.1).

3.4.4. Испытания для проверки способности упаковок выдерживать аварийные условия перевозки

3.4.4.1-C1. Испытания для проверки способности упаковки выдерживать аварийные условия перевозки направлены на выполнение следующих двух основных задач:

- имитация воздействий на упаковку, которые будут не меньше, чем она может испытать в самых серьезных транспортных авариях;
- обеспечение универсальности испытаний для различных конструкций упаковок, аварийных условий на различных видах транспорта, обеспечение повторяемости результатов испытаний и их математического моделирования, что необходимо для разработки конструкций упаковок.

3.4.4.1-C2. Аварийные испытания, определенные в Правилах, первоначально разрабатывались для достижения двух целей. Во-первых, они были задуманы как производящие повреждение упаковки, эквивалентное тому, которое может возникать при очень тяжелой аварии (но не обяза-

тельно всех мыслимых аварий). Во-вторых, испытания формулировались в таком виде, чтобы обеспечивать инженерную базу для проектирования. Поскольку анализ служит приемлемым методом квалификации конструкции, испытания были предписаны в технических показателях, которые могут служить недвусмысленными количественными исходными данными для таких расчетов. При разработке требований к испытаниям внимание уделялось также тому, как хорошо эти испытания могут быть воспроизведены (см. например, п. 717.1 TS-G-1.1 (2-й абзац данной справки) (п. 726.1 TS-G-1.1).

Мишень для испытаний на падение определена как практически недеформируемая поверхность, предназначенная для того, чтобы вызвать повреждения упаковки, которые были бы эквивалентными или большими, чем ожидаемые от ударов о реальные поверхности или конструкции, которые могут происходить при перевозке. Данная мишень служит также средством, обеспечивающим возможности сравнивать результаты испытаний и аналитических методов, и в случае необходимости воспроизводить испытания. Недеформируемая мишень, даже описанная в общих чертах, может многократно сооружаться таким образом, чтобы обеспечивались относительно большие масса и жесткость по отношению к испытываемой упаковке. Так называемые естественные мишени, такие как грунт, мягкие скальные породы и некоторые бетонные конструкции имеют меньшую жесткость и могут вызывать меньшие повреждения упаковки при заданной скорости удара [89]. Значительно труднее сооружать податливые поверхности, дающие воспроизводимые результаты экспериментов, при этом форма объекта, упавшего на такую мишень, может повлиять на характер податливости поверхности. Следовательно при использовании податливых мишеней, неопределенность результатов испытаний будет возрастать и сравнение результатов расчетов и экспериментов будет значительно более трудной задачей (п. 717.1 TS-G-1.1).

3.4.4.1-С3. Правила МАГАТЭ издания 1961 г. были основаны на принципе защиты содержимого упаковки и, таким образом, здоровья населения, от последствий «максимальной возможной аварии». Эта фраза была позже опущена, потому что она не дает единого уровня или стандарта, с которым нужно работать, и который необходим для обеспечения международной приемлемости односторонне утвержденных конструкций. Статистическая природа аварий в настоящее время в неявном виде содержится в требованиях. Главная цель испытаний упаковки - международная приемлемость, единообразие и повторяемость; испытания предусмотрены таким образом, что условия могут быть легко воспроизведены в любой стране. Условия испытаний ориентированы на воспроизведение тяжелых аварий в показателях повреждающих воздействий на упаковку. Эти условия создают повреждения, превышающие те, которые возникают в подавляющем большинстве зарегистрированных инцидентов, независимо от того, были вовлечены в них упаковки с РМ, или нет (п. 726.2 TS-G-1.1).

3.4.4.1-С4. Последовательность испытаний для каждой упаковки, состоящих из механических воздействий с последующим тепловым воздействием, соответствует сценариям наиболее серьезных аварий на транспорте, хотя и не наиболее частых. Например, на железных дорогах 90% всех пожаров не имеют механических воздействий, а при столкновениях, сходах и т.п. пожары имеют место только в 1-3% таких аварий. Испытания на погружение в воду может проводиться на отдельных упаковках, не подвергнутых механическому и тепловому испытанию, поскольку вероятность аварии с погружением на глубину после серьезной механической и тепловой аварии крайне мала.

3.4.4.1-С5. Цель механических испытаний (п. 3.4.4.2 НП-053-04 или 727 Правил МАГАТЭ-96) и последующих тепловых испытаний (п. 3.4.4.3 НП-053-04 или 728 Правил МАГАТЭ-96) – воспроизведение повреждения упаковки, эквивалентного тому, которое могло наблюдаться в случае попадания упаковки в тяжелую аварию. Считается, что порядок и тип испытаний соответствуют порядку внешних воздействий на упаковку в условиях реальной аварии при перевозке, т. е. механические воздействия сопровождаются затем тепловым. Последовательность испытания также обеспечивает механические повреждения упаковки перед воздействием теплового испытания: таким образом, упаковка наиболее подвержена получению максимальных тепловых повреждений. Механические и тепловые испытания применяются к одному и тому же образцу последовательно. Испытание погружением в воду (п. 3.4.4.4 НП-053-04 или 729 Правил МАГАТЭ-96) может проводиться на отдельном образце, потому что вероятность погружения, возникающая в связи с тепловой(механической) аварией крайне мала (п. 726.3 TS-G-1.1).

3.4.4.2-С1. Испытания на механическое повреждение имитируют возможные аварийные механические воздействия (падение упаковки, динамическое раздавливание и пробой твердым узким предметом). Большинство упаковок должны испытываться на падение и пробой. Легкие же упаковки с малой плотностью и большой активностью должны подвергаться испытанию на раздавливание и пробой, так как для них испытание на раздавливание является более жестким, чем испытание на падение.

3.4.4.2-С2. Требования о проведении механических испытаний для упаковок типа В были внесены в Правила МАГАТЭ издания 1964 г. вместо требования выдерживать "максимально возможную аварию", которое не было регламентировано специальными требованиями к испытаниям, а

было оставлено на усмотрение компетентного органа заинтересованной страны. Поскольку упаковки типа B(U) и типа B(M) могут перевозиться любыми видами транспорта, то требования к испытаниям для этих типов упаковок направлены на учет большого диапазона аварий, которые могут приводить к серьезным динамическим воздействиям на упаковки. Механические эффекты аварий могут быть сгруппированы в три категории: ударные, раздавливающие и проникающие нагрузки. Хотя численные значения для требований к испытаниям не определялись в то время непосредственно из анализов аварий, последующие анализы аварий и риска показали, что испытания представляют очень серьезные аварии на транспорте [90–95] (п. 727.1 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C3. При падении упаковки с высоты 9 м сочетание высоты падения 9 м, недеформируемой мишени и наиболее уязвимого для повреждения положения создает условия, в которых большая часть энергии падения поглощается структурой упаковки. В условиях реальных транспортных аварий такие мишени, как грунт или транспортное средство, являются деформируемыми, адсорбирующими часть энергии удара, и только более высокая скорость удара может вызывать эквивалентное повреждение [93–95] (п. 727.2 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C4. Конструкции тонкостенных упаковочных комплектов или конструкции с многослойными стенками (типа сэндвич) могут быть достаточно чувствительны к пробивающим нагрузкам в отношении потери целостности системы герметизации, потери тепловой изоляции или повреждения системы локализации. Даже толстостенные конструкции могут иметь слабые места, такие как крышки, дренажные отверстия, клапаны и т.д. Пробивающие нагрузки могут быть вероятными в авариях, поскольку ударяемые поверхности часто не плоски. Чтобы обеспечивать безопасность при таких нагрузках, были введены испытания на свободное падение с высоты 1 м на жесткий штырь. Высота падения и геометрические параметры пробоя в большей степени – результат инженерных оценок, чем вывод из анализа аварий (п. 727.3 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C5. Степень безопасности, обеспечиваемая испытанием на свободное падение с высоты 9 м, меньше для легких упаковок с малой плотностью, чем для тяжелых упаковок высокой плотности вследствие пониженной энергии удара и повышенной вероятности удара об относительно недеформируемую мишень [93–99]. Такие упаковки могут быть также уязвимыми к раздавливающим нагрузкам. Анализ аварий показывает, что вероятность динамических раздавливающих нагрузок в авариях на наземном транспорте выше, чем ударных нагрузок, потому что легкие упаковки перевозятся в больших количествах или вместе с другими упаковками [90–92]. Ошибки при обращении и складировании могут приводить к непомерным динамическим или статическим раздавливающим нагрузкам. Конечным результатом этого было включение испытаний на раздавливание (падение плиты массой 500 кг с высоты 9 м на упаковку) в Правила МАГАТЭ издания 1985 г. Упаковки, содержащие большое количество альфа-источников, в основном легкие, низкой плотности вследствие их ограниченной защиты, и могут быть отнесены к этой категории. Они содержат, например, порошки оксида плутония, и растворы нитрата плутония, которые являются РМ с высокой потенциальной опасностью. Вследствие их физических характеристик, большинство упаковок будут предметом испытаний на свободное падение с высоты 9 м, а не испытаний на раздавливание (п. 727.4 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C6. Правила требуют, чтобы положения упаковки в испытаниях на удар (падении упаковки с высоты 9 м – падение I), раздавливание (падение плиты массой 500 кг с высоты 9 м на упаковку – падение III) или пробой (падение упаковки с высоты 1 м на штырь – падение II) были такими, чтобы произвести максимальное повреждение, принимая во внимание тепловое испытание. Порядок проведения испытаний должен быть наиболее разрушительным. Оценку максимального повреждения следует проводить относительно удержания РМ внутри упаковки, сохранения защиты, чтобы внешнее излучение оставалось в допустимых пределах, и в случае наличия делящихся материалов – относительно сохранения подкритичности. Следует учитывать любое повреждение, приводящее к повышению излучения или потере герметичности или к повреждению системы локализации после тепловых испытаний. Повреждение, которое может приводить упаковку в состояние, непригодное для ее повторного использования, но не влияющее на ее способность соответствовать требованиям безопасности, не следует считать причиной для классификации образца, как не выдержавшего испытания (п. 727.5 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C7. В результате механических испытаний могут быть получены различные типы повреждений. Следует учитывать результаты таких повреждений при проведении любых аналитических оценок, для демонстрации выполнения соответствующих требований. Нарушение критического компонента или пробой системы герметизации могут приводить к выходу РМ. Деформация может нарушать функцию радиационной или тепловой защиты, изменять конфигурацию делящихся материалов, и это следует отражать в допущениях и прогнозах при оценке критичности. Локальное повреждение защиты может, как результат последующих тепловых испытаний, приводить к увеличению нарушений как тепловой, так и радиационной защиты. Следовательно, при проведении исследований следует включать в рассмотрение нагрузки, напряжения, нестабильность и локальные эффекты для всех положений свободного падения, если не преобладает симметрия (п. 727.6 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C8. Выполнение многократных падений образца при одном и том же испытании может быть неосуществимым вследствие его повреждения на предыдущем этапе. Может возникать необходимость использования более чем одного образца либо применять анализ и аргументированные доказательства, основанные на технических данных, а с целью предсказания наиболее опасных положений для повреждения образца, чтобы исключать из испытаний те положения, которые не приводят к нарушению безопасности (п. 727.7 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C9. Наиболее опасные пространственные положения для упаковок цилиндрической или кубической формы могут быть определены на основе [87, 100]. Несимметричные элементы, особенно выступающие части, могут быть весьма чувствительны к повреждениям, особенно если используются как точка приложения воздействия. Подъемные и вспомогательные устройства, такие как салазки или узлы крепления, часто имеют отличную от смежных частей упаковки прочность или жесткость, и их следует рассматривать как возможные точки воздействия (п. 727.8 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C10. Неоднородности, такие как крышка и другие проникающие детали, могут образовывать локальный жесткий элемент или структуру с ограниченной прочностью, которые могут быть повреждены вследствие деформации соседних конструкций или высоких нагрузок (при торможении), действующих на удерживаемые ими массы (п. 727.9 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C11. Тонкостенные упаковки, такие как бочки, следует анализировать в отношении пластической деформации, вызывающей либо потерю уплотнения системы герметизации, либо нарушения в креплении крышки, достаточные для ее потери (п. 727.10 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C12. Пункт 2.12.3 НП-053-04 (п. 671 Правил МАГАТЭ-96) содержит требование о выполнении для делящихся материалов анализов критичности с учетом суммарных повреждений, полученных в результате механических и тепловых испытаний. Следует рассматривать такие аспекты, как эффективность замедлителя, потеря поглотителей нейтронов, перегруппировка содержимого упаковки, геометрические изменения и температурные эффекты. Предположения, сделанные при выполнении анализа критичности, следует согласовывать с последствиями механических и тепловых испытаний. Кроме того, при проведении анализа следует учитывать все положения упаковки (п. 727.11 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C13. Подразумевается, что падение упаковки (падения I и II) или тела массой 500 кг (падение III) должно быть свободным падением под действием силы тяжести. Если, однако, используются некие направляющие (салазки), важно, чтобы скорость удара была по крайней мере равна скорости удара, когда упаковка или тело находились в свободном падении (приблизительно 13,3 м/с для падений I и III) (п. 727.12 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C14. Для падения II требуемая длина проникающего штыря равна 20 см. Следует использовать большую длину стержня, когда расстояние между внешней поверхностью упаковки и любым внутренним компонентом, важным для ее безопасности, больше чем 20 см или, когда это требуется, исходя из ориентации модели. Указанное отчасти справедливо для образцов с большими устройствами для ограничения ударов, если для них рассматривается проникающее воздействие. В качестве материала для конструкции штыря выбирается мягкая сталь. Следует обеспечивать минимальное значение предела текучести для таких материалов (не менее 150 МПа и не более 280 МПа). Отношение предела текучести к пределу прочности должно быть не более 0,6. Проведение испытаний может быть сопряжено с трудностями, если возможен прогиб стержня. В этом случае следует обосновать необходимую длину стержня, обеспечивающую максимальное повреждение образца (п. 727.13 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C15. Для падения II положением, приводящим к наибольшему повреждению, не обязательно служит прямое воздействие на верхнюю поверхность стержня. Для некоторых конструкций упаковки было показано, что максимальные повреждения вызывают наклонные положения с углами наклона в диапазоне 20–30° вследствие начального проникновения угла штыря во внешнюю оболочку упаковки (п. 727.14 TS-G-1.1).

3.4.4.2-C16. Только для предварительного конструирования и только для внешних оболочек типа сталь-свинец-сталь может быть использовано следующее уравнение для оценки толщины внешней оболочки, необходимой для сопротивления повреждению при испытаниях на пробой:

$$t = 2148{,}5 \left(\frac{w}{s} \right)^{0.7},$$

где t – толщина внешней оболочки, см;

w – масса упаковки, кг;

s – растягивающие напряжения материала внешней оболочки.

Уравнение основано на результатах испытаний, использующих отпущенную мягкую сталь с подложкой из химически чистого свинца [100]. Для упаковок, использующих материалы с другими физическими свойствами, может потребоваться иная толщина внешней стальной оболочки, чтобы соответствовать требованиям. Для упаковок небольшого диаметра (менее 0,75 м), или использующих материалы с другими физическими свойствами, или в случае ударов вблизи мест изменения

геометрии, или при наклонном положении предварительная оценка может быть не консервативной [100] (п. 727.15 TS-G-1.1).

3.4.4.2-С17. При испытаниях на раздавливание (падение III) упаковку следует оставлять на мишени в устойчивом положении. Для достижения этого может потребоваться опора, присутствие которой не должно влиять на повреждение упаковки [101] (п. 727.16 TS-G-1.1).

3.4.4.2-С18. Измерения испытываемых образцов и даже измерение реакции мишени на воздействие следует проводить по следующим причинам:

для проверки правильности допущений, сделанных при проведении анализа безопасности;

- как основу для изменений конструкции;
- как основу для конструирования упаковок, сравнимых с испытуемой;
- как контрольное испытание для компьютерных программ (п. 727.17 TS-G-1.1).

3.4.4.2-С19. Примерами измеряемых функций в условиях удара(раздавливания) могут быть временная функция торможения и временная функция деформаций. Там, где для сбора, регистрации и накопления данных используются электронные устройства, следует проводить проверку возможной фильтрации, усечения или искажения масштаба сигнала, чтобы не потерять важные пиковые значения данных. Для большинства измерений потребуются кабельные соединения с внешними устройствами. Эти соединения следует выполнять таким образом, чтобы они не ограничивали свободное падение упаковки и не удерживали ее после удара (см. п. 701.9 (справка 3.1.1-С11 настоящего Руководства)) (п. 727.18 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С1. Как и обоснования адекватности механических испытаний реальным аварийным условиям, приведенные выше обоснования адекватности условий испытаний на пожар реальным пожарам на транспорте используют данные TS-G-1.1 по результатам зарубежных исследований. В отношении максимальных и усредненных температур пламени, их геометрического распределения в очаге реального пожара и других аналогичных условий, очевидно, трудно находить различие для пожаров на транспорте в России по сравнению в зарубежных странах условиями.

Единственным отличающимся условием, на первый взгляд, может быть продолжительность пожаров с учетом протяженности маршрутов в России вследствие масштабов территории. Однако сравнение статистических данных продолжительности пожаров на железных дорогах Франции и СССР показало, что это различие незначительно (3-5%). Таким образом, имеются основания использовать результаты зарубежных исследований и для обоснования испытаний на пожар при перевозках в России.

3.4.4.3-С2. Работы, проведенные в США [90–92, 102–105], показывают, что тепловые испытания, определенные в п. 728 Правил МАГАТЭ-96 (п. 3.4.4.3 НП-053-04), охватывают внешние воздействия, сопровождающие большинство аварий на транспорте, связанных с пожарами. Правила определяют условия испытаний на основе горения жидкого углеводородного топлива на воздухе в течение 30 мин. Другие параметры, относящиеся к геометрии пламени и характеристикам теплопередачи, даны для определения поступления тепла к упаковке (п. 728.1 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С3. Тепловое испытание предполагает горение бассейна с жидким углеводородным топливом, которое призвано воспроизводить повреждающие воздействия от пожаров, включая горение твердых, жидких и газообразных горючих материалов. Такие жидкости, как нефтяной сжиженный газ, жидкий природный газ и жидкий водород, охватываются испытанием, потому что горение бассейна с подобными видами топлива будет не более 30 мин. Жидкие нефтяные продукты часто транспортируются по автомобильным и железным дорогам, по морю и предполагается, что они могут стать причиной пожара, сопровождающего аварию. Жидкости, которые могут обтекать упаковки и создавать упомянутые выше условия, имеют ограниченный диапазон значений теплотворной способности, поэтому серьезный пожар довольно хорошо определен (п. 728.2 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С4. Температура и коэффициент черноты пламени (800°С и 0,9) определяют временные и пространственно усредненные условия для горения топлива в бассейне. Локально, внутри пламени, температуры и потоки тепла могут превышать эти значения. Однако неидеальное расположение упаковки внутри пожара, перемещение со временем источника пожара относительно упаковки, экранированной другими негорючими упаковками или транспортными средствами, влияние ветра и массивные конструкции многих упаковок типа B(U) и типа B(M) будут усреднять реальные условия пожаров до условий, соответствующих испытанию, или до менее серьезных условий, чем при испытании [104, 105]. Присутствие упаковки и удаленность от источника кислорода (воздух проходит в глубь пламени примерно на 1 м) могут приводить к снижению температуры пламени, примыкающего к упаковке. Естественный ветер может приносить дополнительный кислород, но может и удалять пламя с отдельных частей упаковки, отсюда требование о постоянстве условий внешней среды. Использование вертикальных направляющих для пламени ниже упаковки будет снижать эффект ветра и увеличивать охват пламенем [106]. Оценивать значение коэффициента черноты трудно, потому что прямые измерения в отсутствуют, но данные практических испытаний говорят, что значение 0,9 может быть оценено, как преувеличенное. Маловероятно, чтобы условия аварии превышали комбинацию параметров серьезного пожара, имеющуюся в условиях испытаний (п. 728.3 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C5. Продолжительность большого нефтяного пожара зависит от количества вовлеченного в пожар топлива и от доступности средств борьбы с пожаром. Жидкое топливо перевозится в больших количествах, но для того, чтобы сформировать бассейн, необходимо, поступление протечки в хорошо огороженную площадь вокруг упаковки с соответствующими потерями за счет дренажа. Не все содержимое отдельной цистерны будет вовлечено в такой сценарий, поскольку достаточно много топлива либо останется в самой цистерне, либо перетечет к другой упаковке. Наиболее вероятно, что содержимое других цистерн будет гореть на некотором расстоянии, так как пожар перемещается от цистерны к цистерне. Должен быть осознан тот факт, что при отсутствии прямой угрозы жизни пожару часто позволяют догореть до затухания естественным образом. Соответственно обзор имеющихся данных о продолжительности пожаров должен быть критическим. Таким образом, длительность пожара 30 мин была выбрана из рассмотрения этих факторов и учитывает низкую вероятность для упаковки быть вовлеченной в пожар с большим объемом топлива и «наихудшим случаем» в отношении геометрии. Маловероятный пожар значительной продолжительности наиболее правдоподобен в сочетании с геометрическими условиями, которые обеспечивают эффективное снижение подвода тепла к упаковке, остающейся на грунте и (или) защищенной конструкциями перевозочного средства. Подвод тепла при проведении тепловых испытаний, соответствует реалистическим условиям тяжелой аварии (п. 728.4 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C6. Следующая конфигурация геометрии пожара минимизирует эффекты потерь за счет излучения и увеличивает приток тепла к упаковке. Поднятие упаковки на отметку 0,6 ÷ 1 м обеспечивает хорошее развитие пламени в месте расположения упаковки с достаточным пространством для бокового подвода воздуха. Это улучшает равномерность пламени без изменения тепловых потоков. Размещение источника топлива за границы упаковки гарантирует минимальную толщину пламени около 1 м, обеспечивая его разумно высокую излучательную способность. Размер бассейна должен на 1 ÷ 3 м выходить за внешнюю поверхность испытываемого образца, для улучшения охвата пламенем. Большие размеры бассейна могут приводить к кислородному голоданию в центре и соответственно к низким температурам около упаковки [107] (п. 728.5 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C7. Предыдущие издания Правил содержали требование отсутствия искусственного охлаждения до истечения 3 ч после окончания горения. В издании 1985 г. ссылка на трехчасовой период была исключена. Подразумевалось, что оценка температур и давлений будет продолжаться до тех пор, пока внутренние и внешние температуры не снизятся и естественное горение компонентов упаковки будет продолжаться без вмешательства. Потери тепла с поверхности упаковки после окончания пожара будут определяться только естественной конвекцией и излучением (п. 728.6 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C8. Правила допускают другие значения поглощающей способности поверхности, если они могут быть обоснованы, как альтернатива стандартному значению 0,8. На практике при горении бассейна образовывается столько дыма, что сажа будет осаждаться на холодных поверхностях, изменяя условия теплообмена. Это благоприятно для повышения поглощающей способности, но создает барьер для теплопроводности. Значение 0,8 соответствует поглощающей способности красок и может рассматриваться, как аппроксимация эффекта осаждения сажи на поверхности. Поскольку поверхность нагревается, сажа может не сохраниться, что может приводить к снижению поглощающей способности поверхности (п. 728.7 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C9. В Правилах МАГАТЭ издания 1985 г. устранена существовавшая ранее неопределенность "конвективного поступления тепла в условиях неподвижного окружающего воздуха при температуре 800°C", но не сделано указания о значении коэффициента, необходимого конструктору для обоснования допущений. Существенная доля поступления тепла может быть получена за счет конвекции, особенно когда внешняя поверхность оребрена, и в начале испытания, когда поверхность относительно холодная. Подводимое конвективное тепло должно быть по крайней мере эквивалентно теплу при горении углеводородного топлива в воздухе при указанных условиях (п. 728.8 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C10. Преобладающие последствия тепловых испытаний – увеличение температур упаковки и последующие эффекты (например, высокое внутреннее давление). Пик температуры до некоторой степени зависит от начальной температуры, которую следует определять, используя соответствующие (максимальные) начальные условия для внутреннего тепловыделения, солнечного тепла и температуры окружающей среды. Для практических испытаний не все из этих условий достижимы, поэтому следует выполнять соответствующие измерения (например, температуры окружающей среды) и соответствующим образом корректировать температуру упаковки после испытания (п. 728.9 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C11. Условия пожара, определенные в Правилах, и требование о полном охвате пламенем в течение всего испытания представляют собой очень серьезное испытание для упаковки. Не ставится задача определения наихудшего потенциального пожара. На практике некоторые параметры могут быть более тяжелыми, чем указанные в Правилах, однако другие могут быть менее тяжелыми. Например, трудно представить такую практическую ситуацию, когда все поверхности упаковки испытывают на себе все воздействие пламени, так как можно предполагать, что суще-

ственная часть площади поверхности защищена либо грунтом, либо обломками и осколками, образующимися при аварии. Упор был сделан в большей степени на тепловой поток, чем на выбор отдельных параметров, и определенные таким образом условия представляют собой очень тяжелое испытание для любой упаковки [105]. Тепловое испытание является только одним из кумулятивной серии испытаний, которым необходимо подвергнать упаковку для приведения к максимальному ее повреждению. Это повреждение должно оставаться очевидно малым в свете строгих критериев для целостности системы герметизации, уровня внешнего излучения и безопасности по критичности (п. 728.10 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C12. Ниже приводятся примеры, которые могут быть рекомендованы. Могут использоваться и другие подходы и методы, но они предполагают больший объем обоснований для своей поддержки. Важно отметить, что требования теплового испытания могут быть удовлетворены проведением практических испытаний, расчетными оценками или их комбинацией. Последний подход может потребоваться, если, например, начальные условия, необходимые для испытания, не были достигнуты, или если элементы конструкции упаковки не были полностью представлены в эксперименте. Во многих случаях последствия теплового испытания необходимо определять расчетным путем, и таким образом, они становятся неотъемлемой частью планирования и проведения практических испытаний. Правила устанавливают определенные параметры горения, которые представляют собой важные исходные данные для расчетов, но в целом при проведении практических испытаний не контролируемы. Стандартизация практического испытания, достигается регламентацией топлива и геометрии бассейна для горения и требованием других практических методов для обеспечения такого же или большого подвода тепла (п. 728.11 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C13. Что касается конструкции упаковки, то некоторые защитные материалы имеют эвтектику с температурой плавления ниже окружающей температуры 800°C теплового испытания. Поэтому следует проанализировать способность конструкционных материалов сохраняться. Такие материалы локальной защиты, как пластик, твердый парафин или вода, могут испаряться, создавая давление, которое может разорвать оболочку, которая, в свою очередь, могла быть ослаблена повреждениями, полученными в ходе механических испытаний. Может потребоваться термодинамический анализ для определения, действительно ли такое давление может быть достигнуто (п. 728.12 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C14. Нижнюю часть испытываемой упаковки следует располагать на 0,6 ÷ 1,0 м выше, чем поверхность жидкого топлива. Если топливо не восполнять или не заменять другой жидкостью, его уровень во время испытания будет снижаться, вероятно, на 100 ÷ 200 мм. Образец упаковки должен поддерживаться таким образом, чтобы поток тепла и пламя получали минимальные возмущения за счет опор, поддерживающих образец. Например, большое количество малых опор предпочтительнее одной опоры, закрывающей большую площадь упаковки. Транспортное средство и некоторое вспомогательное оборудование, которое может защищать упаковку на практике, следует изъять из испытания, поскольку такая защита была учтена при определении условий испытания (п. 728.13 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C15. Следует обеспечивать вылет размера топливного бассейна на 1 ÷ 3 м за пределы всех сторон упаковки так, чтобы все стороны были охвачены ярким пламенем толщиной не менее 0,7 м и не более 3 м, принимая во внимание снижение толщины пламени при увеличении высоты над бассейном. Упаковки больших размеров потребуют большего вылета, так как толщина пламени будет меняться тем больше, чем больше охваченные им расстояния. Требование о полном охвате пламенем может быть интерпретировано, как необходимость для всех частей упаковки оставаться невидимыми в течение 30 мин испытаний или, по крайней мере, в течение большей части этого времени. Это может быть достигнуто наилучшим образом путем охвата пламенем большой толщины, которое может естественным образом менять свою толщину, не становясь при этом прозрачным. Требуется низкая скорость ветра (постоянные спокойные условия внешней среды) для обеспечения устойчивого охвата пламенем, хотя большие пожары сами могут инициировать значительные локальные скорости ветра. Стабилизировать пламя могут помочь защитные ширмы или экраны, однако следует следить за тем, чтобы не допускать изменения характера пламени и избегать отражения или прямого излучения с поверхности. Это увеличило бы приток тепла к упаковке, и таким образом, не сделав испытание недействительным, ужесточило бы его условия больше, чем это необходимо (п. 728.14 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C16. Не следует откладывать проведение испытания при скоростях ветра менее 2 м/с. Короткие порывы ветра высокой интенсивности также не могут существенно повлиять на упаковки с высокой теплоемкостью, особенно если охват пламенем устойчиво поддерживается. Испытания на открытом воздухе следует проводить только в том случае, если дождь, град или снег не возникнут до окончания охлаждения образца после теплового воздействия. Упаковку следует располагать наименьшими размерами по вертикали для обеспечения лучшего охвата пламенем, если другая ее ориентация не приводит к большему притоку тепла или большему повреждению; в этом случае следует выбрать именно это положение (п. 728.15 TS-G-1.1).

3.4.4.3-C17. Топливо для испытания должно содержать дистиллят нефти с конечной точкой

дистилляции максимум 330°С и температурой вспышки в открытой чашке минимум 46°С, с высокой теплотворной способностью между 46 и 49 МДж/кг. Эти условия в основном соответствуют углеводороду, полученному из нефти с плотностью менее чем 820 кг/м^3, т. е. керосину и топливу типа JP4. Малые количества более летучего топлива могут быть использованы для поджога бассейна, так как это будет иметь незначительное влияние на общий подвод тепла (п. 728.16 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С18. Выбор измерительной техники будет диктоваться тем, как будут использоваться данные практического теплового испытания. Некоторые измерения очень важны, если испытание обеспечивает данные для расчетов с целью демонстрации соответствия Правилам. Тип и расположение измерительных приборов зависят от необходимых данных, например, могут понадобиться измерения внутреннего давления и температуры, и, если предполагается возникновение значительных напряжений, следует устанавливать датчики напряжений. Во всех случаях следует обеспечивать защиту кабелей, передающих сигналы через пламя во избежание посторонних электрических напряжений, создаваемых при высоких температурах. В качестве альтернативы непрерывным измерениям упаковка может быть оборудована таким образом, чтобы приборы могли быть подсоединены вскоре после окончания горения, но достаточно рано для фиксирования максимальных значений давления и температуры. Измерить утечку можно путем предварительной опрессовки и повторных измерений после теплового испытания с обеспечением (при необходимости) соответствующих поправок на температуру (см. пп. 656.5–656.24 TS-G-1.1 (справки 2.9.2-С3 – 2.9.2-С8 и 2.9.5-С5 – 2.9.5-С18 настоящего Руководства) (п. 728.17 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С19. Продолжительность испытания может регулироваться путем измеряемой подачи топлива, рассчитанной таким образом, чтобы обеспечивать требуемые 30 мин, отключением подачи топлива в определенное заранее время, путем откачивания топлива из бассейна в конце испытания, или путем осторожного гашения пламени без воздействия реагентами на поверхность упаковки. Продолжительность испытания – это время между достижением хорошего охвата пламенем и требуемой температуры пламени и временем, когда эти условия перестают выполняться (п. 728.18 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С20. Измерения следует продолжать после горения по крайней мере до тех пор, пока внутренние температуры и давления не начнут падать. В случае возникновения в этот период дождя или других осадков следует использовать временное укрытие для защиты упаковки и для предотвращения нежелательного угасания горения материалов упаковки, однако, следует следить за тем, чтобы не ограничивать теплоотдачу от упаковки (п. 728.19 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С21. Когда испытания обеспечивают данными для аналитических оценок упаковки, измерения, полученные в ходе испытания следует корректировать для нестандартных начальных условий температуры окружающей среды, инсоляции, внутреннего тепловыделения, давления и т.д. Следует оценивать влияние частичной загрузки, т. е. неполного количества содержимого в упаковке на изменение теплоемкости и теплопередачи (п. 728.20 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С22. Испытания с нагревом в печи часто более удобны, чем открытые испытания при горении бассейна. Другими возможными внешними условиями испытаний могут быть горение в колодезном горне и использование системы горелок на открытом воздухе, работающих на сжиженном нефтяном газе [108]. Любое из этих испытаний является приемлемым, при условии, что оно удовлетворяет требованиям п. 728 Правил МАГАТЭ-96. Методы проверки требуемого подвода тепла и обоснования тепловых условий окружающей среды можно найти в [109–111] (п. 728.21 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С23. Требование о том, чтобы увеличение внутренней температуры было не менее чем предсказанное увеличение при пламени с температурой 800°С, гарантирует удовлетворительный подвод тепла. Однако испытание следует продолжать, по крайней мере, 30 мин, в течение которых усредненная по времени температура должна быть, по крайней мере, 800°С. Следует обеспечивать источник с высокой излучательной способностью, выбирая печь либо с внутренней поверхностью, значительно превышающей огибающую поверхность упаковки, либо с высокой излучающей способностью внутренней поверхности (0,9 или выше). Многие печи не способны воспроизводить или требуемую излучательную способность, или поступление конвективного тепла, соответствующие горению бассейна; для компенсации этого может потребоваться увеличение продолжительности испытаний. В качестве альтернативы может быть использована более высокая температура печи, но продолжительность испытания следует обеспечивать, как минимум 30 мин. Следует измерять температуру стен печи в нескольких местах, чтобы показывать, что средняя температура не менее 800°С. Печь может быть предварительно прогрета в течение достаточного времени для достижения теплового равновесия, тем самым предотвращается значительное падение температуры при внесении упаковки. (п. 728.22 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С24. Расчет теплопередачи или определение физических и химических изменений полномасштабной упаковки, основанные на экстраполяции результатов теплового испытания масштабной модели, могут быть невозможными без большого количества других испытаний. Программа моделирования каждого процесса отдельно в широком диапазоне требует всестороннего исследования с помощью теоретической модели. Таким образом, метод, по существу, имеет небольшие

преимущества перед обычным аналитическим методом. Любое масштабное испытание и интерпретация полученных результатов требуют демонстрации технической достоверности. Однако может быть полезно использование полномасштабных моделей частей упаковки, если расчет для элемента (такого, как оребренная поверхность) оказывается затруднен. Например, эффективность тепловой защиты или амортизатора, выполняющего эту роль, может быть легко продемонстрирована путем испытания этого компонента с относительно простым телом под ним. Моделирование элементов весьма важно для валидации компьютерных моделей. Но измерять температуру пламени и излучательную способность пламени и поверхности очень трудно и могут быть не обеспечены достаточно точные данные для расчетов с целью валидации. Выбор размера элемента и соответствующей изоляции следует проводить таким образом, чтобы входящий тепловой поток от искусственных границ (т. е., границ, представляющих остальную часть упаковки) был незначительным (п. 728.23 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С25. Тепловое испытание уменьшенных моделей, удовлетворяющее определенным условиям теплового испытания, может проводиться и давать консервативные результаты для температур при условии, если отсутствуют фундаментальные изменения в тепловом поведении компонентов (п. 728.24 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С26. Наиболее общий метод оценки упаковок для тепловых испытаний – расчет. Универсальные компьютерные программы для расчета теплопередачи для такого моделирования упаковок доступны, однако следует удостовериться в том, что средства, которыми располагает программа, в частности для моделирования теплопередачи излучением от окружающей среды к внешней поверхности, адекватным геометрии упаковки. В конечном счете, для валидации могут потребоваться практические испытания, но часто используются доводы, демонстрирующие, что аппроксимации или принятые допущения создают более серьезные испытания, чем необходимо. В общем случае валидация программы дополняется сравнением с аналитическими решениями и с результатами расчетов по другим программам (п. 728.25 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С27. В общем случае нормальные условия перевозки должны будут оцениваться с помощью расчета, поэтому детальное распределение температур и давлений должно стать известным. В качестве альтернативы температуры упаковки могут быть измерены экспериментально, чтобы после корректировки, в соответствии с температурой окружающей среды, влиянием инсоляции и тепловыделения содержимого, они обеспечивали начальные условия для рассчитанных условий теплового испытания. Корректировки на температуры окружающей среды могут быть проведены в соответствии с п. 651.4 TS-G-1.1 (см. справку 2.9.3-С7 настоящего Руководства) (п. 728.26 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С28. Внешние граничные условия горения следует представлять через излучение, отражение и конвекцию. Температура определена в Правилах как среднее значение 800°С, поэтому в общем случае для источника излучения и для конвективной теплопередачи следует использовать равномерную среднюю температуру 800°С (п. 728.27 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С29. Предписанное значение излучательной способности (коэффициента черноты) пламени равно 0,9. Для ровной поверхности эта величина может быть использована уверенно, но для оребренных поверхностей тонкие языки пламени между ребрами будут иметь излучательную способность, которая намного ниже этого значения. Доминирующим источником излучения на оребренные поверхности будет поэтому пламя вне ребер; излучением от пламени во впадинах между ребрами можно пренебречь. Для всех случаев с развитой оребренной поверхностью следует использовать угловой коэффициент излучения, соответствующий геометрии, а также принимать во внимание отраженное излучение. Следует избегать учета излучения, "отраженного" от поверхности, представляющей пламя, так как это не типичная ситуация (п. 728.28 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С30. Предписанная поглощающая способность (коэффициент черноты) поверхности равна 0,8, если не установлено альтернативное значение. Практически весьма трудно доказать альтернативное значение, поскольку условия на поверхности меняются при горении, особенно за счет осаждения сажи, и данные, полученные после горения, могут быть неприемлемыми. Таким образом, для аналитических оценок наиболее приемлемым значением является 0,8. Важно принимать во внимание отраженное излучение, особенно для сложных оребренных поверхностей, так как многократное отражение повышает эффективную поглощающую способность до величины, близкой к единице. Этой трудности можно избежать, предположив поглощающую способность поверхности, равную единице, но даже в этом случае не следует пренебрегать излучением от поверхности к поверхности, в частности в период охлаждения (п. 728.29 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С31. Следует обосновывать коэффициенты конвективной теплоотдачи при горении. Найдено, что скорости газа при горении бассейна находятся в диапазоне 5 ÷ 10 м/с [112]. Использование таких значений в корреляциях для теплообмена при вынужденной конвекции (например, соотношение Колберна, $Nu = 0{,}036\ Pr^{1/3}\ Re^{0{,}8}$, цитированное МакАдамсом [113]) приводит к значению коэффициентов конвективного теплообмена около 10 Вт/м^2·°С для больших упаковок. Коэффициенты для естественной конвекции (около 5 Вт/м^2·°С) не применимы, поскольку естественная конвекция предполагает наличие нисходящих потоков газа вблизи холодных стенок упаковки, в то вре-

мя как на практике преобладает подъемное движение восходящих потоков за счет архимедовых сил. Верхняя поверхность упаковки маловероятна для реализации таких высоких скоростей газа при постоянных атмосферных условиях: там будет присутствовать область застоя в защищенном от восходящего потока газов месте. Сниженная конвекция здесь адекватно представляется средним коэффициентом, так как процесс осреднения включает этот эффект (п. 728.30 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С32. Коэффициенты конвективного теплообмена для периода охлаждения после испытания могут быть получены из литературы по стандартной естественной конвекции, например, [113]. В этом случае могут легко применяться значения коэффициентов, подходящих для каждой поверхности. Для вертикальных плоскостей уравнение турбулентной естественной конвекции определяется как:

$$Nu = 0{,}13\ (Pr \cdot Gr)^{1/3}$$

для числа Грасгофа $>10^9$. Должны приниматься граничные условия, использованные для оценки условий нормальной эксплуатации. При проведении пост тестовых оценок следует принимать во внимание изменения условий на поверхности и(или) геометрии, являющиеся следствием действия огня, так как они могут повлиять и на конвективные, и на радиационные потери тепла. Если компоненты упаковки продолжают гореть после окончания теплового испытания, то следует принимать допущение о продолжающемся потоке тепла (п. 728.31 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С33. Следует анализировать правильность моделирования любой тепловой защиты, такой как ограничители ударов, испытавших воздействие в результате механических испытаний, установленных в п. 3.4.4.2 НП-053-04 (п. 727 Правил МАГАТЭ-96). На пример, изменение размеров (формы), изменение плотности материалов вследствие сжатия, отделение тепловой защиты (п. 728.32 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С34. Для расчетов, выполняемых с использованием моделей конечных разностей или конечных элементов, следует использовать достаточно густую сетку или распределение элементов, чтобы правильно представлять внутреннюю теплопроводность, а также внешние и внутренние граничные условия. Следует уделять внимание внешним элементам, таким как оребрение, поскольку температурные градиенты могут быть очень велики и возможно потребуется выполнять отдельные детальные расчеты для определения потока тепла к основному телу. Следует рассматривать выбор одно-, двух- или трехмерных моделей и принимать решение относительно того, всю упаковку или отдельные ее части следует оценивать (п. 728.33 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С35. Внешние поверхности с низкой теплопроводностью могут вызывать колебание рассчитываемых температур. Чтобы справиться с этим, могут потребоваться специальные методики (например, упрощение граничных условий) или допущения (например, о том, что усредненные во времени температуры достаточно точны) (п. 728.34 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С36. Теплопроводность и излучение могут моделироваться явно, а внешняя конвекция привносит с собой несколько проблем для универсальных компьютерных программ, и могут потребоваться экспериментальные свидетельства для поддержания допущений по моделированию и основные данные, использованные для представления внутренней конвекции и излучения. Отражение излучения будет важно для упаковок, заполненных газом, и недостаточные знания относительно термоэмиссионной способности могут ограничивать конечную точность расчетов. Чтобы продемонстрировать адекватность принятых допущений и обеспечивать консервативные (т. е. максимальные) пределы рассчитываемых температур, может быть использован анализ чувствительности с применением различных значений термоэмиссионной способности (п. 728.35 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С37. Внутренняя конвекция будет важной для упаковок, заполненных водой, и может быть значительной для упаковок, заполненных газом. Этот процесс трудно поддается предсказанию, если нет экспериментальных данных для обоснования допущений, сделанных при моделировании. Там, где для воды обеспечены пути циркуляции, внутреннее рассеяние тепла будет быстрым по сравнению с другими постоянными времени, и могут быть сделаны упрощающие допущения (например, вода может моделироваться искусственными материалами с высокой теплопроводностью). Следует обращать внимание на те области, где отсутствует циркуляция воды (области застоя), так как из-за реально низкой теплопроводности воды в этих местах могут быть высокие температуры (п. 728.36 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С38. Газовые зазоры и контактные сопротивления могут меняться в зависимости от меняющегося расширения элементов, и не всегда ясно, приведет ли данное допущение к высоким или к низким температурам. Например, высокое сопротивление газового зазора будет препятствовать потоку тепла, снижая температуры внутри, но увеличивая другие температуры вследствие уменьшения эффективной теплоемкости. В таких случаях расчеты, основанные на двух крайних допущениях, могут приводить к доказательству, что оба условия приемлемы, откуда косвенно следует, что все вариации между ними также приемлемы. Зазоры и контактные сопротивления в испытываемом образце должны соответствовать будущей продукции. Уплотнения редко представляются в явном виде, но локальные температуры могут быть использованы как близкая аппроксимация температуры уплотнения (п. 728.37 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С39. Расчет переходного процесса теплового испытания должен включать началь-

ные условия – 30 мин под воздействием внешних условий горения и период охлаждения, продолжающийся до тех пор, пока все температуры продолжают снижаться во времени. Следует дополнительно выполнять расчеты, возможно, с другим распределением расчетной сетки для проверки правильности расчетной модели и оценки неопределенностей, связанных с принятыми при моделировании допущениями (п. 728.38 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С40. Для подтверждения того, что упаковка имеет необходимую прочность и приемлемые скорости утечки, будут использоваться результаты анализа. Важным шагом является определение давлений по рассчитанным температурам, особенно для упаковки, содержащей улетучивающиеся материалы, такие как вода или UF_6. Для таких элементов, как свинцовая защита, часто не допускается плавление, поскольку результирующее состояние не будет поддаваться точной оценке и, таким образом, оценка защиты будет невозможной. Для гарантии того, что не будет плавления или других видов нарушений в течение всей процедуры, следует исследовать температуры компонентов, если это необходимо, в связи с наличием отдельных горячих мест. Должны быть осознаны неопределенности модели, данных (допуски при изготовлении) и ограничения компьютерных программ: для этих неопределенностей должны быть сделаны допущения (п. 728.39 TS-G-1.1).

3.4.4.3-С41. На температуры и давления в установившемся состоянии после испытательного воздействия могут влиять необратимые изменения при тепловом испытании (возможно, вследствие защитных мер, таких как применение расширяющихся покрытий или вследствие плавления и последующего перемещения свинца внутри упаковки). Указанные эффекты следует оценивать (п. 728.40 TS-G-1.1).

3.4.4.4-С1. В результате транспортных аварий на реке, озере или в море либо вблизи них упаковка может быть подвергнута воздействию внешнего давления при погружении в воду. Для имитации эквивалентного повреждения от этого маловероятного события Правила требуют, чтобы упаковочный комплект мог противостоять внешнему давлению, эквивалентному погружению на разумную глубину. Инженерные оценки показывают, что глубина воды рядом с большинством крупных мостов, дорог или портов будет меньше 15 м. Соответственно глубина 15 м была принята в качестве глубины погружения для упаковок (упаковка, содержащая большие количества облученного ядерного топлива должна быть способна противостоять большим глубинам (см. п. 3.4.4.5 НП-053-04 или п. 730 Правил МАГАТЭ-96). Хотя возможно погружение упаковки на глубину большую, чем 15 м, эта величина была выбрана, чтобы охватывать эквивалентное повреждение при большинстве аварий на транспорте. К тому же потенциальные последствия от значительного выхода радиоактивности будут больше вблизи берега или на мелководье. Период равный 8 ч, достаточен для установления стационарного состояния упаковки после воздействий, зависящих от скорости погружения (например, от затопления ее внешних компонентов) (п. 729.1 TS-G-1.1).

3.4.4.4-С2. Тест на погружение может быть проведен путем погружения упаковки под воду путем испытания внешним давлением не менее 150 кПа, путем испытания на давление критических элементов в сочетании с расчетами или путем расчетного анализа всей упаковки. Целая упаковка может не подвергаться испытанию давлением. Обоснование допущений модели относительно реакции критических элементов следует включать в оценку (п. 729.2 TS-G-1.1).

3.4.4.5-С1. См. пп. 657.1–657.7, 729.1 и 729.2 TS-G-1.1 (справки 2.9.2-С1 – 2.9.2-С7, 3.4.4.4-С1 и 3.4.4.4-С2 настоящего Руководства) (п. 730.1 TS-G-1.1).

3.4.4.5-С2. Испытание на погружение в воду может быть проведено путем погружения упаковки под воду, путем испытания на давление не менее 2 МПа, путем испытания на давление критических компонентов в сочетании с расчетами или путем расчетного анализа для всей упаковки (п. 730.2 TS-G-1.1).

3.4.4.5-С3. Если приняты расчетные методы, то следует иметь в виду, что используемые методы обычно направлены на определение материала, свойств и геометрии, которые в результате дадут конструкцию, способную противостоять требуемым нагрузкам от давления без какого-либо повреждения. В случае испытания с погружением на глубину 200 м в течение не менее 1 ч, допускается некоторая степень изгиба, потеря устойчивости или деформации если конечные условия соответствуют п. 657 Правил МАГАТЭ-96 (п. 730.3 TS-G-1.1).

3.4.4.5-С4. Вся упаковка не обязана подвергаться испытанию давлением. Такие критические компоненты, как область крышки, могут быть подвергнуты испытанию внешним избыточным давлением не менее 2 МПа, а устойчивость конструкции может быть оценена путем расчета (п. 730.4 TS-G-1.1).

3.4.5. Испытания на водопроницаемость упаковок, содержащих делящийся ядерный материал

3.4.5.1-С1. Освобождение от испытания на водопроницаемость (погружение в воду на глубину 1 м) упаковок, освобожденных от требований по ядерной безопасности, не означает отмену необходимости испытаний таких упаковок, если они относятся к типу В или типу С, на аварийные

условия погружением на глубину 15 м и 200 м (по применимости).

3.4.5.2-C1. Это испытание необходимо потому, что натекание воды внутрь может иметь значительно влиять на допустимое содержание делящихся материалов в упаковке. Последовательность испытаний выбирается так, чтобы обеспечивать условия свободного поступления воды в упаковку вместе с повреждениями, которые могут приводить к перегруппированию делящегося содержимого (п. 732.1 TS-G-1.1).

3.4.5.3-C1. Испытание на погружение в воду предназначено для обеспечения консервативности оценок критичности. Последовательность испытаний перед погружением имитирует аварийные условия, в которые упаковка могла бы попасть рядом с водой или на водном транспорте. Образец погружается в воду на глубину не менее 0,9 м на период времени не менее 8 ч (п. 733.1 TS-G-1.1).

3.4.6. Испытания упаковок типа С

3.4.6.1-C1. Правила не требуют подвергать один и тот же образец всем предписанным испытаниям, потому что ни одна из реальных аварий не включает в себя все наихудшие условия испытаний. Вместо этого Правила требуют проведения испытаний в такой последовательности, чтобы сконцентрировать повреждения в логической последовательности, типичной для тяжелой аварии, см. IAEA-TECDOC-702 [114] (п. 734.1 TS-G-1.1).

3.4.6.1-C2. Различные образцы могут быть подвергнуты последовательности испытаний. Критерии оценки для испытания с погружением, описанного в п. 730 Правил МАГАТЭ-96, также отличны от критериев для других испытаний. После завершения каждой последовательности испытаний упаковка должна быть оценена относительно защиты и целостности системы герметизации (п. 734.2 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C1. Важно возможное появление проколов и разрывов. Однако окружающая среда плохо поддается количественному и качественному описанию [115, 116]. Повреждение от прокола может быть вызвано частями рамы самолета или грузом. Прокол на земле возможен, но рассматривается как менее важный (п. 735.1 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C2. Последствием прокола может быть утечка из системы герметизации упаковки, но это событие очень маловероятно. Более серьезная проблема – повреждение теплоизолирующей способности упаковки, что приводит к неудовлетворительному функционированию в случае возникновения возгорания после удара упаковки (п. 735.2 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C3. Подготовка испытания требует определения длины, диаметра и массы штыря, недеформируемой мишени и скорости удара. Одной из возможностей определения штыря было обращение к компонентам самолета. Предусматривалось использование двутавровой балки в некоторых испытаниях или предложениях по испытаниям, однако предпочли применять штырь более простой геометрической формы, а именно прямой круговой конус. Полагается, что эта форма причинит наибольшее повреждение. Высота падения или расстояние перемещения испытательного штыря в диапазоне нескольких метров представительна для разрушения конструкций или подскакивания внутри самолета (п. 735.3 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C4. Разрушения в двигателях могут вызывать образование большого количества свободных фрагментов со скоростями, заслуживающими рассмотрения. Потеря самолета – только одно из многих последствий разлета фрагментов, которые могут обладать достаточной энергией (вплоть до 10^5 Дж). Однако вероятность повреждения упаковки фрагментом была оценена в специальных исследованиях [114, 117, 118] как низкая; вероятность проникновения, хотя она и не оценивалась, будет, вероятно, еще ниже. Таким образом, на основе вероятностных оценок было принято, что не обязательно предусматривать испытание, охватывающее повреждение от фрагмента двигателя (п. 735.4 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C5. В подпункте а) данного пункта (п. 735.a) Правил МАГАТЭ-96) не определены общая длина проникающего штыря и детали его конструкции вне усеченного конуса, однако следует подтверждать выполнение требований относительно массы. В соответствии с требованиями подпункта б) данного пункта (п. 735.b) Правил МАГАТЭ-96) следует обеспечивать достаточную длину и массу проникающего объекта для его проникновения через поглощающие энергию теплоизоляционные материалы, окружающие внутренний сосуд системы герметизации, а также достаточную твердость для обеспечения проникающего усилия без собственного разрушения и смятия штыря. В обоих случаях центры тяжести образца и упаковочного комплекта следует выравнивать, чтобы избежать непроникающего отклонения [119] (п. 735.5 TS-G-1.1).

3.4.6.2-C6. Для дополнительной информации см. также справки 3.4.4.2-C1 – 3.4.4.2-C18 настоящего Руководства или пп. 727.1–727.18 TS-G-1.1 (п. 735.6 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C1. При определении условий испытания основной целью было определять комбинацию скоростей, перпендикулярных к недеформируемой мишени, обеспечивает условия повреждения образца, эквивалентные тем, которые можно ожидать в воздушной аварии при реальных скоростях, на реальных поверхностях и при произвольных углах. Рассмотрены вероятностные рас-

пределения переменных параметров при аварии, так же, как и положение образца, являющееся наиболее чувствительным параметром для повреждения (п. 737.1 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C2. Данные, на которых необходимо основывать анализ аварий, были получены из отчетов с подробностями аварий, составленных официальными лицами на месте аварии, и лицами, связанными с последующими расследованиями. Некоторые данные основаны на реальных измерениях. Другие данные выведены путем их анализа и предположений, основанных на представлении о том, как авария вероятно развивалась. Каждый отчет об аварии должен быть оценен и преобразован в некоторые основные характеристики, такие как скорость столкновения, характер ударяющейся массы, угол удара, природа ударяемой поверхности, и т. п. Часто необходимо получать другие параметры аварии для перекрестной проверки информации (п. 737.2 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C3. Основные данные, которые могут поступать из отчета об аварии, полезны, но не содержат информации о ее характере и условиях окружающей среды, которым, вероятно, подвергался груз, вовлеченный в аварию. Например, повреждения транспортного средства и груза могут сильно отличаться в зависимости от того, было ли это столкновение с небольшим автомобилем, мягкой насыпью или опорой моста. Чтобы учитывать такие воздействия, выполняется анализ, переводящий фактическую скорость удара в эффективную скорость лобового столкновения о поверхность, которая не поглощает энергии удара. Такая поверхность называется недеформируемой. Следовательно, вся имеющаяся энергия переходит в энергию деформации транспортного средства и груза упаковок с РМ. Поскольку наибольший интерес представляет груз, разумно допускать, что транспортное средство не поглощает энергию. Такое предположение приводит к консервативному анализу (п. 737.3 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C4. Полагая, что груз ударяется со скоростью транспортного средства при переходе к эффективной скорости столкновения о недеформируемую поверхность, получаем эффективную скорость столкновения, которая ниже по сравнению с реальной скоростью воздействия и зависит от относительной прочности груза по сравнению с прочностью реальной поверхности столкновения. В случае "жесткой" упаковки и "мягкой" мишени (например, контейнер с отработавшим ядерным топливом и вода) отношение фактической скорости воздействия к эффективной может изменяться в диапазоне от 7 до 9. При одинаковых жесткостях упаковки и поверхности отношение может быть 2 или более. Для бетонных дорог и взлетных полос отношение скоростей может колебаться от 1,1. до 1,4. Имеется очень мало поверхностей, для которых отношение было бы равно 1 [114] (п. 737.4 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C5. Преобразование основных данных, содержащихся в отчете об аварии, в эффективную скорость столкновения выполняется с целью представления условий аварии с ударом в стандартный формат, в котором теряется вариантность аварийных сценариев, но в то же время сохраняются усилия воздействия на груз. Повторение этого процесса для всех важных авиационных аварий создает статистическую основу для выбора эффективной скорости столкновения с жесткую мишенью [119–121] (п. 737.5 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C6. Для конструкций упаковок, которые допускают выход РМ не более чем A_2 в неделю при проведении испытаний, можно предполагать выход всего их содержимого при чуть более тяжелых условиях. Тем не менее такие возможности не рассматриваются. Напротив, ожидается, что упаковка, сконструированная в соответствии с Правилами, ограничивает выход радиоактивности приемлемым уровнем, если внешние условия аварии не будут значительно выше условий, предусмотренных нормами, и затем допускает только постепенное повышение выхода радиоактивности по мере того, как внешние условия будут существенно превышать уровни условий испытаний. Это значит, что упаковки должны "умирать элегантно". Такое поведение является результатом следующих факторов:

- коэффициентов безопасности, заложенных в конструкции упаковок;
- способностей материалов, использованных в упаковках, для достижения специфических целей, таких, например, как защита, смягчение нагрузок, если эти способности явно не учитывались при анализе конструкции;
- способности материалов противостоять нагрузкам, значительно превышающим предел упругости;
- нежелания конструкторов использовать, а компетентных органов утверждать материалы, которые имеют крутые пороги разрушения в результате плавления или перелома в условиях, вероятных при перевозке (п. 737.6 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C7. Хотя предполагается, что все эти особенности конструкции хорошей упаковки обеспечат желаемое свойство элегантного выхода из строя. Также верно и то, что имеются лишь очень ограниченные данные об испытаниях упаковок до разрушения, чтобы увидеть, как увеличивается выход с ужесточением условий аварии. Имеющиеся ограниченные данные проведенных экспериментов и расчетных анализов поддерживают концепцию элегантного выхода из строя (умирания) [121–123] (п. 737.7 TS-G-1.1).

3.4.6.3-C8. Скорость столкновения при испытании была получена из изучения частотного распределения кумулятивной вероятности частотного распределения [114,124 – 126]. Анализ усло-

вий большинства аварий показывает, что с ужесточением условий столкновения количество событий резко возрастает до максимума, падая затем до нуля, по мере того, как достигаются физические пределы, такие как максимальная скорость транспортного средства. Построение этих данных в виде кумулятивной кривой, т. е. процента событий с тяжестью менее, чем заданная величина, дает кривую, которая сначала растет быстро, затем очень медленно (после того, как достигается «колено» кривой). Если данные построить в формате, который показывает вероятность превышения заданной скорости удара, редкость тяжелых аварий проявляет себя в виде четкого перегиба или «колена» кривой. Эта область кривой интересна, поскольку онадемонстрирует, где повышенные уровни защиты, созданные в упаковке, начинают снижать свое влияние на вероятность разрушения. Кроме того, область слева от «колена» покрывает приблизительно 95% всех аварий. «Колено» кривой имеет место при значении скорости приблизительно 90 м/с. Эта величина была выбрана в качестве стандартного элемента испытания на столкновение (п. 737.8 TS-G-1.1).

3.4.6.3-С9. Требование, чтобы конструкция упаковки обеспечивала защиту при нормальной скорости много больше, чем в районе "колена", обычно означает более массивную, более сложную и более дорогую конструкцию, которая даст небольшое увеличение защиты населения. Кроме того, конструкция, преодолевающая удар при скорости в области "колена" кривой, выдерживает и много других аварий со скоростями выше, чем в области "колена", вследствие консерватизма, заложенного в конструкцию упаковки, консерватизма в анализе данных аварий и в преобразовании этих данных в эффективную скорость воздействия на недеформируемую мишень. Другими словами маловероятно полное катастрофическое разрушение системы герметизации даже в экстремальной части кривой (п. 737.9 TS-G-1.1).

3.4.6.3-С10. Необходимость испытания упаковки при конечной скорости (скорости падения с конечной высоты) обсуждалась в контексте испытания на столкновение, однако полагается, что удар упаковки при конечной скорости учтен испытанием на столкновение при скорости 90 м/с. Цель условий воздействия на упаковку при конечной скорости – демонстрация способности упаковки обеспечивать защиту даже в случае, если упаковка будет выброшена из самолета на высоте полета. Такая ситуация могла бы возникнуть вследствие столкновения в воздухе или вследствие разрушения конструкций самолета в полете. Тем не менее отмечается, что требования к упаковке типа С уже включают испытание на столкновение при скорости 90 м/с. Это испытание демонстрирует сохранение упаковки даже для сценариев аварий "груз за бортом" (п. 737.10 TS-G-1.1).

3.4.6.3-С11. Несмотря на то, что скорость свободного падения упаковки может превышать 90 м/с, едва ли удар о поверхность в этом случае будет таким же тяжелым, как и при столкновении с жесткой поверхностью, предусмотренной при испытании на столкновение. Отмечается, что вероятность воздушных аварий любого типа низка, а процент аварий, включающих столкновение в воздухе или разрушение самолета в воздухе, очень мал. Если такая авария происходит с самолетом, перевозящим упаковку типа С, повреждение упаковки может быть уменьшено, если при падении она останется прикрепленной к обломкам самолета, что приводит к снижению скорости соударения упаковки (п. 737.11 TS-G-1.1).

3.4.6.3-С12. Обеспечение условий для столкновения упаковки с недеформируемой поверхностью со скоростью 90 м/с весьма сложно для качественного выполнения. Данная скорость соответствует скорости свободного падения с высоты 420 м, если не принимать во внимание сопротивление воздуха. Это означает, что для обеспечения столкновения с поверхностью в нужном месте и в нужном положении, обычно будут нужны специальные направляющие тросы. Направляемое свободное падение означает, что нужно учитывать трение даже для увеличения высоты отрыва для обеспечения нужной скорости столкновения. Могут также применяться другие методы, использующие другие источники энергии, для достижения нужной скорости и ориентации упаковки. Такие методы включают ракетные салазки и тросовые установки с тягой вниз (п. 737.12 TS-G-1.1).

3.4.6.3-С13. Дополнительная полезная информация приведена в пп. 701.1–701.24 и 727.6–727.17 TS-G-1.1 (см. справки 3.1.1-С2, 3.1.1-С4 – 3.1.1-С26 и 3.4.4.2-С7 – 3.4.4.2-С18 настоящего Руководства, соответственно) (п. 737.13 TS-G-1.1).

3.4.6.4-С1. Для упаковок, содержащих делящийся материал в количествах, не подпадающих под освобождение согласно п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 672 Правил МАГАТЭ-96), термин "максимальное повреждение" следует принимать как поврежденное состояние, которое приводит в результате к максимальному коэффициенту размножения нейтронов (п. 737.14 TS-G-1.1).

3.5. Испытания упаковок с гексафторидом урана

3.5.1-С1. Гидравлическим испытаниям подвергается только цилиндр; клапаны и другое вспомогательное оборудование в испытания на утечку включать не следует, испытывать их в соответствии со стандартом ISO 7195 (п. 718.1 TS-G-1.1).

4. АДМИНИСТРАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

4.1. Общие положения

4.1.1-С1. Установленный в НП-053-04 перечень сертификатов-разрешений, выдаваемых ГКО, отличается от аналогичного перечня, рекомендуемого в Правилах МАГАТЭ-96. Дополнительно в НП-053-04 требуется получение сертификатов-разрешений на конструкцию упаковок типа А, а также сертификатов-разрешений на перевозку промышленных упаковок типа ПУ-2 и типа ПУ-3.

4.1.1-С2. Требования к утверждению в Правилах ранжированы в соответствии со степенью опасности перевозимых РМ. Утверждение предусматривается для получения гарантий того, что конструкция отвечает соответствующим требованиям и что требуемые меры контроля безопасности адекватны условиям страны и перевозки. Поскольку транспортные операции и условия перевозки отличаются для различных стран, подход, использующий «многостороннее утверждение», обеспечивает возможность для каждого компетентного регулирующего органа удостовериться, что перевозка будет производиться должным образом с учетом всех особенностей национальных условий (п. 204.1 TS-G-1.1).

4.1.1-С3. Концепция многостороннего утверждения применяется для перевозок, где возникает такая задача. Это означает, что к утверждению привлекаются только те компетентные органы, юрисдикции которых непосредственно касается конкретная перевозка. Незапланированные отклонения, возникающие в процессе перевозки и приводящие к необходимости въезда в страну, где такая перевозка не была предварительно утверждена, при возникновении потребуют индивидуального подхода. По этой причине определение многостороннего утверждения ограничено странами "через территорию которых, или на территории которых транспортируется груз" и исключает страны, над территорией которых перевозка осуществляется воздушным путем. Страны, через которые перевозка осуществляется воздушным путем, часто не известны до тех пор, пока самолет не поднимется в воздух и не получит разрешение на полет. В том случае, если посадка самолета в стране запланирована, концепция многостороннего утверждения предусматривает утверждение перевозки компетентным органом данной страны (п. 204.2 TS-G-1.1).

4.1.1-С4. Пользователи Правил должны быть осведомлены о том, что государство-член МАГАТЭ в соответствии с национальными правилами может потребовать получения дополнительного утверждения со стороны своего компетентного органа для любого РМ особого вида, упаковки типа B(U) и типа С, которые должны использоваться для перевозки по его территории даже в том случае, если конструкция уже была утверждена в другой стране (п. 204.3 TS-G-1.1).

4.1.1-С5. Полагается, что для одностороннего утверждения Правила учитывают условия перевозки, которые могут встречаться в любой стране. Соответственно требуется только утверждение компетентным органом страны происхождения конструкции (п. 205.1 TS-G-1.1).

4.1.1-С6. Если требуется утверждение компетентного органа, этому органу следует (по применимости) выполнять независимую оценку в отношении: РМ особого вида или РМ с низкой способностью к рассеянию; упаковок, содержащих 0,1 или более килограммов UF_6; упаковок, содержащих делящиеся материалы; упаковок типа B(U) и типа B(M); упаковок типа С; специальных условий; определенных перевозок; программ радиационной защиты для судов специального назначения; а также не указанных величин A_1 и A_2, неуказанных концентраций активности материалов, на которые распространяется изъятие, и не указанных пределов активности грузов, на которые распространяется изъятие (п. 802.2 TS-G-1.1).

4.1.1-С7. Рассматривая требование о выдаче сертификатов-разрешений ГКО для упаковок, сконструированных для делящихся материалов, следует отметить, что п. 2.12.2 Правил исключает некоторые упаковки из этого требования, применяемого специально для делящихся материалов. Однако все соответствующие требования, которые применяются к радиоактивным (не свойствам делимости) к свойствам содержимого упаковки применяются.

4.1.1-С8. В отношении требования утверждения компетентным органом упаковок, сконструированных для делящихся материалов, отмечено, что п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 672 Правил МАГАТЭ-96) освобождает определенные упаковки от действия требований, применяемых непосредственно к делящимся материалам. Однако все уместные требования, относящиеся к радиоактивным, не связанным с процессом деления свойствам содержимого упаковки, остаются в действии (п. 802.3 TS-G-1.1).

4.1.1-С9. Отношения между компетентным органом и заявителем должны быть четко определены. Это обязанность заявителя "доказать правоту", продемонстрировать соблюдение соответствующих требований. Обязанностью компетентного органа является рассудить, демонстрирует ли адекватно или нет предоставленная информация такое соблюдение. Компетентному органу следует иметь возможность проверки утверждений, расчетов и оценок, сделанных заявителем, даже, если необходимо, путем выполнения независимых расчетов или испытаний. Однако ему не следует "доказывать правоту" вместо заявителя, потому что в этом случае компетентный орган попадает в трудное положение, будучи одновременно "адвокатом" и "судьей". Тем не менее это не запрещает

компетентному органу неформально, без взятия на себя обязательств консультировать заявителя по вопросам типа того, каким представляется приемлемый способ демонстрации выполнения требований (п. 824.4 TS-G-1.1).

4.1.1-С10. Заявителю следует обращаться компетентному органу на этапе предварительного конструирования для обсуждения применения соответствующих принципов конструирования и установления как процедуру утверждения, так и действий, которые следует выполнять (п. 802.6 TS-G-1.1).

4.1.1-С11. Опыт показывает, что многие заявители направляют свою первую заявку для условий конкретной и срочной потребности, являющейся достаточно узкой по области распространения, а позднее делают несколько запросов по изменению сертификата-разрешения, пытаясь расширить область его применения, чтобы использовать упаковочный комплект для других типов материала и (или) перевозок. По мере возможности, заявителей следует поощрять к формированию их первого запроса в виде общего случая, предваряющего и охватывающего их будущие потребности. Это заставит процедуру "заявка-утверждение" работать более эффективно. В некоторых случаях обоюдную пользу будущему заявителю и компетентному органу принесет обсуждение предполагаемой заявки в общих чертах до ее официального направления в детальном виде (п. 802.7 TS-G-1.1).

4.1.1-С12. Другая информация дана в приложении II к документу МАГАТЭ Серии изданий по безопасности № 112 [12] (п. 802.8 TS-G-1.1).

4.1.1-С13. НП-053-04 не предусматривают централизованного согласования и утверждения конструкций и перевозок РМ в освобожденных упаковках и промышленных упаковках типа ПУ-1 в связи с малой потенциальной опасностью перевозок таких упаковок. Считается, что достаточно той ответственности за обеспечение выполнения требований НП-053-04, которую несут разработчики, изготовители, пользователи упаковочных комплектов, а в конечном счете грузоотправители, и контроля со стороны надзорных и других государственных органов за выполнением соответствующих требований Правил и других документов (например, условий действия соответствующих лицензий).

4.1.1-С14. В соответствии с НП-053-04 утверждению подлежат только конструкции упаковок, а не сами изготовленные упаковочные комплекты и их содержимое. Для достижения уверенности, что изготовленные упаковочные комплекты будут соответствовать утвержденной конструкции, в рамках рассмотрения заявок на получение сертификатов-разрешений подлежат рассмотрению соответствующие программы обеспечения качества при изготовлении и эксплуатации упаковочных комплектов.

4.1.1-С15. Положения, изложенные в данном разделе НП-053-04, относятся к порядку согласования и получения разрешения на конструкции и перевозки только с точки зрения соответствия требованиям НП-053-04. Необходимость других согласований, утверждений, получения разрешений и т.д. определяется правилами перевозки грузов (или опасных грузов). Однако при этих согласованиях, утверждениях и т.д. не должны предъявляться дополнительные требования по сравнению с НП-053-04 по обеспечению ядерной и радиационной безопасности.

4.1.1-С16. Согласование и утверждение конструкций упаковок, перевозок РМ и других вопросов в соответствии с НП-053-04 не снимает ответственности с грузоотправителей за обеспечение безопасности перевозок РМ и их последствий согласно действующему законодательству.

4.1.2-С1. Порядок выдачи сертификатов-разрешений, а также ведение их реестра определяется совместно ГКО, органами государственного регулирования безопасности и другими заинтересованными федеральными органами исполнительной власти.

4.1.2-С2. Для выполнения различных функций от имени государства в НП-053-04 указаны несколько федеральных органов исполнительной власти. Это органы государственного управления использованием атомной энергии, органы государственного регулирования безопасности, федеральные органы исполнительной власти в области транспорта. В положениях об этих федеральных органах исполнительной власти, утвержденных постановлениями Правительства Российской Федерации, указано на выполнение ими определенных функций компетентного органа. Постановлением Правительства Российской Федерации от 19.03.2001 г. № 204 утверждено Положение о Государственном компетентном органе (ГКО) по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них, а также определено, что функции ГКО выполняет Минатом России (в настоящее время – Росатом). В этом положении приведен перечень функций ГКО.

4.1.2-С3. Заявки на выдачу сертификатов-разрешений должны включать всю необходимую информацию, на основании которой ГКО и другие федеральные органы исполнительной власти (согласующие сертификат) могут убедиться, что конструкция упаковки и условия перевозок соответствует требованиям НП-053-04. Практически вся требуемая информация обычно входит в состав конструкторской документации. В то же время некоторым вопросам, как показывает опыт рассмотрения конструкторской документации на упаковочные комплекты и опыт подготовки сертификатов-разрешений, при разработке упаковочных комплектов, уделяется недостаточное внимание.

4.1.2-C4. При разработке упаковочных комплектов и в соответствующей документации недостаточно рассматриваются и оцениваются данные о свойствах и параметрах радиоактивного содержимого, для которого разрабатывается упаковочный комплект. Практически не приводится информации об источниках получения этих данных и степени их надежности (отчеты об исследованиях и испытаниях). В то же время радиоактивное содержимое является неотъемлемой частью конструкции упаковки и в значительной мере определяет ее безопасность. Без подробной информации о свойствах и параметрах радиоактивного содержимого и надежности этих данных не может быть уверенности в безопасности конструкции упаковки.

4.1.2-C5. При разработке конструкции и в заявке на получение сертификата-разрешения необходимо иметь пояснительную записку, которая помогает последовательно и всесторонне оценивать соответствие конструкций именно требованиям НП-053-04. В такой записке должен быть приведен полный перечень требований к конструкции в соответствии с НП-053-04 и по каждому пункту кратко описаны способы доказательства и основные результаты, а также дана ссылка на более детальные документы, прилагаемые к заявке.

4.1.2-C6. В настоящее время при разработке упаковочных комплектов недостаточно внимания уделяется разработке программ обеспечения качества в ходе изготовления и эксплуатации упаковки. В то же время без таких программ не может быть уверенности, что изготовленные и эксплуатируемые упаковки соответствуют требованиям НП-053-04.

Принятая при разработке упаковочных комплектов система указания контрольных операций, проверок и т.д. на чертежах не дает возможности всесторонней и системной оценки степени надежности обеспечения качества. В частности, при этом не выделяются вопросы по степени их важности для безопасности. В материалах МАГАТЭ и ИСО приводятся детальные рекомендации по разработке системы обеспечения качества для упаковок и соответствующего специального документа для каждой конструкции упаковки.

4.1.2-C7. Полный перечень нормативно-технической документации, требованиям которой должна соответствовать конструкция, позволяет всесторонне оценивать назначение конструкции и ее элементов, что исключит ненужные вопросы и т.д.

4.1.2-C8. Другие рекомендации по подготовке заявок на получение сертификатов-разрешений различных типов изложены ниже.

4.1.2-C9. Конструкция РМ особого вида должна получать одностороннее утверждение компетентного органа до перевозки, в то время как конструкция для материалов с низкой способностью к рассеянию требует многостороннего утверждения. Пункт 803 Правил МАГАТЭ-96 определяет минимальный объем информации, который должен быть включен в заявку на утверждение (п. 803.1 TS-G-1.1). Аналогичные требования должны быть включены в российские нормативные документы, определяющие порядок выдачи сертификатов-разрешений. См. также соответствующие справки ниже в отношении требований к заявкам на получение сертификатов-разрешений (сертификатов об утверждении согласно Правилам МАГАТЭ).

4.1.2-C10. Утверждение упаковок, сконструированных для перевозки неделящегося и делящегося освобожденного гексафторида урана в количествах, превышающих 0,1 кг, является новым требованием, введенным в издание Правил МАГАТЭ-96 и в НП-053-04. Поскольку в это издание Правил введены специальные требования к конструкции и испытаниям, стало необходимым потребовать сертификацию. Так, была включена новая категория для идентификации упаковок, а сертификация конструкции упаковок, требующих многостороннего утверждения, согласно Правилам МАГАТЭ-96, потребуется на три года раньше, чем будет сертификация односторонне утверждаемых конструкций упаковок. Этот шаг был предпринят для того, чтобы гарантировать, что те конструкции, которые не удовлетворяют всем требованиям, раньше вовлекаются в процесс сертификации (п. 805.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C11. Информация, представленная заявителем согласно пп. 810.a) и b) Правил МАГАТЭ-96, позволяет компетентному органу оценивать последствия отсутствия соответствия конструкции типа B(M) требованиям к типу B(U), а также определять, достаточны ли предложенные дополнительные меры контроля для обеспечения сравнимого уровня безопасности. Дополнительные меры имеют целью скомпенсировать отсутствие тех мер безопасности, которые не могут быть внедрены в конструкцию. Через механизм многостороннего утверждения конструкция упаковки типа B(M) независимо оценивается компетентными органами всех стран, через которые или в которые такие упаковки транспортируются (п. 810.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C12. Особое внимание следует уделять констатации того, какие требования к упаковкам типа B(U) из пп. 637, 653, 654 и 657 – 664 Правил МАГАТЭ-96 не удовлетворяются в конструкции упаковки. Предложенные дополнительные меры эксплуатационного контроля или ограничения (т.е. иные, чем те, которые уже требуются согласно Правилам), применяемые для компенсации отсутствия соответствия вышеупомянутым требованиям, должны быть полностью определены, описаны и обоснованы. Максимальные и минимальные условия окружающей среды по температуре и инсоляции, ожидаемые в ходе перевозки, должны быть определены и обоснованы с учетом регио-

нов или стран использования и соответствующих метеорологических данных. См. также пп. 665.1 и 665.2 TS-G-1.1 (справки 2.10.1-C2 и 2.10.1-C3 настоящего Руководства) (п. 810.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C13. Если из упаковок типа B(M) требуется периодический сброс давления, то компетентному органу следует направлять полное описание процедур и директив для согласования. Дальнейшие рекомендации можно найти в пп. 666.1 – 666.6 TS-G-1.1 (справки 2.10.2-C1 – 2.10.2-C6 настоящего Руководства) (п. 810.3 TS-G-1.1).

4.1.2-C14. Для всех конструкций упаковок для делящихся материалов (IF, AF, B(U)F, B(M)F и CF) многостороннее утверждение требуется главным образом из-за природы опасности возникновения критичности и вследствие важности поддержания подкритичности на всех этапах перевозки. Кроме того, регулирующие положения к конструкции упаковки для делящихся материалов оставляют полную свободу относительно методов, обычно расчетных, с помощью которых демонстрируется соответствие этим требованиям. Поэтому необходимо, чтобы компетентный орган независимо оценивал и утверждал все конструкции упаковок для делящихся материалов (п. 812.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C15. Требуется, чтобы конструкция упаковки для делящихся материалов удовлетворяла требованиям как в отношении радиоактивных свойств, так и свойств деления содержимого упаковки. В отношении радиоактивных свойств упаковка классифицируется согласно определению упаковки в определении 36 НП-053-04 (п. 230 Правил МАГАТЭ-96). Если это применимо, требуется утверждение конструкции упаковки, основанное на свойствах радиоактивности, а не делимости содержимого упаковок. В дополнение к такому утверждению требуется утверждение конструкции в отношении свойств деления содержимого упаковок. Освобождения в отношении требований к утверждению конструкции упаковок для делящихся материалов см. в п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 672 Правил МАГАТЭ-96) (п. 812.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C16. Требуется, чтобы информация, представляемая компетентному органу с заявкой на утверждение, детализировала демонстрацию соответствия каждому требованию пп. 2.12.1 и 2.12.3 – 2.12.12 НП-053-04 (пп. 671 и 673 – 682 Правил МАГАТЭ-96). В частности, информация должна включать пункты, особо выделенные в сертификате-разрешении компетентных органов. Приемлемо включение необходимой информации об экспериментах, расчетах или обоснованных аргументах, используемых для демонстрации подкритичности отдельной упаковки или партии упаковок. Следует направлять информацию, достаточную для того, чтобы компетентный орган мог проверять соответствие упаковки требованиям Правил (п. 813.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C17. Если требуется утверждение перевозки (в НП-053-04 утверждение требуется всегда, кроме перевозок освобожденных упаковок и упаковок типа ПУ-1), то такое утверждение должно охватывать весь процесс перемещения груза от исходного пункта до пункта назначения. Если груз пересекает национальную границу, то утверждение перевозки должно быть многосторонним, т.е. перевозка должна быть согласована компетентным органом страны, из которой груз вывозится, и компетентными органами стран, через которые или в которые груз перемещается. Цель требования многостороннего утверждения состоит в том, чтобы давать возможность заинтересованным компетентным органам определять необходимость особого контроля в процессе перевозки (п. 820.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C18. При применении п. 820 Правил МАГАТЭ-96 каждое требование следует применять отдельно. Например, груз упаковок типа B(M) со сбросом давления, содержащих делящиеся материалы, может потребовать утверждения в соответствии с пп. 820.a) и 820.c) Правил МАГАТЭ-96 (п. 820.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C19. Необходимость применения п. 820 Правил МАГАТЭ-96 определяется реальным содержимым упаковки, подлежащей перевозке. Например, если упаковочный комплект типа B(M), для которого сертификат-разрешение об утверждении конструкции дает допустимое содержание Co-60 в пределах 1600 ТБк, используется для перевозки всего 400 ТБк Co-60, утверждения перевозки не требуется, поскольку 400 ТБк меньше, чем 1000 ТБк (п. 820.3 TS-G-1.1).

4.1.2-C20. Согласно пп. 802.a) (iv) – (vi) Правил МАГАТЭ-96, утверждение конструкции требуется для определенных конструкций упаковок. Некоторые из этих упаковок могут перевозиться без дополнительного утверждения перевозки, в то время как для других такое утверждение требуется (см. п. 820). В отдельных случаях дополнительное утверждение перевозки необходимопотому, что нужен эксплуатационный или иной контроль, который может зависеть от реального содержимого упаковки. В тех ситуациях, когда необходимость контроля в процессе перевозки может быть определена на стадии рассмотрения и утверждения конструкции, не надо рассматривать единичные перевозки. Утверждение конструкции упаковки и перевозки может быть объединено в одном документе об утверждении (п. 821.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C21. В Правилах делается концептуальное различие между утверждениями конструкции и перевозок. Утверждение перевозок может быть включено в соответствующий сертификат-разрешение об утверждения конструкции, и, если это делается, то следует позаботиться о четком определении двойственной природы сертификата-разрешения и применять правильные коды типов. О коде типов см. пункт 828 Правил МАГАТЭ-96 (п. 4.2.3 НП-053-04 и справки 4.2.3-C1, 4.2.3-C2 настоящего Руководства) (п. 821.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C22. Хотя утверждение перевозки в специальных условиях потребует рассмотрения как перевозки, так и конструкции упаковки, это утверждение оформляется выдачей сертификата-разрешения на перевозку в специальных условиях. Дальнейшее руководство можно найти в пп. 312.1 – 312.4 TS-G-1.1 (см. справку 1.2.7-C3 настоящего Руководства) (п. 824.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C23. Необходимый уровень безопасности при перевозках в специальных условиях обычно достигается введением эксплуатационного контроля для компенсации отступлений от требований, предъявляемых к упаковке или процедурам перевозки. Отдельные методы эксплуатационного контроля, которые могут эффективно использоваться, приведены ниже:

(a) Исключительное использование перевозочного средства (см. п. 221 Правил МАГАТЭ-96).

(b) Сопровождение перевозки. Сопровождающим обычно является специалист по радиационной защите, имеющий приборы радиационного мониторинга и осведомленный об аварийных процедурах, позволяющих ему в случае аварии или иного нештатного события быстро определять наличие угрозы радиационного облучения или загрязнения и оказывать соответствующую консультацию гражданским властям. При автодорожной перевозке персоналу сопровождения, по мере возможности, следует перемещаться в отдельном перевозочном средстве, чтобы не оказаться недееспособным в результате той же самой аварии. Сопровождающий персонал также должен иметь лопаты, веревки и знаки для обозначения границ аварийной зоны, а также огнетушителем для тушения небольших возгораний и средствами связи. Кроме специалиста по радиационной защите, в состав сопровождения могут включаться полицейские и пожарные.

(c) Маршрут перевозки можно планировать и регулировать с целью выбора наименее опасных дорог и (по возможности), избежания густонаселенных районов и возможных опасностей (крутые уклоны и железнодорожные переезды).

(d) Временной график перевозки можно планировать и регулировать для избежания периодов интенсивного движения, таких как часы пик и конец недели.

(e) По возможности перевозки следует делать прямыми, т.е. без остановок и перегрузки в пути.

(f) Скорость перевозочных средств может быть ограничена, в частности, если ударная прочность упаковки низка и если пониженная скорость транспортного средства не вызовет дополнительных опасностей, таких как столкновения с перевозочными средствами, движущимися быстрее.

(g) Следует уделять внимание заблаговременному оповещению аварийных служб (полиции и пожарных).

(h) Следует иметь аварийные процедуры (специально разработанные или постоянно действующие) на случай попадания перевозимого груза в аварию.

(i) По мере необходимости следует использовать вспомогательное оборудование такое как система крепления упаковки к перевозочному средству или системы амортизаторов и иные защитные устройства или конструкции в качестве компенсирующих мер безопасности (п. 825.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C24. Рекомендации по содержанию сертификатов-разрешений различных типов, их валидации и ведению их реестра представлены ниже.

4.1.2-C25. Цель подробного описания содержания сертификата-разрешения двоякая. Оно помогает компетентному органу в разработке его сертификатов-разрешений и облегчает их проверку, поскольку содержащаяся в них информация стандартизована (п. 830.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C26. В Правилах предписано, какая основная информация должна содержаться в сертификатах-разрешениях и в системе опознавательных знаков компетентного органа. Компетентным органам настоятельно рекомендуется следовать этим предписаниям как можно точнее для достижения международного единообразия сертификации. Наряду со ссылкой на необходимые национальные и международные правила, в каждом сертификате-разрешении следует ссылаться на соответствующее издание Правил, поскольку они являются международно-признанными и известными нормами. Международные опознавательные коды регистрации транспортных средств (VRI), используемые в опознавательном знаке компетентного органа, даны в таблице справки 4.2.2-C3 настоящего Руководства (п. 830.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C27. Как обсуждалось в п. 418.1 TS-G-1.1 (см. справку 1.3.3.6-C2 настоящего Руководства), при подготовке сертификата-разрешения следует принимать во внимание разрешенное количество, тип и вид содержимого каждой упаковки из-за возможного влияния этих параметров на безопасность по критичности. В сертификате-разрешении следует определять необходимые специальные инспекции или испытания содержимого для подтверждения его характеристик до перевозки. Это имеет особое значение для любых перемещаемых поглотителей нейтронов или иных устройств управления критичностью, которые будут загружены в упаковку перед отправкой (см. пп. 502.4 и 502.5 TS-G-1.1 (справка 2.12.7.6-C2 настоящего Руководства). По применимости в сертифи-

кате-разрешении следует определять или давать в виде ссылки критерий, которому должны удовлетворять результаты измерения (п. 831.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C28. Чтобы соответствовать требованиям п. 502.d) Правил МАГАТЭ-96, следует разрабатывать и сопровождать детальные процедуры, гарантирующие путем измерения давления и температур в течение длительного периода достижения стабильного, стационарного состояния. При выполнении любого испытания следует гарантировать, что выбранный метод обеспечивает необходимую чувствительность и не приводит к нарушению целостности упаковки. Факт несоответствия с требованиями к утвержденной конструкции следует полностью документировать и информировать о нем компетентные органы, утвердившие конструкцию (п. 502.5 TS-G-1.1).

4.1.2-C29. В сертификате-разрешении для специальных условий следует указывать любые специальные условия размещения груза, которым необходимо следовать или которые не следует применять (п. 831.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C30. В НП-053-04 упаковки, содержащие делящиеся материалы, исключены из сферы действия требований пп. 2.12.7.5–2.12.12 (п. 673 – 682 Правил МАГАТЭ-96), если соблюдены определенные требования к упаковке и загрузке (см. п. 2.12.2.в) НП-053-04 или 672.a) Правил МАГАТЭ-96). Если упаковки в грузе содержат делящиеся материалы, освобожденные на основе пределов для упаковки, следует позаботиться об обеспечении соблюдения пределов для груза. Это будет означать, что грузоотправитель должен быть хорошо осведомлен о верхнем пределе количества делящихся материалов в каждой упаковке или предполагать, что в каждой упаковке содержится максимально допустимое количество (см. п. 672.a) Правил МАГАТЭ-96) (п. 832.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C31. Сертификат об утверждении (сертификат-разрешение) компетентного органа страны происхождения обычно первый, который должен быть выпущен в серии сертификатов многостороннего утверждения. Компетентные органы, иные, чем страны происхождения, имеют выбор: либо выполнять отдельную оценку и экспертизу безопасности, либо использовать оценку, уже выполненную компетентным органом страны происхождения, ограничивая тем самым границы и степень собственной оценки (п. 834.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C32. Последующие сертификаты об утверждении (сертификаты-разрешения) могут принимать одну из двух форм. Во-первых, компетентный орган последующей страны может подтверждать первоначальный сертификат, т.е. согласовывать и подтверждать первоначальный сертификат, включая определенный в этом сертификате контроль. Это многостороннее утверждение путем подтверждения первоначального сертификата. Утверждение путем подтверждения не потребует каких-либо дополнительных опознавательных знаков компетентных органов как для идентификации сертификата (сертификата-разрешения), так и для маркировки упаковок. Во-вторых, компетентный орган может выпускать сертификат об утверждении (сертификат-разрешение), связанный с первоначальным сертификатом, но отдельный от него, причем этот последующий сертификат (сертификат-разрешение) будет иметь опознавательный знак, отличный от первоначального. В этом случае упаковки, используемые в рамках такого многостороннего утверждения, должны быть помечены опознавательными знаками как первоначального, так и последующего сертификатов об утверждении (сертификатов-разрешений) (см. п. 829.b) Правил МАГАТЭ-96) (п. 834.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C33. Компетентному органу следует контролировать специальные аспекты, связанные с конструкцией, изготовлением и использованием упаковочных комплектов в рамках программы обеспечения соблюдения Правил (см. п. 311 Правил МАГАТЭ-96). Для проверки правильности применения серийные номера всех упаковочных комплектов, изготовленных в соответствии с конструкцией, утвержденной компетентным органом, требуется сделать доступными для этого органа. Компетентному органу следует вести реестр серийных номеров (п. 819.1 TS-G-1.1).

4.1.2-C34. Упаковочным комплектам, изготовленным в соответствии с конструкцией, утвержденной компетентным органом для продолжения использования в рамках положений переходного периода (пп. 816 и 817 Правил МАГАТЭ-96), также следует присваивать серийные номера. Серийный номер и знание этого серийного номера компетентным органом важны, поскольку номера обеспечивают способ определения того, какая конкретная упаковка является объектом положений "грандфазеринга" ("переходного периода") (п. 819.2 TS-G-1.1).

4.1.2-C35. Серийные номера упаковочных комплектов должны однозначно определять каждый изготовленный упаковочный комплект. Соответствующий компетентный орган должен быть информирован об этом серийном номере. Термин "соответствующий" имеет широкую интерпретацию и может относиться к какой-либо из следующих стран:

- страна, где конструкция упаковки была первоначально разработана;
- страна, где упаковочный комплект был изготовлен;
- страна или страны, где упаковка используется.

В случае, если упаковочные комплекты, изготовлены в соответствии с конструкцией упаковки, утвержденной для продолжения использования согласно п. 4.3.3 НП-053-04 (пп. 816 и 817 Правил МАГАТЭ-96), всем компетентным органам, вовлеченным в процесс многостороннего утверждения, должна направляться информация о серийных номерах упаковочных комплектов (п. 819.3 TS-G-1.1).

4.2. Типы и обозначения сертификатов (сертификатов-разрешений)

4.2.2-C1. Для обозначения сертификатов-разрешений используется латинский алфавит с целью унификации с международными требованиями и, с учетом, что Правила разработаны на основании Правил МАГАТЭ-96 и соответствуют им. Сертификат-разрешение о соответствии конструкции упаковки и РМ данным НП-053-04 подтверждает их соответствие также Правилам МАГАТЭ издания 1996 г. Это не распространяется на сертификаты-разрешения на перевозку РМ, в том числе на специальных условиях.

4.2.2-C2. Применяя и интерпретируя коды типа, необходимо учитывать, что код основан на использовании различных символов, предназначенных для быстрого предоставления информации о типе рассматриваемой упаковки или перевозки. Символы предоставляют информацию о характеристиках конструкции упаковки (например, тип B(U), тип B(M) или тип C), либо о возможном присутствии делящихся материалов в упаковке, либо о других конкретных аспектах сертификата об утверждении (сертификата-разрешения) (например, для специальных условий, для перевозки, для содержимого в виде РМ особого вида, РМ с низкой способностью к рассеянию, или неделящегося либо делящегося освобожденного гексафторида урана). Конкретно появление в коде, например, B(U)F, не означает обязательного наличия делящихся материалов в данной упаковке, а лишь то, что они там могут присутствовать (п. 828.1 TS-G-1.1).

4.2.2-C3. Код регистрации транспортных средств различных стран представлен в цитируемой ниже таблице (см. табл. IV TS-G-1.1).

Таблица IV

Список кодов VRI по странам

Страна	Код VRI	Страна	Код VRI
Австралия	AUS	Лихтенштейн	FL
Австрия	A	Люксембург	L
Албания	AL	Маврикий	MS
Алжир	DZ	Мадагаскар	RM
Ангола	AO	Македония, Бывшая Югославская Республика	MK
Аргентина	RA	Малайзия	MAL
Армения	AM[2]	Мали	RMM
Афганистан	AFG	Мальта	M
Бангладеш	BD	Марокко	MA
Беларусь	BEL	Маршалловы острова	PC
Бельгия	B	Мексика	MEX
Бенин	DY	Монако	MC
Болгария	BG	Монголия	MN
Боливия	BOL	Мьянма	BUR
Босния и Герцеговина	BIH	Намибия	SWA
Бразилия	BR	Нигер	RN
Буркина-Фасо	BF	Нигерия	WAN
Ватикан	VA	Нидерланды	NL
Великобритания	GB	Никарагуа	NIC
Венгрия	H	Новая Зеландия	NZ
Венесуэла	YV	Норвегия	N
Вьетнам	VN	ОАЭ	SV
Габон	GA	Пакистан	PAK

Страна	Код VRI	Страна	Код VRI
Гаити	RH	Панама	PA
Гана	GH	Парагвай	PY
Гватемала	GCA	Перу	PE
Германия	D	Польша	PL
Греция	GR	Португалия	P
Грузия	GE[a]	Республика Корея	ROK
Дания	DK	Республика Молдова	MOL
Демократическая Кампучия[b]	KH[a]	Российская Федерация	RUS[c]
Демократическая Республика Конго	RCB	Румыния	R
Доминиканская Республика	DOM	Сальвадор	ES
Египет	ET	Саудовская Аравия	SA
Замбия	Z	Сенегал	SN
Зимбабве	ZW	Сингапур	SGP
Израиль	IL	Сирийская Арабская Республика	SYR
Индия	IND	Словакия	SK
Индонезия	RI	Словения	SLO
Иордания	HKJ	Судан	SUD
Ирак	IRQ	США	USA
Ирландия	IRL	Сьерра-Леоне	WAL
Исламская Республика Иран	IR	Таиланд	T
Исландия	IS	Танзания	EAT
Испания	E	Тунис	TN
Италия	I	Турция	TR
Йемен	YE	Уганда	EA
Казахстан	KK	Узбекистан	US
Камбоджа	K	Украина	UA
Камерун	CM	Уругвай	U
Канада	CDN	Федеративная Республика Югославия	YU
Катар	QA	Филиппины	RP
Кения	EAK	Финляндия	FIN
Кипр	CY	Франция	F
Китай	CN	Хорватия	HR
Колумбия	CO	Чешская Республика	CZ
Корейская Народная Демократическая Республика	KP	Чили	RCH
Коста-Рика	CR	Швейцария	CH
Кот-д'Ивуар	CI	Швеция	S
Куба	C	Шри-Ланка	CL

Страна	Код VRI	Страна	Код VRI
Кувейт	KWT	Эквадор	EC
Латвия	LV	Эстония	EW
Либерия	LB	Эфиопия	ETH
Ливан	RL	ЮАР	ZA
Ливийская Арабская Джамахирия	LAR	Ямайка	JA
Литва	LT	Япония	J

[a] При отсутствии кода VRI приведен код ISO.

[b] Камбоджа ранее была известна как Демократическая Кампучия.

[c] В английском издании Справочного материала ошибочно указан код для Российской Федерации "RU", который является кодом для Российской Федерации по ISO. Код "RU" использовался в опознавательных знаках компетентного органа Российской Федерации. Его можно найти в настоящее время в действующих сертификатах-разрешениях (Прим. редактора русского перевода).

4.2.3-С1. Важно, чтобы предпочтительно по опознавательному знаку было легко определять, на основе какого издания Правил было выдано первоначальное утверждение конструкции упаковки. Это может быть достигнуто добавлением символа "-96" в код типа.

Пример.

Издание Правил	Опознавательный знак конструкции упаковки
1967	A/132/B
1973	A/132/B(U) или A/132/B(M)
1985	A/132/B(U)-85 или A/132/B(M)-85
1996	A/132/B(U)-96 или A/132/B(M)-96 (п. 828.2 TS-G-1.1).

4.2.3-С2. Эта технология добавления символа может продолжать использоваться, если последующие издания Правил будут поддерживать существующие коды типов упаковок (п. 828.3 TS-G-1.1).

4.2.5-С1. Первоначальная выдача сертификата (сертификата-разрешения) может обозначаться как Rev.0 или без такого обозначения.

4.2.6-С1. При выпуске дополнения к сертификату-разрешению обязательно указывается обозначение основного сертификата-разрешения.

4.2.6-С2. Срок действия дополнения не может превышать срок действия основного сертификата-разрешения.

4.2.7-С1. Срок 5 лет – это максимальный срок для наиболее надежных, рассчитанных наиболее консервативными методами упаковок и наименее потенциально опасных перевозок. Для новых конструкций обычно должен устанавливаться меньший срок действия сертификатов-разрешений, который, по мере накопления опыта, может быть увеличен до 5 лет при пересмотре. Для РМ особого вида срок действия сертификатов-разрешений обычно сразу устанавливается на 5 лет.

4.3. Порядок использования ранее разработанных или изготовленных радиоактивных материалов особого вида и упаковочных комплектов

4.3-С1. Если технические требования НП-053-04 в отношении РМ, упаковок, испытаний упаковок и условий перевозок практически полностью совпадают с соответствующими положениями Правил МАГАТЭ издания 1996 г. и правилами международных транспортных организаций, то положения данного раздела НП-053-04 имеют некоторые отличия в отношении условий дальнейшего использования упаковок, сконструированных и (или) изготовленных ранее, и (или) планируемых для конструирования и изготовления в ближайшем будущем по требованиям ранее действовавших правил.

4.3-С2. С учетом того, что НП-053-04 будут пользоваться не только для внутренних перевозок в стране, но и для международных перевозок, в данном разделе представлены положения, взятые из Справочного материала МАГАТЭ (TS-G-1.1), и положения, поясняющие отличающиеся требования данного раздела НП-053-04 от Правил МАГАТЭ-96.

4.3-С3. Целесообразность представления в настоящем Руководстве отличающихся положений определяется тем, что основной подход к использованию старых РМ и упаковок в НП-053-04 и в правилах МАГАТЭ-96 совпадает. Этот подход заключается в том, что с выходом НП-053-04 радиоактивные материалы и упаковки, сконструированные и изготовленные по старым требованиям, могут продолжать использоваться определенное, достаточно продолжительное время, при выпол-

нении более или менее серьезных дополнительных условий. В любом случае в течение определенного времени все старые РМ и упаковки должны пройти соответствующие процедуры дополнительной оценки безопасности.

4.3.1-С1. Пункт 4.3.1 НП-053-04 (п. 818 Правил МАГАТЭ-96) устанавливает переходные положения для РМ особого вида, конструкция которого была предметом утверждения (сертификата-разрешения) ГКО. Важно подчеркнуть необходимость проведения мероприятий по программам обеспечения качества согласно НП-053-04 для обеспечения гарантий, что РМ особого вида будет оставаться в использовании, только если он продолжает отвечать начальной конструкции или регулирующим требованиям. Это может быть достигнуто наилучшим образом обеспечением того, что самые последние меры по обеспечению качества принимаются к деятельности после изготовления материала (обслуживание, обращение, модификация и использование такого РМ особого вида). Область переходных положений НП-053-04 распространяется только на требования для некоторых РМ особого вида. Во всех других аспектах, например, в отношении общих положений, требований и контроля по перевозке, включая пределы для груза и перевозочного средства, утверждения (сертификации) и административных требований, применяются положения Правил.

4.3.2-С1. Упаковки, не требующие утверждения конструкции компетентным органом, основанные на старых Правилах МАГАТЭ также могут продолжать оставаться в эксплуатации в России при условии принятия в отношении них программ обеспечения качества и соблюдения пределов активности согласно НП-053-04. Для международных перевозок применяются Правила МАГАТЭ-96. В этом случае для продолжения эксплуатации таких упаковок требовалась либо проверка их конструкции на соответствие требованиям Правил МАГАТЭ издания 1985 г., либо эти перевозки должны были проверяться и утверждаться компетентным органом на специальных условиях, хотя это не было в явном виде указано в Правилах МАГАТЭ (п. 815.1 TS-G-1.1).

4.3.2-С2. В отношении международных перевозок п. 4.3.2 был введен в НП-053-04 (п. 815 Правил МАГАЭ-96) для разрешения продолжать эксплуатацию таких существующих упаковочных комплектов в определенный ограниченный период времени после публикации, в течение которого их конструкция могла быть проверена и (при необходимости) модернизирована для обеспечения полного соответствия требованиям НП-053-04 (Правилам МАГАТЭ-96). В тех случаях, когда такие проверки и (или) модификации оказывались непрактичными, переходный период обеспечивал время для вывода из эксплуатации старых упаковок и введения в эксплуатацию новых, конструкция которых удовлетворяет требованиям Правил МАГАТЭ 1996 г. издания. Упаковки, подготовленные в соответствии с Правилами МАГАТЭ 1985 г. и издания, исправленного в 1990 г. в некоторых случаях находятся на хранении в течение многих лет перед дальнейшей перевозкой. Это, в частности, может касаться промышленных упаковок, содержащих радиоактивные отходы и ожидающих перевозки в промежуточное или конечное хранилище. Пункт 815 Правил МАГАТЭ-96 позволяет перевозить такие упаковки, подготовленные в течение определенного периода времени и содержавшиеся в надлежащих условиях, в последующее время на основе соответствия требованиям Правил МАГАТЭ издания 1985 г. (п. 815.2 TS-G-1.1).

4.3.2-С3. Пункт 815 Правил МАГАТЭ-96 придает особое значение требованию о применении мер обеспечения качества, соответствующих Правилам МАГАТЭ издания 1996 г. для обеспечения сохранения в эксплуатации только упаковок, продолжающих соответствовать первоначальному назначению конструкции или нормативным требованиям. Это может быть наилучшим образом достигнуто путем принятия современных мер обеспечения качества на этапах эксплуатации упаковок после их изготовления, таких как техническое обслуживание, текущий ремонт, модернизация и использование таких упаковок (п. 815.3 TS-G-1.1).

4.3.2-С4. Ссылка в п. 815 Правил МАГАТЭ-96 на раздел IV этих Правил включена для того, чтобы обеспечивать использование самых современных радиологических данных (отражаемых параметрами A_1 и A_2) для определения содержимого упаковки и других связанных пределов. Область действия мер переходного характера в Правилах МАГАТЭ распространяется только на требования к определенным упаковочным комплектам и упаковкам. Во всех других аспектах, например в отношении общих положений, требований и контроля перевозки, включая пределы для груза и транспортного средства, а также утверждения и административных требований, применяются положения Правил МАГАТЭ издания 1996 г. (п. 815.4 TS-G-1.1).

4.3.2-С5. Любые изменения первоначальной конструкции упаковки (увеличение активности содержимого, добавление РМ других типов,) могущие, как это определяется владельцем упаковки при консультации с ее конструктором, значительно и отрицательно повлиять на безопасность, требуют повторной оценки конструкции. Сюда входят такие параметры, как увеличение массы содержимого, изменения конструкции крышки, изменение ограничителей удара, изменение тепловой защиты и радиационной защиты, а также изменение формы содержимого (п. 815.5 TS-G-1.1).

4.3.2-С6. В отличие от Правил МАГАТЭ-96 в НП-053-04 не установлены крайние сроки использования упаковок, сконструированных до введения в действие НП-053-04. В общем случае полагается, что такие упаковки могут использоваться в России до окончания срока их службы. Для

международных перевозок такие упаковки должны проходить многостороннее утверждение согласно Правилам МАГАТЭ.

4.3.3-С1. После принятия Правил МАГАТЭ издания 1985 г. упаковки, требующие утверждения компетентного органа (упаковки типа В, типа В(U), типа В(М) и конструкции упаковок для делящихся материалов) и разработанные на основе Правил МАГАТЭ издания 1967 г., 1973 г. и издания 1973 г. (исправленного), были разрешены к продолжению использования при условии введения определенных ограничений на изготовление новых упаковок, дополнительных требований к маркировке таких упаковок серийными номерами и многостороннего утверждения всех таких конструкций. Это положение, известное как "грандфазеринг" ("переходный период"), вновь введено в издание Правил МАГАТЭ 1985 г. для облегчения перехода к этим Правилам. Это позволило продолжать использование упаковок до окончания конструктивного срока их эксплуатации при условии правильного содержания и использования в целях конструкции, а также обеспечило период времени после публикации, в течение которого конструкция упаковок должна быть проверена и (при необходимости) модернизирована для обеспечения полного соответствия требованиям Правил МАГАТЭ 1985 г. издания. В тех случаях, когда такая проверка и (или) модификация оказывалась невозможной, переходный период обеспечивал время для вывода из эксплуатации старых упаковок и введения в эксплуатацию новых, конструкция которых удовлетворяла требованиям Правил МАГАТЭ 1985 г. издания (п. 816.1 TS-G-1.1). Аналогичный подход принят и в НП-053-04.

4.3.3-С2. Ссылки на п. 1.2.6 и разделы 2 и 5 (аналогично в п. 816 Правил МАГАТЭ-96 ссылка на раздел IV и п. 680 Правил МАГАТЭ издания 1996 г.) включены, чтобы для определения содержимого упаковки и других связанных ограничений использовались самые последние радиологические данные (отражаемые параметрами A_1 и A_2) и требования к делящимся материалам, перевозимым по воздуху. Область действия положений переходного периода в Правилах распространяется только на требования к определенным упаковочным комплектам и упаковкам. Во всех других аспектах, например в отношении общих положений, требований и указаний по перевозкам, включая пределы для груза и транспортного средства, а также утверждения и административных требований, применяются положения НП-053-04 (или Правил МАГАТЭ-96) (п. 816.2 TS-G-1.1).

4.3.3-С3. В ходе разработки Правил МАГАТЭ-96 было определено, что нет необходимости в немедленном переходе на эти Правила после их принятия, но оправданы изменения, направленные на повышение безопасности перевозок в долговременном плане. Поэтому было решено допускать продолжение эксплуатации определенных упаковок, сконструированных и утвержденных в соответствии с ранее действовавшими правилами (например, Правила МАГАТЭ издания 1973 г.). Продолжение эксплуатации существующих упаковочных комплектов с утвержденной конструкцией на основе Правил издания 1967 г., необходимым и оправданным в Правилах МАГАТЭ-96 признано не было (п. 816.3 TS-G-1.1). В НП-053-04 таких ограничений нет, но это чисто формальное положение, поскольку самые ранние российские правила (ПБТРВ-73) были выпущены как соответствующие Правилам МАГАТЭ-73. Поэтому в этом отношении также имеется соответствие Правилам МАГАТЭ-96.

4.3.3-С4. Условием продолжения использования упаковок, утвержденных на основе требований ПБТРВ-73 (Правил МАГАТЭ издания 1973 г. и издания 1973 г. (исправленного), начиная с момента ввода в действие НП-053-04 (Правил МАГАТЭ-96), для международных перевозок служит многостороннее утверждение с тем, чтобы давать возможность компетентному органу устанавливать рамки, в пределах которых продолжение использования может быть утверждено. При этом не разрешается начинать изготовление новых упаковочных комплектов такой конструкции. Длительность этого переходного периода была определена на основе оценки времени, необходимого для внедрения Правил МАГАТЭ издания 1996 г. в национальные и международные правила (п. 816.4 TS-G-1.1).

4.3.3-С5. Маркировка с серийным номером требуется потому, что действия по обеспечению качества при эксплуатации и обслуживании ориентированы на каждый конкретный упаковочный комплект и соответствующую необходимость выполнять и проверять эти действия для каждого конкретного упаковочного комплекта. Серийный номер также необходим для деятельности компетентного органа по обеспечению соблюдения Правил и для применения пп. 4.3.2-4.3.3 НП-053-04 (пп. 815-817 Правил МАГАТЭ-96) (п. 538.2 TS-G-1.1).

4.3.3-С6. В соответствии с Правилами любые изменения первоначальной конструкции упаковки (увеличение активности содержимого или добавление РМ других типов), которые, по мнению компетентного органа, могли бы приводить к значительному и отрицательному влиянию на безопасность, требуют повторной оценки конструкции. Сюда входят такие параметры, как увеличение массы содержимого, изменение запорных устройств, изменение ограничителей удара, изменение тепловой защиты и защиты от излучения, а также изменение вида содержимого (п. 816.6 TS-G-1.1).

4.3.3-С7. При применении этого пункта (см. также п. 816 Правил МАГАТЭ-96) первоначальный опознавательный знак и код типа конструкции, присвоенный компетентным органом страны происхождения конструкции, должны оставаться как на упаковках, так и в сертификатах (сертификатах-разрешениях) об утверждении конструкции, несмотря на то, что эти упаковки становятся объ-

ектом многостороннего утверждения конструкции. Это значит, что упаковки, первоначально маркированные как тип B(U) или тип B(U)F, согласно ПБТРВ-73 или ОПБЗ-83 (или Правилам МАГАТЭ издания 1973 г.), не должны перемаркировываться ни на тип B(M) или тип B(M)F, ни на тип B(M)-96 или тип B(M)F-96 при применении к ним положений п. 816 Правил МАГАТЭ-96. Такая мера принята для того, чтобы подобные упаковки были ясно идентифицированы как относящиеся к условиям "грандфазеринга" ("переходного периода") (п. 816.7 TS-G-1.1).

4.3.3-C8. В ходе разработки Правил МАГАТЭ 1996 г. издания было определено, что нет необходимости в немедленном переходе на эти Правила после их принятия, но оправданы изменения, направленные на повышение безопасности перевозок в долговременном плане. Поэтому было также решено допускать продолжение эксплуатации определенных упаковок, сконструированных и утвержденных в соответствии с Правилами МАГАТЭ издания 1985 г. (п. 817.2 TS-G-1.1). Аналогичный подход, но без указания конкретных старых правил, принят в НП-053-04.

4.3.3-C9. При применении пунктов по использованию старых упаковок первоначальный опознавательный знак и код типа конструкции, первоначально присвоенные компетентным органом страны происхождения конструкции, согласно Правилам МАГАТЭ-96, должны оставаться как на упаковках, так и в сертификатах (сертификатах-разрешениях) об утверждении конструкции, несмотря на то, что эти упаковки после 31 декабря 2003 г. становятся объектом многостороннего утверждения. Это значит, что упаковки, первоначально маркированные как тип B(U)-85 или тип B(U)F-85 согласно Правилам МАГАТЭ издания 1985 г., не должны перемаркировываться ни на тип B(M)-85 или тип B(M)F-85, ни на тип B(M)-96 или тип B(M)F-96 при их использовании согласно положениям п. 817 Правил МАГАТЭ-96. Такая мера принята для того, чтобы подобные упаковки были отчетливо идентифицированы как являющиеся объектом "грандфазеринга" ("переходного периода") по положениям п. 817, будучи первоначально утвержденными по Правилам издания 1985 г. (п. 817.4 TS-G-1.1).

5. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРЕВОЗКЕ И ТРАНЗИТНОМУ ХРАНЕНИЮ

5.1. Общие положения

5.1.1-C1. Статья 45 Федерального закона "Об использовании атомной энергии" определяет, что перевозчик ядерных материалов и радиоактивных веществ должен иметь разрешение (лицензию), выданное соответствующим органом государственного регулирования безопасности, на право ведения работ в области использования атомной энергии (выдает Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору).

Порядок получения лицензий перевозчиками для осуществления перевозок РМ определяется документами, утвержденными соответствующими постановлениями Правительства Российской Федерации.

5.1.2-C1. В международном сообщении перевозка РМ регулируется соответствующими разделами сводов правил перевозок опасных грузов на каждом из видов транспорта, в частности:

морской транспорт – Международный кодекс морской перевозки опасных грузов МК МПОГ (IMDG-Code), издаваемый на основании предписаний Конвенции о спасении человеческой жизни на море (Конвенции СОЛАС) Международной морской организацией;

воздушный транспорт – Технические инструкции о безопасной перевозке опасных грузов по воздуху, издаваемые Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) (далее – Технические инструкции ИКАО);

автомобильный транспорт – Европейское соглашение о дорожной перевозке опасных грузов в международном сообщении (ADR), к которому приложены правила перевозок опасных грузов (ДОПОГ) (далее – Правила ДОПОГ). Документ принят и обновляется под эгидой Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН;

железнодорожный транспорт – Правила перевозок опасных грузов – приложение 2 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении. Разрабатываются под эгидой Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД);

внутренний водный транспорт – Европейское соглашение о перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ANDR) (далее – Европейское соглашение ANDR). Документ принят и обновляется под эгидой Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН.

5.1.2-C2. В России указанные в п.5.1.2-C1 настоящего Руководства правила и другие документы действуют в следующем виде:

- для морского транспорта – Положения МК МПОГ практически полностью включаются в Правила морской перевозки, издаваемые Министерством транспорта России, и распространяются на внутренние и международные перевозки российских судов;
- для воздушного транспорта – Технические инструкции ИКАО распространяются как на внутренние, так и на международные перевозки;

- для автомобильного транспорта – для внутренних перевозок действуют свои национальные правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, а для международных перевозок по территории России – Правила ДОПОГ;
- для перевозок по внутренним водам (рекам и озерам) действует Европейское соглашение ANDR.

5.1.3-С1. Кроме ограничений, указанных в данном пункте, НП-053-04 не устанавливают ограничений по перевозке любого РМ любым видом транспорта при условии выполнения соответствующих требований НП-053-04.

5.1.4-С1. Общее положение по выбору транспортных средств (пассажирских, грузовых, специальных) определяется, кроме факторов производственного и экономического характера, степенью потенциальной опасности груза, которая выражается в величинах уровня излучения, ТИ упаковок и группы упаковок, а также их радиоактивного загрязнения.

5.1.4-С2. При предоставлении под перевозку РМ транспортных средств общего пользования необходима строгая регламентация операций радиационного контроля и дезактивации (при необходимости) транспортных средств после завершения перевозки с документированием результатов с целью абсолютного исключения возврата в общую эксплуатацию загрязненных транспортных средств.

Соответствующие положения должны быть отражены в программе радиационной защиты (см. термин 19 НП-053-04).

5.1.5-С1. Необходимость сопровождения груза РМ может быть установлена при выдаче соответствующих сертификатов-разрешений на перевозки.

5.1.5-С2. Требование сопровождения отправок РМ, перевозимых в специальных условиях, объективно оправдано тем, что необходимо считаться с возможными повышенными рисками по сравнению с перевозками на общих основаниях.

5.1.5-С3. В п. 5.1.5 НП-053-04 речь идет о специальном сопровождающем(их), выделяемом для обеспечения безопасности перевозки, а не в других целях (сдачи-приемки груза, обеспечения физической защиты и др.). Соответственно данное требование к персоналу не распространяется на персонал, выделяемый в других целях.

5.1.6-С1. Пункт содержит далеко не полный перечень мер, которые должны быть приняты при подготовке специалистов, сопровождающих грузы, и самими специалистами в пути следования. Грузоотправитель, выделяющий специалистов, должен разработать подробную служебную инструкцию для них, предусматривающую, кроме прочего:

- снабжение специалистов средствами индивидуальной защиты с учетом потребности в них личного состава подразделения охраны и персонала перевозчика;
- оснащение специалистов средствами устранения неисправностей специального оборудования транспортного средства, средствами тушения пожара, дезактивации и дегазации (по мере необходимости);
- предоставление специалистам средств мобильной связи;
- обучение специалистов мерам личной безопасности при нахождении на путях сообщения (в зависимости от особенностей вида транспорта).

5.1.8-С1. Цель этого требования состоит в том, чтобы предотвращать радиоактивное загрязнение других грузов. Требование данного пункта Правил не распространяется на транспортные пакеты, грузовые контейнеры, резервуары и контейнеры средней грузоподъемности для массовых грузов, если они не имеют радиоактивного загрязнения. См. справки 5.3.12-С1 – С4 и 5.3.13-С1 настоящего Руководства (п. 504.1 TS-G-1.1).

5.1.9-С1. Правила в целом не запрещают совместную на одном транспортном средстве перевозку упаковок с РМ и других грузов, в том числе опасных грузов. Ограничения накладываются не этими правилами, а правилами перевозок опасных грузов, действующих на различных видах транспорта.

5.1.9-С2. Требование настоящего пункта имеет значение для морского и речного транспорта. На железнодорожном транспорте совместная перевозка в одном вагоне радиационных грузов с другими опасными грузами запрещена (правилами перевозок опасных грузов по железным дорогам).

5.1.9-С3. См. также справки 1.2.8-С1-С12 настоящего Руководства.

5.1.9-С4. *Опасные грузы могут реагировать друг с другом, если есть возможность контакта.* Это может произойти, например, в результате утечки коррозионного вещества или аварии, вызвавшей взрыв. Чтобы сводить к минимуму возможность нарушения целостности системы герметизации упаковок с РМ вследствие их взаимодействия с другими опасными грузами, во время перевозки и хранения они должны отделяться от других опасных грузов. Степень требуемого разделения обычно устанавливается каждым государством или признанными транспортными организация-

ми, (Международной морской организацией (IMO), Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и др.) (п. 506.1 TS-G-1.1).

5.1.9-C5. Информация о конкретных требованиях к хранению, складированию и разделению содержится в регулирующих документах по перевозкам международных транспортных организаций и в положениях, сформулированных в нормативных документах отдельных государств. Поскольку эти требования и положения часто корректируются, следует обращаться к текущим изданиям, чтобы придерживаться самых последних требований (п. 506.2 TS-G-1.1).

5.1.9-C6. Грузоотправителю не запрещается, включать в партию груза на условиях исключительного использования другие грузы, предназначенные для того же грузополучателя при определенных условиях. Грузоотправитель несет первичную ответственность за обеспечение соблюдения Правил (п. 505.1 TS-G-1.1).

5.1.12-C1. Данный пункт Правил относится только к работам со специальными транспортными средствами и при перевозках на условиях исключительного использования или в специальных условиях, когда обычно имеется повышенная потенциальная опасность. При перевозках в "обычных" условиях загрузки-разгрузки осуществляются согласно правилам перевозок опасных грузов.

5.1.13-C1. Крепление упаковок внутри или на транспортном средстве необходимо по нескольким причинам. Из-за движения транспортного средства маленькие упаковки, если они не удерживаются в период транспортирования, могут быть сброшены или свалены и вследствие этого повреждены. Упаковки могут также упасть с транспортного средства в результате чего потеряны или повреждены. Тяжелые упаковки, если они не закреплены, могут перемещаться внутри или на транспортном средстве, вследствие этого транспортное средство может стать неустойчивым, и тем самым, вызвать аварию. Упаковки следует раскреплять для предотвращения их перемещения и гарантии, что мощность дозы излучения, направленного от транспортного средства на водителя или на экипаж, не увеличивается (п. 564.1 TS-G-1.1).

5.1.13-C2. В контексте Правил термин "размещение" ("укладка") означает расположение в пределах или на транспортном средстве упаковки, содержащей РМ, относительно другого груза (как радиоактивного, так и нерадиоактивного), а "крепление" означает использование (по необходимости) подстилки, башмаков, блоков или швартовочных тросов для закрепления упаковки и ограничения ее перемещения внутри или на транспортном средстве в "обычных" условиях перевозки. Если грузовой контейнер используется для облегчения транспортирования упакованного РМ или в качестве транспортного пакета, то следует предусматривать специальные меры по креплению упаковок внутри грузового контейнера. Чтобы предотвращать повреждение упаковок внутри грузового контейнера при его обслуживании или перемещении, следует предусматривать некие меры крепления, например веревки, накидные сети или разделение на отсеки (п. 564.2 TS-G-1.1).

5.1.13-C3. Другие рекомендации по креплению упаковок на транспортных средствах представлены в приложении II к настоящему Руководству.

5.1.14-C1. Некоторые упаковки типа B(U), типа B(M) и типа C с РМ могут выделять тепло. Это результат поглощения энергии излучения элементами упаковки в виде тепла, которое передается к поверхности упаковки и затем в окружающий воздух. В таких случаях обеспечение способности упаковки к рассеянию тепла предусматривается при конструировании упаковки, что обеспечивает безопасные и нормальные условия. Например, Co-60 производит приблизительно 15 Вт на 40 ТБк. Поскольку большая часть тепла поглощается в защите упаковки, общая тепловая нагрузка может быть порядка тысяч ватт. Проблема может возникать, если в одной партии груза есть несколько аналогичных упаковок. Следует также уделять внимание материалам, находящимся рядом с упаковками, чтобы убедиться, что в любом отсеке, содержащем упаковки, циркуляция воздуха не ограничена настолько, чтобы вызывать существенное повышение температуры окружающего воздуха в непосредственной близости от упаковок. Перевозчикам следует быть очень аккуратными, чтобы не снижать способность упаковок к рассеянию энергии вследствие покрытия упаковок или их штабелирования или тесного их размещения с другими грузами, что может играть роль тепловой изоляции. Если упаковки с РМ выделяют значительное количество тепла, то от грузоотправителя требуется обеспечивать перевозчика инструкцией относительно складирования упаковок (п. 565.1 TS-G-1.1).

5.1.14-C2. Исследования показали, что если интенсивность выделения тепла в упаковке мала (соответствует потоку тепла через поверхность не более 15 Вт/м^2), то это тепло может быть рассеяно только за счет теплопроводности и температура не превысит 50 °C, даже если упаковка полностью окружена свободным насыпным грузом. Воздушные промежутки между упаковками обеспечивают достаточное рассеяние за счет конвекции воздуха (п. 565.2 TS-G-1.1).

5.1.15-C1. Часто грузоотправитель является заявителем на выдачу сертификата-разрешения и, естественно, имеет сертификат. Однако в других случаях заявитель и грузоотправитель – это разные лица, и тогда заявитель обязан предоставлять сертификат (копию) грузоотправителю, в том числе для выполнения требования данного пункта Правил.

5.1.15-С2. Грузоотправитель не обязан ждать подтверждения от ГКО о получении уведомлений.

5.1.18-С1. В настоящее время, кроме общих указаний о содержании программ радиационной защиты в НП-053-04 и в Правилах МАГАТЭ-96, специальных нормативных документов по этому вопросу не имеется. Однако МАГАТЭ разработало проект такого нормативного документа TS-G-1.5 и в ближайшее время он должен быть опубликован. Ниже приведены некоторые основные положения ПРЗ согласно руководству МАГАТЭ TS-G-1.1.

5.1.18-С2. *Программа радиационной защиты при перевозке* РМ имеет следующие цели:

- уделить надлежащее внимание мерам радиационной защиты при перевозке;
- гарантировать надлежащее применение системы радиационной защиты;
- повысить культуру безопасности при перевозке радиоактивных материалов;
- обеспечить практические меры для достижения этих целей.

В состав ПРЗ в требуемой степени следует включать следующие элементы (см. соответствующие пункты TS-G-1 и Правил МАГАТЭ-96):

(a) область действия программы (см. пп. 301.2 (или справку 5.1.18-С3 настоящего Руководства) – 301.4 TS-G-1.1);
(b) роли и ответственность за выполнение программы (см. п. 301.5 TS-G-1.1 (п. 5.1.18-С4 настоящего Руководства));
(c) оценка доз (см. п. 305 Правил МАГАТЭ-96);
(d) оценка загрязнения поверхности (см. пп. 508, 513 и 514 Правил МАГАТЭ-96);
(e) дозовые пределы, ограничения и вопросы оптимизации (см. п. 302 Правил МАГАТЭ-96);
(f) разделяющие расстояния (см. пп. 306–307 Правил МАГАТЭ-96);
(g) аварийное реагирование (см. пп. 308–309 Правил МАГАТЭ-96 (п. 1.2.5 НП-053-04));
(h) обучение (см. п. 303 Правил МАГАТЭ-96);
(i) обеспечение качества (см. п. 310 Правил МАГАТЭ-96 (п. 1.2.6 НП-053-04)) (п. 301.1 TS-G-1.1).

5.1.18-С3. В область действия ПРЗ следует включать все аспекты перевозки, как они определены в п. 1.1.1 НП-053-04 (п. 106 Правил [11]). Однако признано, что в некоторых случаях отдельные аспекты ПРЗ могут охватываться программой на производственных площадках при отправлении и получении груза, а также в местах транзитного хранения. Поскольку масштаб и широта охвата мер, которые должны войти в ПРЗ, будет зависеть от величины и вероятности облучения, следует применять ступенчатый подход (п. 301.2 TS-G-1.1).

5.1.18-С4. Лучше всего разрабатывать ПРЗ совместными усилиями грузоотправителей, перевозчиков и грузополучателей, привлеченных к перевозке РМ. Грузоотправителям и грузополучателям обычно следует иметь соответствующие ПРЗ как часть установленных операций с оборудованием. Роль и ответственность различных групп и лиц, участвующих в выполнении ПРЗ, следует четко определять и описывать. Следует избегать взаимного наложения различных областей ответственности. В зависимости от величины и вероятности облучения общая ответственность за разработку и выполнение ПРЗ может быть возложена на санитарного врача или начальника службы радиационной безопасности, признанного путем сертификации соответствующими советами или обществами или иным путем (например, соответствующим компетентным органом) как "квалифицированный эксперт" ("эксперт", согласно русскому переводу BSS) (п. 301.5 TS-G-1.1).

5.2. Проверка груза перед перевозкой

5.2-С1. Испытания и проверки, проводимые перед отправкой упаковок с РМ, должны входить в общую эксплуатационную документацию и программу обеспечения качества упаковочных комплектов при эксплуатации. Положения, приведенные в пунктах 5.2.1 и 5.2.2 НП-053-04, указывают, что обязательно должно быть включено в такие документы.

5.2-С2. Перед первой отправкой необходимо получать полную информацию о защитных свойствах упаковки, т.е. наиболее детально проводить замеры уровней излучения не только через основную радиационную защиту корпуса и крышки упаковки, но и через все проходки и другие места ослабления защиты.

5.2.1-С1. Для обеспечения безопасной перевозки РМ, в НП-053-04 установлены общие требования к обеспечению качества, а в Правилах МАГАТЭ, кроме этого, – к обеспечению соблюдения самих Правил (п. 311 Правил МАГАТЭ-96). Были также определены специальные требования к инспекциям для гарантии соответствия тех параметров упаковки, от которых в максимальной степени зависит целостность упаковки, радиационная безопасность и безопасность по ядерной критичности. Эти требования охватывают инспекции как перед первой, так и перед каждой перевозкой. Требования, изложенные в п. 5.2.1 НП-053-04 (п. 501 Правил МАГАТЭ-96) и относящиеся к защите, системе герметизации, передаче тепла и безопасности по критичности (эффективность системы локализации и характеристикам поглотителей нейтронов) конкретных упаковочных комплектов, бы-

ли определены как требования, касающиеся тех важных характеристик конструкции (изготовления), имеющих отношение к безопасности, которые необходимо проверять после изготовления и перед использованием (п. 501.1 TS-G-1.1).

5.2.1-С2. Для определения, как полно выполняются требования п. 5.2.1 НП-053-04 для каждого изготовленного упаковочного комплекта, следует подготавливать документы на этапе проектирования упаковок. Каждый необходимый документ должен быть согласован (т. е. подписан) лицами, ответственными за каждый этап изготовления. Следует регистрировать конкретные параметры, даже когда они находятся в пределах допуска. Готовые документы должны быть сохранены в архиве в соответствии с требованиями обеспечения качества (п. 501.2 TS-G-1.1).

5.2.1-С3. В случае системы герметизации с проектным давлением, превышающим 35 кПа, в соответствии с требованиями п. 5.2.1.а) НП-053-04, следует подтверждать, что система герметизации в изготовленном состоянии обеспечивает достаточное функционирование. Это может быть выполнено, например, посредством испытания. Для упаковочных комплектов с клапанами для заполнения (сброса) давления эти отверстия могут быть использованы для создания в системе герметизации проектного давления. Если система герметизации не имеет таких проходок, то сосуд и его крышка могут потребовать отдельных испытаний с использованием специальных приспособлений. В процессе этих испытаний следует проверять целостность уплотнений, применяя процедуры, установленные для нормального использования упаковки (п. 501.3 TS-G-1.1).

5.2.1-С4. Чтобы оценивать эффективность защиты при проведении испытаний и инспекций упаковочных комплектов после изготовления, в соответствии п. 5.2.1б) НП-053-04, компоненты защиты могут быть проверены путем испытания излучением узла в сборе. Источник излучения для этого испытания не обязательно должен быть материалом, предназначенным для перевозки, но следует позаботиться, чтобы защитные свойства были правильно оценены в соответствии с энергией, энергетическим спектром и типом излучения. Особое внимание следует уделять гомогенности материалов упаковочного комплекта и возможности локального увеличения уровней излучения в местах соединений. Методы испытания целостности радиационной защиты упаковок см. в [53,54] и в пп. 656.13–656.18 TS-G-1.1 (см. справки 2.9.2-С3 – 2.9.2-С8 настоящего Руководства соответственно) (п. 501.4 TS-G-1.1).

5.2.1-С5. Следует оценивать целостность системы герметизации, используя подходящие испытания на соответствие скорости утечки требованиям п. 5.2.1.б) НП-053-04; см. пп. 656.1–656.12 и 656.21–656.24 TS-G-1.1 (справки 2.9.5-С1 – 2.9.5-С12, 2.9.5-С15 – 2.9.5-С18 настоящего Руководства соответственно) (п. 501.5 TS-G-1.1).

5.2.1-С6. В объем проверки теплопередающих характеристик упаковочного комплекта на соответствие п. 5.2.1.б) НП-053-04 следует включать проверку размеров и уделять особое внимание вентиляционным отверстиям, излучательной и поглощающей способности поверхностей, и непрерывности теплопроводящих путей. Проверочные испытания, которые в общем случае могут потребоваться только для прототипа упаковки, следует проводить с использованием электрических нагревателей вместо радиоактивного источника (п. 501.6 TS-G-1.1).

5.2.1-С7. Хотя система локализации включает в себя содержимое упаковки, только компоненты упаковочного комплекта, являющиеся элементами системы локализации, после изготовления и перед первой перевозкой необходимо подвергать проверке и (или) испытанию на соответствие требованиям п. 5.2.1.б) НП-053-04. Любую проверку и (или) испытание делящегося материала следует выполнять перед каждой перевозкой (см. 2-й абзац данной справки или справку 2.12.3-С2 настоящего Руководства по обстоятельствам).

Следует проводить проверки размеров и материалов необходимых элементов контейнера и сварных швов для гарантии, что компоненты системы локализации изготовлены и расположены в соответствии с проектом. Испытания наиболее часто будут касаться гарантирования наличия и распределения поглотителей, как это обсуждается в справке 2.12.3-С2 настоящего Руководства или в п. 501.8 TS-G-1.1 (п. 501.7 TS-G-1.1).

5.2.1-С8. См. справку 2.12.3-С2 настоящего Руководства.

5.2.1-С9. Дополнительную информацию см. в [50, 51] (п. 501.9 TS-G-1.1).

5.2.2-С1. Для проверки работоспособности системы герметизации упаковки может потребоваться проведение испытания под давлением. Более надежным следует считать испытание под давлением, соответствующим давлению, в упаковке в аварийных условиях.

5.2.2-С2. Необходимо, чтобы дополнительно к требованиям, налагаемым НП-053-04 к определенным упаковкам перед их первой перевозкой (п. 5.2.1), удовлетворялись другие требования Правил (п. 5.2.2) перед каждой перевозкой любой упаковки для повышения уровня соблюдения Правил и обеспечения безопасность. Эти требования включают проверку, гарантирующую, что в процессе перевозки используются только соответствующие приспособления для подъема, и подтверждение того, что требования сертификатов (сертификатов-разрешений) об утверждении выполнены и продемонстрирована стабильность температурного режима и давления. Во всех случаях эти требования считаются необходимыми для снижения вероятности перевозки ненадежной упаковки в населенном регионе и направлены на предотвращение ошибки человека (п. 502.1 TS-G-1.1).

5.2.2-С3. Для упаковки со значительным тепловыделением содержимого характеристики теплопередачи оказывают большое влияние на тепловой режим упаковки и соответствие ее требованиям по герметичности и защите. Неточности изготовления и другие факторы могут ухудшать теплоотвод. С учетом этого требуется проверка согласно данному пункту.

5.2.2-С4. Особое внимание к обеспечению выхода упаковок на установившийся режим по температуре и давлению следует уделять упаковкам, в которых в качестве РМ или теплоносителя содержатся жидкости. При этом следует учитывать возможность повышения давления в упаковках не только за счет роста температуры, но и вследствие радиолиза.

5.3. Пределы значений транспортного индекса, индекса безопасности по критичности, уровня излучений и радиоактивного загрязнения

5.3.1-С1. Транспортный индекс характеризует степень опасности с точки зрения облучения при проведении работ с радиационным грузом. Поскольку для крупногабаритных грузов ослабление излучения с увеличением расстояния от груза происходит в меньшей степени, чем для небольших упаковок, вводится коэффициент пересчета для ТИ крупногабаритных грузов согласно табл. 5.1 НП-053-04.

5.3.1-С2. Предельно допустимые значения уровня излучения на поверхности упаковки, транспортных средств и на расстоянии 1 м от упаковки (ТИ) были выведены при разработке Правил МАГАТЭ на основе рассмотрения предполагаемой технологии обращения с упаковками, времени пребывания транспортных рабочих вблизи упаковок и допустимых величин облучения непроявленных фотоматериалов. В отношении ТИ упаковки или пакета допустимое значение выведено, исходя из среднего времени транзитного хранения 24 ч и условного расстояния 4,5 м между партиями грузов, содержащими радий. Пересчет мощности дозы 0,1 мЗв/час (10 мбэр/ч) на расстоянии 1 м для расстояния 4,5 м дает величину облучения 0,115 мЗв (11,5 мбэр) за 24 ч. Эта величина меньше допустимого облучения фотоматериалов до величины, равной 0,15 мЗв (15 мбэр).

5.3.2-С1. С учетом дополнительного контроля при перевозках на условиях исключительного использования, ТИ упаковки может быть более 10, и суммарный транспортный индекс можно не ограничивать. При этом следует учитывать, что на практике ограничение будет иметь место с точки зрения уровня излучения на поверхности и на расстоянии 2 м от транспортного средства.

5.3.3-С1. Предельное значение мощности дозы излучения 2 мЗв/ч (200 мбэр/ч) на поверхности упаковки принято из предположения, что транспортный рабочий осуществляет переноску таких упаковок в течение 30 мин в день. При этом уровень облучения не превысит 1 мЗв (100 мбэр). Такой подход можно считать как недостаточным, так и консервативным. Например, о недостаточности могут говорить случаи, если данный транспортный рабочий занят работами с упаковками, содержащими РМ, постоянно, о консервативности – предположение полного контакта с поверхностью упаковки и предположение, что обслуживаемые упаковки на всей поверхности имеют уровень излучения 2 мЗв/ч (200 мбэр/ч).

С учетом этого НП-053-04 требуют периодических всесторонних оценок уровней облучения лиц, связанных с перевозкой РМ.

5.3.3-С2. Определение уровней излучения на поверхности упаковки путем прямого измерения требует учета размеров упаковки и расстояния от центра детектора используемого для измерений прибора до поверхности упаковки. В табл. (см. справку 38-С6 настоящего Руководства) приведены соответствующие поправочные коэффициенты. Там же указано, что для упаковок размером более 1 м и расстояния от центра детектора до поверхности упаковки 10 см поправок не требуется.

5.3.4-С1. Увеличение допустимого уровня излучения на поверхности упаковки до 10 мЗв/ч (1000 мбэр/ч) при перевозке на условиях исключительного использования обусловлено проведением дополнительных организационно-технических мероприятий при этих перевозках, ограничивающих доступ транспортных рабочих к таким упаковкам.

5.3.4-С2. Во многих случаях, особенно для крупных упаковок, более ограничивающим фактором, чем уровень излучения на поверхности упаковки, является допустимый уровень излучения на поверхности транспортного средства и на расстоянии 2 м от него. В то же время положение данного пункта позволяет часто перевозить крупные упаковки при наличии местных "прострелов" до 10 мЗв/ч (1000 мбэр/ч).

5.3.5-С1. Этот пункт устанавливает процедуру определения ИБК упаковки. Величина N, использованная для определения ИБК, должна быть такой, чтобы партия упаковок, основанная на этой величине, была подкритичной в условиях, определенных как в п. 681 Правил МАГАТЭ-96, так и в п. 682. Было бы неправильным предполагать, что одно из условий будет выполнено, если только другое подвергать подробному анализу. Результаты любого из указанных испытаний могут вызывать изменение в упаковочном комплекте или содержимом, которые могли бы повлиять на замедление в системе и(или) на нейтронное взаимодействие между упаковками вызывая, таким образом, явное изменение коэффициента размножения нейтронов. Поэтому нельзя предполагать, что огра-

ничивающая величина N относится только к нормальным условиям или только к аварийным условиям до выполнения оценок применительно к обоим вариантам условий (п. 528.1 TS-G-1.1).

5.3.5-C2. Для определения величины N для партий упаковок при нормальных условиях перевозки (см. п. 2.12.12.1 НП-053-04 или п. 681 Правил МАГАТЭ-96) и при аварийных условиях перевозки (см. п. 2.12.12.2 НП-053-04 или пункт 682 Правил МАГАТЭ-96) могут быть использованы пробные величины для N. Любую партию из $5N$ упаковок, каждая из которых (партий) находится в условиях, определенных в пункте 2.12.12.1.б) НП-053-04, следует проверять, является ли она подкритичной, и каждую партию из $2N$ упаковок, каждая из которых находится в условиях, определенных в п. 2.6.7.б) НП-053-04 (п. 628.b) Правил МАГАТЭ-96), также следует проверять, чтобы увидеть, является ли она подкритичной. Если оба условия выполняются, число N может быть использовано для определения ИБК упаковки. Если оценка указывает, что выбранная величина N не дает подкритического значения для партии при всех необходимых условиях, тогда значение N следует уменьшить и повторить оценки по пп. 2.12.12.1 и 2.12.12.2 НП-053-04 для обеспечения подкритичности. В другом, более тщательном методе, чтобы определить величину ИБК, необходимо определять две величины N, которые отдельно удовлетворяют требованиям пп. 2.12.12.1 и 2.12.12.2 НП-053-04, затем использовать меньшую из этих двух величин. Последний метод характеризуется, как "более тщательный", поскольку обеспечивает ограничивающую оценку при каждом варианте условий для партии – нормальные и аварийные условия (п. 528.2 TS-G-1.1).

5.3.6-C1. ИБК для упаковки, транспортного пакета или грузового контейнера следует округлять в большую сторону до первого десятичного знака. Например, если величина N равна 11, тогда $50/N$ = 4,5454, и это число следует округлять в большую сторону, чтобы получить ИБК = 4,6. Не следует округлять ИБК в меньшую сторону. Чтобы избежать недостатков этой процедуры округления, последствием которой является перевозка меньшего количества упаковок (в данном примере их количество должно быть 10), можно брать точное значение ИБК (п. 528.3 TS-G-1.1).

5.3.6-C2. Всем упаковкам, содержащим делящийся материал, кроме освобожденных, согласно п. 2.12.2 НП-053-04 (п. 672 Правил МАГАТЭ-96), предписан соответствующий ИБК, и значение ИБК следует отражать на этикетке, как показано на рис. 5 приложения 3 НП-053-04. Грузоотправитель должен быть внимателен, подтверждая, что ИБК для каждого груза идентичен сумме значений ИБК, указанных на этикетках упаковок (п. 529.1 TS-G-1.1).

5.3.6-C3. Чтобы соответствовать общим требованиям контроля ядерной критичности и защиты от излучения, установлены пределы для максимума ТИ, максимума ИБК и максимального уровня излучения на внешней поверхности для упаковок и транспортных пакетов. В случае перевозки в условиях исключительного пользования эти пределы могут быть превышены благодаря дополнительным элементам эксплуатационного контроля (см. также п. 221.1-221.6 TS-G-1.1 или справки 5.3.6-C4 – 5.3.6-C9 настоящего Руководства) (п. 530.1 TS-G-1.1).

5.3.6-C4. Специфика "исключительного использования" согласно определению состоит, во-первых, в том, что перевозку должен осуществлять один грузоотправитель, который посредством достигнутых договоренностей с перевозчиком должен иметь право на единоличное использование транспортного средства или большого грузового контейнера, и, во-вторых, все начальные, промежуточные и конечные погрузочные и разгрузочные операции в отношении груза проводятся в строгом соответствии с указаниями грузоотправителя или грузополучателя (п. 221.1 TS-G-1.1).

5.3.6-C5. См. справку 7-C4 настоящего Руководства.

5.3.6-C6. См. справку 7-C5 настоящего Руководства.

5.3.6-C7. См. справку 7-C6 настоящего Руководства.

5.3.6-C8. См. справку 7-C7 настоящего Руководства.

5.3.6-C9. См. справку 7-C8 настоящего Руководства.

5.3.7-C1. Имеются две первичных причины для ограничения накопления пакетов в группах или в транспортных средствах и грузовых контейнерах. Когда пакеты помещены в тесной близости друг к другу, контроль должен быть осуществлен, чтобы:

а) предотвращать создание радиационных уровней выше, чем приемлемые, в результате добавочных влияний радиации от индивидуальных пакетов. Для партий грузов, не перевозимых под исключительным использованием, это достигается установкой ограничения на общее количество ТИ. Теоретическая максимальная норма дозы 2 м от поверхности транспортного средства, несущего 50 ТИ, была исторически рассчитана как 0,125 мЗв/ч, и считалась эквивалентной 0,1 мЗв/ч, поскольку маловероятно, что максимум будет достигнут. Опыт подтвердил приемлемость этих оценок;

б) предотвращать ядерную критичность, ограничивая нейтронное взаимодействие между пакетами, содержащими делящийся материал. Ограничение суммы ИБК до 50 в любой группе пакетов (100 при исключительном использовании) и интервал в 6 м между группами пакетов предоставляют такую гарантию.

Для большого грузового контейнера, который нужно перенести на морское судно, нет ограничения на количество ТИ или ИБК для полного судна. Однако имеется ограничение 200 ТИ или ИБК в любом трюме (купе), отсеке или определенной области.

5.3.7-C2. К малым грузовым контейнерам относятся грузовые контейнеры, один из габаритных размеров которых менее 1,5 м или внутренний объем не более 3 $м^3$. В сноске * к таблице опечатка: следует исключить частицу "не" в "не менее".

5.3.8-C1. Требуется, чтобы любой груз с ИБК большим чем 50, транспортировался в условиях исключительного использования (см. п. 530.1 TS-G-1.1 или справку 5.3.6-C3 настоящего Руководства). Условие загрузки, которое принималось при оценке критичности согласно пп. 681 и 682 Правил МАГАТЭ-96, состояло в том, что размещались идентичные упаковки. Исследование Маннердаля [127], представляющее собой обсуждение теоретически возможного размещения упаковок различных конструкций в одной массиве, показывает возможность увеличения коэффициента размножения нейтронов по сравнению с размещением идентичных упаковок. Хотя такое размещение на практике маловероятно, следует обращать внимание на установление правил размещения для перевозок, где ИБК превышает 50. Следует также обращать внимание на обеспечение безопасной конфигурации размещения для упаковок смешанного типа [128]. Если ИБК при перевозке превышает 50, то в соответствии с требованием необходимо утверждение такой перевозки (п. 567.1 TS-G-1.1).

5.3.9-C1. В НП-053-04, как и в Правилах МАГАТЭ-96, не вводится требование к контролю накопления упаковок на транспортном средстве и при транзитном хранении по категориям упаковок, как это имело место в предыдущих изданиях Правил МАГАТЭ. Тем не менее, учитывая опыт обращения с упаковками, классификация по категориям включена в Правила. Этикетки, используемые для обозначения различных категорий, несут необходимую привычную информацию о степени опасности упаковки, исходя из цвета и количества красных полос на них. Кроме этого, на этикетках указывается значение ТИ упаковки.

5.3.11-C1. Правила устанавливают пределы для нефиксированных загрязнений на поверхностях упаковок и транспортных средств в обычных условиях перевозки (см. определение 23 НП-053-04 или п. 106 Правил МАГАТЭ-96). Пределы для поверхностей упаковок выводятся из радиационной модели, разработанной Фэйрберном [129] для Правил издания 1961 г. Путями облучения были определены: внешнее бета-облучение кожи, пероральное поступление и ингаляция взвешенного материала. Разнообразие радионуклидов было ограничено наиболее опасными радионуклидами общего применения, а именно Pu-239 и Ra-226 в случае альфа-излучателей и Sr-90 в случае бета-излучателей. Эти выведенные пределы соответствуют величинам, которые в целом были приняты в лабораториях и для рабочих зон на производстве, и были, таким образом, консервативным для транспортных упаковок, для которых ожидалось, что время облучения и время обслуживания будет значительно меньшим, чем для рабочих в лабораториях или на действующих производствах. После этого вывода, несмотря на изменения параметров радиационной защиты, пределы загрязнения для перевозок не изменялись. В ходе разработки Правил издания 1996 г. подход, учитывающий конкретные радионуклиды, был отвергнут на основании того, что он был бы непрактичным и не являлся бы необходимым, а имеющиеся пределы виделись как продолжающие быть достаточно осторожными. Независимо от метода, использованного для определения предела, оптимизация играет роль в уменьшении уровней загрязнения на транспортных упаковках до уровней, которые так низки, как это разумно достижимо, с должным учетом накопления дозы в ходе дезактивации. Существующие величины вызывают малые дозы при перевозке (п. 508.1 TS-G-1.1).

5.3.11-C2. В случае упаковок, загрязненных альфа-излучателями, путем облучения, который обычно определяет предел загрязненности, является ингаляция материала, взвешенного с поверхности упаковок. Значение коэффициента повторного взвешивания (в Бк/$см^3$ на Бк/$см^2$) неопределенно, но исследования в этой области были рассмотрены в отчете, опубликованном в 1979 г. [130]. Широкий диапазон публикуемых величин перекрывает рекомендованную МАГАТЭ [131] для общего использования величину $5 \cdot 10^{-5}$/м, в которой учтена вероятность того, что только часть взвешенной активности может быть во вдыхаемой форме. В большинстве случаев уровень нефиксированного загрязнения измеряется непрямым способом путем вытирания известной площади поверхности фильтровальной бумагой, ватой или сухим хлопком или другим материалом аналогичной природы. На практике принято полагать, что активность мазка составляет только 10% от общего нефиксированного загрязнения, присутствующего на поверхности. Часть мазка включает в себя активность, которая наиболее легко поддающиеся повторному взвешиванию. Оставшаяся на поверхности мазка активность представляет собой загрязнения, которые труднее поддаются повторному взвешиванию. Соответствующее значение коэффициента повторного взвешивания для применения к полному количеству нефиксированных загрязнений на поверхности транспортной упаковки составляет величину порядка 10^{-5}/м. При годовом времени облучения 1000 ч в атмосферу, содержащую взвеси с поверхности упаковок, загрязненных Pu-239 при 0,4 Бк/$см^2$, и коэффициенте повторного взвешивания 10^{-5}/м годовая эффективная доза составляет около 2 мЗв. В случае загрязнения Ra-226, годовая эффективная доза может быть порядка 0,1 мЗв. Для большинства бета- (гамма-) излучателей путь облучения, который определяет предел, представляет облучение нижних (базальных) клеток кожного покрова. Рекомендации МКРЗ (ICRP) [132] 1990 г. оставляют величину 7 мг/$см^2$ в качестве номинальной глубины нижних клеток кожи, но расширяют диапазон глубины до

2 ÷ 10 мг/см^2. Ряд исследований [133–135] предоставляет коэффициенты пересчета мощность – доза при номинальной глубине 7 мг/см^2 или для диапазона 5 ÷ 10 мг/см^2. Кожа, загрязненная Sr-90/Y-90 при 4 Бк/см^2 в течение 8-часового рабочего дня, может вызвать эквивалентную дозу облучения на кожу около 20 мЗв/год, которую следует сравнивать с годовым пределом 500 мЗв [3]. Здесь предполагается коэффициент переноса с поверхности упаковки на поверхность кожи, равный единице (п. 508.2 TS-G-1.1).

5.3.11-C3. На практике загрязнение, которое представляется фиксированным, может стать нефиксированным в результате влияния погодных условий, проведения работ и т.п. В большинстве случаев, если наружные поверхности небольших упаковок слегка загрязнены, загрязнение является почти полностью удаляемым или нефиксированным, и это следует отражать в методах измерения. В некоторых ситуациях, однако, таких как при использовании контейнеров для топлива, когда они погружаются в загрязненную охлаждающую воду бассейна для загрузки облученного топлива, это не обязательно так. Загрязняющие вещества (например Cs-137) могут сильно загрязнять поверхность или проникать в поверхность стали. Загрязнение может укорениться в порах, тонких трещинах и расщелинах, особенно около уплотнения крышки. Последующее погодное влияние (атмосферные воздействия, дождь или влажная атмосфера) может приводить к тому, что загрязняющие вещества будут покидать поверхность или становиться нефиксированными. Следует до перевозки использовать соответствующие методы дезактивации для снижения уровня загрязнения до такой степени, чтобы можно было ожидать, что в процессе перевозки уровень нефиксированных загрязнений не превысит установленных пределов. В некоторых случаях пределы для нефиксированного загрязнения могут быть превышены в конце перевозки. Однако эта ситуация обычно не представляет значительной опасности из-за пессимистических и консервативных предположений, использованных в расчете пределов для нефиксированных загрязнений. Грузополучателю следует информировать грузоотправителя для того, чтобы последний мог определять причины и сводить к минимуму такие ситуации в будущем (п. 508.3 TS-G-1.1).

5.3.11-C4. Во всех случаях уровни загрязнения на внешних поверхностях упаковок следует сохранять на разумно достижимом низком уровне. Наиболее эффективный путь, гарантирующий это, – предохранение поверхностей от загрязнения. Методы разгрузки, погрузки и обслуживания следует анализировать с точки зрения выполнения этого требования. В конкретном случае контейнеров с топливом, упомянутом выше, следует время погружения в бассейн сводить к минимуму и разрабатывать эффективные методы дезактивации. Области уплотнений следует очищать, где это возможно, с помощью водяного распылителя под высоким давлением, и особое внимание уделять уменьшению попадания загрязненной воды между крышкой и корпусом контейнера. Использование «юбки» для ограничения контакта с загрязненной водой в охлаждающем бассейне может предотвращать загрязнения поверхностей контейнера. Если это невозможно, то существенно уменьшать поглощение загрязнения поверхностью можно путем использования удаляемых красок, предварительного увлажнения чистой водой и как можно более раннего начала очистки. Особое внимание следует уделять удалению загрязнения из областей соединений и уплотнений. По возможности следует также избегать загрязнения поверхностей другими материалами. Удаление таких загрязнений с поверхности счищает грязь и одновременно изнашивает подложный слой, особенно если последний сравнительно мягкий, например краска или пластмасса. Таким образом, износ поверхности может добавлять нефиксированных загрязнений либо в виде свободной грязи, которая сама становится загрязнением, либо при вытирании грязной поверхности, извлекающем радиоактивные загрязнения с подложного слоя. Краски и пластмассы подвержены воздействию солнечных лучей. Среди других эффектов ультрафиолетовое излучение окисляет краску и пластиковые поверхности, усиливая тем самым способность к обмену катионами. Это приводит усиленному загрязнению поверхностей, подвергнутых воздействию внешней среды, некоторыми растворимыми загрязнителями (п. 508.4 TS-G-1.1).

5.3.11-C5. Если все упаковки имеют загрязнения, близкие к предельным, то обслуживание и хранение таких упаковок в транзитных зонах, терминалах аэропортов на сортировочных станциях и т.д. может приводить к появлению загрязнения рабочих площадей. Необходимы проверки, чтобы быть уверенным в отсутствии загрязнения в помещениях, где упаковки регулярно обслуживаются. Аналогично рекомендуется время от времени проводить проверки перчаток и других предметов одежды персонала, обычно обслуживающего упаковки (п. 508.5 TS-G-1.1).

5.3.11-C6. В Правилах не установлены специальные пределы для уровней фиксированного загрязнения упаковок, так как внешнее излучение с их поверхности будет объединяться с проникающим излучением от содержимого упаковок, а уровни результирующего излучения от упаковок регламентируются другими специальными требованиями. Однако чтобы сводить к минимуму риск того, что загрязнение может стать нефиксированным в результате изнашивания, из-за влияния атмосферных воздействий и т.п., установлены пределы для фиксированных загрязнений для транспортных средств (см. п. 513 Правил МАГАТЭ-96) (п. 508.6 TS-G-1.1).

5.3.11-C7. В ограниченных случаях измерять загрязнение можно путем непосредственного считывания показаний монитора загрязнений. Такое измерение будет включать как фиксированные,

так и нефиксированные загрязнения. Оно будет реалистичным только там, где не создает помех уровень фонового излучения от установки, на которой выполнено измерение, или уровень излучения от содержимого. В большинстве случаев уровень нефиксированных загрязнений должен измеряться непрямыми методами, путем протирания известной площади поверхности для получения мазка и измерением затем результирующей активности мазка в месте, не подверженном воздействию фона от других источников (п. 508.7 TS-G-1.1).

5.3.11-С8. Выведенные пределы для нефиксированных загрязнений применимы к среднему уровню на площади не менее 300 $см^2$ или к упаковке в целом, если общая поверхность ее менее чем 300 $см^2$. Уровень нефиксированных загрязнений может быть определен путем протирания поверхности площадью 300 $см^2$ вручную с помощью фильтровальной бумаги, ваты, сухого хлопка или другого материала аналогичной природы. Следует обеспечивать, чтобы число мазков, взятых с большой упаковки, было бы представительным для всей поверхности; их следует брать с областей поверхности, о которых известно или предполагается, что они загрязнены больше, чем остальные. Для обычных исследований на очень больших упаковках (таких как контейнеры с облученным топливом) повседневной практикой является выбор большого количества фиксированных общих позиций, чтобы облегчать определение проб и тенденций. Следует позаботиться о том, чтобы проверке подвергались не одни и те же поверхности в каждом случае, так как это может оставлять большие площади упаковки непроверенными и создать тенденцию «чистить» проверяемые области (п. 508.8 TS-G-1.1).

5.3.11-С9. Активность мазка может быть измерена или с помощью портативного монитора загрязнений, или с помощью стандартного счетчика. Следует быть внимательным при переводе скорости счета в поверхностную активность, поскольку ряд факторов, таких как эффективность счета, геометрические факторы, калибровка счетчика и доля загрязнения, удаленная с поверхности на мазок, будут влиять на конечный результат (п. 508.9 TS-G-1.1).

5.3.11-С10. Во избежание недооценки энергия бета-излучения калибровочного источника, использованного для счетчика, не должна быть больше, чем энергия бета-излучения загрязняющего вещества. Доля загрязнения, удаленного при взятии мазка, на практике может изменяться в широком диапазоне в зависимости от природы поверхности, природы загрязняющего вещества, давления, применяемого при мазке, площади контакта использованного материала с поверхностью, метода стирания (например пропуская части площади 300 $см^2$ или дважды протирая их) и точности, с которой оператор оценивает площадь 300 $см^2$. При обычной практике принято полагать, что удаленная доля загрязнений составляет 10%. Это обычно рассматривается как консервативная оценка, т.е. полученный результат переоценивает уровень загрязнения. Другие значения удаляемой доли загрязнений могут приниматься только в том случае, если они подтверждены экспериментально (п. 508.10 TS-G-1.1).

5.3.11-С11. Пользователям следует разрабатывать специальные методы измерения загрязнения поверхности, соответствующие специфике условий. Такие методы включают использование мазков и подходящих дозиметрических приборов. Приборы и детекторы следует выбирать с учетом возможных радионуклидов, которые должны измеряться. Особое внимание следует уделять выбору приборов с подходящей энергетической зависимостью, если присутствуют альфа- и бета-излучатели с низкими энергиями. Размер мазка и размер чувствительной области детектора являются важными показателями при определении общей эффективности (п. 508.11 TS-G-1.1).

5.3.11-С12. Операторов следует адекватно обучать для гарантии, что образцы взяты соответствующим способом. Сравнение между операторами может быть весьма полезным в этом отношении. Внимания заслуживают трудности, которые будут возникать в случае использования различными организациями неполностью совместимых методов, особенно в обстоятельствах, когда не практикуется поддержание уровней нефиксированных загрязнений, близких к нулевым значениям (п. 508.12 TS-G-1.1).

5.3.12-С1. Перевозочные средства могут загрязняться нефиксированными загрязнениями с поверхности упаковок в процессе перевозки РМ. Если перевозочное средство стало загрязненным выше установленного уровня, его следует очищать, по крайней мере, до приемлемого уровня. Это положение не применяется к внутренним поверхностям перевозочного средства в случае если оно остается предназначенным для перевозки РМ или объектов с поверхностным радиоактивным загрязнением в условиях исключительного использования (см. справку 5.3.13-С1 настоящего Руководства) (п. 513.1 TS-G-1.1).

5.3.12-С2. Пределы также установлены для фиксированных загрязнений, чтобы сводить к минимуму риск, связанный с их переходом в нефиксированное состояние, в результате истирания, влияния атмосферных воздействий и т.п. (п. 513.2 TS-G-1.1).

5.3.12-С3. Если нефиксированное загрязнение на перевозочном средстве превышает пределы, установленные в п. 508 Правил МАГАТЭ-96 (п. 5.3.11 НП-053-04), транспортное средство следует дезактивировать и вслед за этим измерять фиксированное загрязнение. Уровень излучения, являющийся следствием фиксированного загрязнения на поверхностях, может быть измерен с использованием портативного прибора подходящего диапазона с удержанием его около поверхно-

сти транспортного средства. Такие измерения следует проводить только перед загрузкой транспортного средства (п. 513.3 TS-G-1.1).

5.3.12-C4. Если упаковки, имеющие сравнительно высокие уровни фиксированного загрязнения, обслуживаются одними и теми же транспортными рабочими, может возникнуть необходимость учитывать не только проникающее излучение, но и не проникающее излучение от этого загрязнения. Эффективная доза, полученная рабочими от проникающего излучения, может быть достаточно низка, так что индивидуальный мониторинг не требуется. Если известно, что уровень фиксированных загрязнений может быть высоким, то разумно вводить оперативный предел для предотвращения нежелательного облучения рук рабочих (п. 513.4 TS-G-1.1).

5.3.13-C1. В то время как обычной хорошей практикой является дезактивация транспортного пакета, грузового контейнера, резервуара, контейнера средней грузоподъемности для массовых грузов или перевозочного средства как можно быстрее, чтобы они могли быть использованы для других материалов, существуют ситуации, например, перевозка урановых или ториевых руд, когда перевозочное средство специально предназначено для перевозки РМ, включая неупакованные РМ, и постоянно загрязнено. В случаях, где общей практикой служит использование специально предназначенных перевозочных средств, по применимости предоставляется возможность исключения необходимости быстрой дезактивации этих перевозочных средств, резервуаров, транспортных пакетов, контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов или грузовых контейнеров, на тот период, пока эти перевозочные средства, резервуары, транспортные пакеты, контейнеры средней грузоподъемности для массовых грузов или грузовые контейнеры остаются специально предназначенными для такого использования. Очистка внутренних поверхностей после каждого использования могла бы приводить к нежелательному облучению рабочих. С другой стороны, наружные поверхности, которые непрерывно открыты в окружающую среду и которые обычно значительно легче дезактивировать, следует очищать ниже применяемых пределов после каждого использования. Действие п. 414 Правил МАГАТЭ издания 1985 г. было ограничено материалами с НУА и объектами с поверхностным радиоактивным загрязнением. Теперь это положение расширено в Правилах МАГАТЭ-96 и в НП-053-04 с целью охвата всех РМ.

5.4. Маркировка, этикетки, знаки опасности и предупредительные знаки

5.4.1-C1. Номера ООН, каждый из которых связан с собственным уникальным надлежащим транспортным наименованием, имеют функцию идентификации опасных грузов как для конкретно обозначаемых веществ, так и для партий грузов общего назначения. Номера ООН для радиоактивных материалов были согласованы в рамках международного сотрудничества между Комитетом экспертов ООН по перевозке опасных грузов и МАГАТЭ. Система идентификации с помощью чисел предпочтительнее других форм идентификации, использующих символы или язык ввиду относительной простоты для международного опознавания. Эта идентификация может быть использована для многих целей. Гармонизированные с другими опасными грузами номера ООН позволяют обеспечивать быстрое и надежное определение радиоактивных грузов в широком потоке транспорта опасных грузов вообще. Другой пример – использование номеров ООН в качестве уникальной идентификации для операций аварийного реагирования. Каждый номер ООН может быть связан с уникальной таблицей рекомендаций по аварийному реагированию, которая обеспечивает для первых участников аварийного реагирования получение общих рекомендаций при неизбежном отсутствии специалистов на этом этапе реагирования. На первых этапах аварийной ситуации эта подготовленная информация может быть легко доступна для группы аварийного персонала, который первым реагирует на аварийную ситуацию, но представители которого не являются специалистами в области радиационной безопасности (см. также абзацы под номерами в скобках 547.1 и 549.1–549.5 TS-G-1.1 и ниже в данной справке) (п. 535.1 TS-G-1.1).

а) Изображение номера ООН может обеспечивать информацию о типе перевозимого РМ, включая сведения о том, делящийся это материал или нет и информацию о типе упаковки. Эта информация важна в случае инцидентов или аварий, приводящих к утечке РМ, тем, что помогает лицам, ответственным за аварийное реагирование, определять надлежащие противоаварийные действия (см. п. 535.1 TS-G-1.1 (1-й абзац данной справки) (п. 547.1 TS-G-1.1).

б) Перечень информации, предоставляемой грузоотправителем в соответствии с требованиями п. 5.14.1 НП-053-04 или п. 549 Правил МАГАТЭ-96, предназначен для информирования перевозчика, грузополучателя и других заинтересованных сторон относительно точной природы груза с тем, чтобы могли быть предприняты все необходимые действия. При подготовке этой информации грузоотправитель также получает напоминание об основных нормативных требованиях, применимых к грузу в ходе его подготовки к перевозке и при отправке (см. также п. 535.1 TS-G-1.1 или 1-й абзац данной справки) (п. 549.1 TS-G-1.1).

в) Перечень надлежащих транспортных наименований и соответствующие номера ООН включены в табл. VIII Правил МАГАТЭ-96 (см. Приложение 5 к НП-053-04) (п. 549.2 TS-G-1.1).

г) Внимание грузоотправителя сосредотачивается на конкретных требованиях п. 5.14.1 л)

НП-053-04 (п. 549(k) Правил МАГАТЭ-96) относительно перевозки упаковок в транспортном пакете или в грузовом контейнере. Требуется, чтобы каждая упаковка или партия упаковок была обеспечена соответствующей документацией. Это важно для Декларации грузоотправителя. Никто, кроме грузоотправителя, не может сделать эту декларацию, и, таким образом, требуется, чтобы он или она обеспечивали подготовку соответствующих документов для всех частей смешанного груза так, чтобы их доставка могла продолжаться после того, как они будут извлечены из транспортного пакета или грузового контейнера (п. 549.3 TS-G-1.1).

д) Следует позаботиться о выборе надлежащего транспортного наименования согласно табл. VIII Правил МАГАТЭ-96 (см. приложение 5 к НП-053-04). Части текста, которые не набраны прописными буквами, не считаются частью установленного надлежащего транспортного наименования. Если надлежащее транспортное наименование содержит союз "или", следует использовать только одну из возможных альтернатив. Следующие примеры иллюстрируют выбор надлежащего транспортного наименования груза для номеров ООН 2909, 2915 и 3332:

ООН № 2909 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, ОСВОБОЖДЕННАЯ УПАКОВКА – ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ ПРИРОДНОГО УРАНА или ОБЕДНЕННОГО УРАНА или ПРИРОДНОГО ТОРИЯ

Надлежащее транспортное наименование груза является применимым описанием из следующих:

ООН № 2909 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, ОСВОБОЖДЕННАЯ УПАКОВКА – ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ ПРИРОДНОГО УРАНА

ООН № 2909 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, ОСВОБОЖДЕННАЯ УПАКОВКА – ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ ОБЕДНЕННОГО УРАНА

ООН № 2909 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, ОСВОБОЖДЕННАЯ УПАКОВКА – ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ ПРИРОДНОГО ТОРИЯ

ООН № 2915 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А, не особого вида, неделящийся или делящийся освобожденный.

ООН № 3332 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А, ОСОБОГО ВИДА, неделящийся или делящийся освобожденный.

В качестве надлежащего транспортного наименования груза применимо одно из следующих:

ООН № 2915 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А

ООН № 3332 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А, ОСОБОГО ВИДА

Как можно видеть из примера, приведенного для ООН № 3332, дополнительная характеристика (здесь – особого вида) выделена явно (п. 549.4 TS-G-1.1).

е) Другой пример, связанный с интерпретацией и использованием понятия "номер ООН" относится к порожним упаковочным комплектам содержащим РМ, т. е. к ООН № 2908. Если в упаковочном комплекте есть остатки (например, в упаковках UF_6), упаковочный комплект не следует называть "порожним упаковочным комплектом" и его следует транспортировать как упаковку, а не как упаковочный комплект. Количество остатка будет определять категорию упаковки (см. также п. 520.4 TS-G-1.1 или подпункт ж) данной справки) (п. 549.5 TS-G-1.1).

ж) "Остатки" материала имеют тенденцию накапливаться контейнере для UF_6 при опорожнении. Эти "остатки" обычно не являются чистым UF_6, но состоят из материалов (включений), которые не возгоняются так легко, как UF_6, например, UO_2F_2, дочерних продуктов деления урана и трансурановых элементов. Следует принимать меры при опорожнении для гарантии, что упаковка удовлетворяет требованиям п. 5.8.1 НП-053-04 (п. 520 Правил МАГАТЭ-96), если ее собираются перевозить как порожний упаковочный комплект, и гарантии при повторном заполнении, что уровни излучения от локальных "остатков" не являются слишком высокими, что в транспортных документах правильно учтены "остатки" и что комбинированное содержимое UF_6 и "остатков" удовлетворяло соответствующим требованиям к материалам. Чтобы обеспечивать выполнение соответствующих нормативных требований, могут понадобиться соответствующая оценка и очистка при опорожнении или повторном заполнении. Дополнительную информацию см. в [27, 28] и в п. 549.5 TS-G-1.1 или в подпункт е) данной справки) (п. 520.4 TS-G-1.1).

5.4.1-C2. Номера ООН для РМ теперь используются, чтобы связывать требования в Перечне с требованиями Правил. Это оказалось преимуществом для установления требований применительно к конкретным типам упаковок и материалов. Номера ООН могут быть также использованы для ситуаций, связанных с обеспечением соблюдения Правил, выполнения проверок и контроля, накопления данных и для других статистических целей, если компетентный орган найдет пользу в таком применении (п. 535.2 TS-G-1.1).

5.4.1-С3. См. также пп. 536.2–536.6 TS-G-1.1 (или справки 5.4.2-С3 – 5.4.2-С7 настоящего Руководства) в отношении общих рекомендаций по соблюдению требований в части разборчивости и долговечности маркировки (п. 535.3 TS-G-1.1).

5.4.2-С1. Указание массы груза на упаковке необходимо для использования соответствующего оборудования при погрузочно-разгрузочных работах и транспортных средств при перевозке, что в конечном счете влияет на безопасность перевозки как в нормальных условиях, так и при ликвидации последствий аварий.

5.4.2-С2. Упаковки, масса брутто которых превышает 50 кг, вероятно, должны обслуживаться с помощью механизмов, а не вручную, и требуют маркировки массы брутто, чтобы указывать на возможную необходимость механизированного обслуживания и обеспечивать контролируемость максимальной нагрузки на пол и на транспортное средство. На практике, однако, даже упаковки массой до 50 кг не следует всегда обслуживать вручную. Перед регулярным обслуживанием упаковок вручную следует обеспечивать процедуру, гарантирующую, что радиационные последствия окажутся на разумно достижимом низком уровне. Где возможно, следует использовать механизированные средства. Весьма полезной в этом отношении, будет разборчивая и долговечная маркировка (п. 536.1 TS-G-1.1).

5.4.2-С3. Следует обеспечивать, чтобы маркировка на упаковках была четко напечатана, имела достаточный размер и была разумно расположена, чтобы быть разборчивой с учетом возможного применения обрабатывающих средств. Высоту символов 12,5 мм следует считать приемлемым минимумом для легких упаковок (т.е. до несколько сот килограммов), когда вероятно применение механических средств, имеющих тесный контакт с упаковками, например автопогрузчиков. Для более тяжелых упаковок будут требоваться более "дистанционные" методы обслуживания, и соответственно размер символов следует увеличивать, чтобы дать возможность оператору прочитать маркировку на расстоянии. Размер 65 мм считается достаточным для самых тяжелых упаковок с массой в диапазоне от десятков до сотен тонн. Если внешняя отделка упаковки сама по себе не обеспечивает контраст, перед маркировкой следует подготавливать контрастный фон для гарантии ее удобочитаемости. Черные символы на белом фоне пригодны. Если упаковки имеют неровные внешние поверхности (например ребра или гофры) или поверхности не подходят для прямого нанесения маркировки, может потребоваться предусматривать плоскую панель или пластину, на которые наносится маркировка для повышения отчетливости (удобочитаемости) (п. 536.2 TS-G-1.1).

5.4.2-С4. Маркировки следует делать долговечными (устойчивыми), по крайней мере, к условиям нормальной перевозки, включая воздействие внешних погодных условий и изнашивание, без существенного снижения эффективности. Уделяется внимание необходимости обращения к национальным правилам и правилам для различных видов транспорта, которые могут содержать более строгие требования. Например, Международный кодекс морской перевозки опасных грузов, МК МПОГ (IMDG) [136] требует, чтобы все постоянные маркировки (а также этикетки) оставались идентифицируемыми на упаковках после погружения в море, по крайней мере, на 3 мес. Если для маркировки используется панель или пластина, следует обеспечивать, чтобы надежность их прикрепления к упаковке соответствовала стандарту целостности самой упаковки (п. 536.3 TS-G-1.1).

5.4.2-С5. Средства маркировки будут зависеть от природы наружной поверхности самой упаковки, варьируясь (в порядке увеличения долговечности) от отпечатанной этикетки (для наименования грузополучателя или грузоотправителя, номера ООН и надлежащего транспортного наименования или общей массы брутто), нанесения по трафарету или мягкой печати несмываемыми чернилами или красками (пригодного для картонных ящиков или деревянных упаковочных комплектов), маркирования (для деревянных упаковочных комплектов), рисования красками на основе эмали и смол (пригодного для многих поверхностей, в частности для металлов), до клеймения, тиснения, чеканки или «отливок» маркировки металлических внешних упаковочных комплектов (п. 536.4 TS-G-1.1).

5.4.2-С6. В дополнение к рекомендациям пп. 536.2–536.4 TS-G-1.1 (см. справки 5.4.2-С3 – 5.4.2-С5 настоящего Руководства) следует всегда принимать во внимание соответствующие национальные правила и правила для отдельных видов транспорта, так как отличия в деталях требований могут быть значительными (п. 536.5 TS-G-1.1).

5.4.2-С7. В запланированные проверки и программы обслуживания, необходимые для упаковочных комплектов, следует включать положения по проверке всех постоянных маркировок и их ремонту при любых повреждениях или дефектах. Опыт таких проверок покажет, обеспечивается ли долговечность на практике (п. 536.6 TS-G-1.1).

5.4.3-С1. Правила МАГАТЭ-96 и НП-053-04 ввели требование идентификации промышленных упаковок маркировкой. Состав последней соответствует другим аналогичным маркировкам в том, что включает в себя слово "тип" вместе с соответствующим описанием промышленной упаковки (например тип ПУ-2). Состав маркировки также предотвращает потенциальную путаницу, если в других транспортных правилах сокращение ПУ (IP) может применяться с другой целью. Например, технические инструкции ИКАО (ICAO) используют IP как сокращение термина "внутренний упако-

вочный комплект" (Inner Packaging); например, "IP.3" обозначает один из десяти конкретных типов внутренних упаковочных комплектов (п. 537.1 TS-G-1.1).

5.4.3-C2. Хотя для промышленных упаковок, содержимое которых не делящийся материал, утверждения конструкции компетентного органа не требуется. Разработчик и (или) грузоотправитель должны быть в состоянии продемонстрировать соблюдение Правил любому признанному компетентному органу. Эта маркировка помогает в проверке и интенсифицирует деятельность компетентных органов. Маркировка также обеспечивает опытному наблюдателю ценную информацию в случае аварии (п. 537.2 TS-G-1.1).

5.4.3-C3. В отношении общих рекомендаций по соблюдению требований в части разборчивости и долговечности маркировки см. также пп. 536.2 – 536.6 TS-G-1.1 (или справки 5.4.2-C3 – 5.4.2-C7 настоящего Руководства) (п. 537.3 TS-G-1.1).

5.4.3-C4. Все конструкции упаковок типа B(U), типа B(M), типа C и упаковок с делящимся материалом требуют утверждения компетентного органа. Маркировка на таких упаковках имеет целью обеспечивать связь конкретной упаковки с соответствующим утверждением конструкции национальным компетентным органом (через идентификационную метку), а также с информацией виде утверждения конструкции компетентным органом. Кроме того, маркировка упаковки обеспечивает опытному наблюдателю ценную информацию при аварии. В случае конструкций упаковок с гексафторидом урана требование к упаковкам иметь идентификационную метку компетентного органа, как отмечено в п. 4.2.3 НП-053-04 (п. 828.c) Правил МАГАТЭ-96), зависит от вступления в силу требований получать утверждения компетентного органа (п. 538.1 TS-G-1.1).

5.4.3-C5. См. справку 4.3.3-C5 настоящего Руководства.

5.4.3-C6. Общие рекомендации относительно удобочитаемости и долговечности маркировок, а также их проверки/обслуживания даны в пп. 536.2 – 536.4 TS-G-1.1 (см. справки 5.4.2-C3 – 5.4.2-C5 настоящего Руководства). Тем не менее, по возможности следует обеспечивать устойчивость идентификационной метки компетентного органа, серийного номера и маркировки типа B(U), типа B(M) или типа C к размыванию, стиранию и отделению даже в условиях аварий. Может быть удобным размещение таких маркировок рядом со знаком трилистника на наружной поверхности упаковки. Например, для объединения этих маркировок может быть использована рельефная металлическая пластина (п. 538.3 TS-G-1.1).

5.4.3-C7. Утвержденная конструкция упаковки может быть такой, что различные внутренние элементы могут быть использованы с единственным внешним элементом или внутренние элементы упаковочного комплекта могут быть взаимозаменяемы более, чем с одним внешним элементом. В этих случаях каждый внешний элемент упаковочного комплекта с уникальным серийным номером идентифицирует упаковочный комплект как сборку элементов, удовлетворяющих требованиям п. 5.4.5.б) НП-053-04 (п. 538.b) Правил МАГАТЭ-96) при условии, что сборка элементов соответствует конструкции, утвержденной компетентными органами. В таких случаях необходимо, чтобы программа обеспечения качества, установленная грузоотправителем, обеспечивала правильную идентификацию и использование этих элементов (п. 538.4 TS-G-1.1).

5.4.4-C1. Маркировка упаковок типа B(U), типа B(M) или типа C с символом трилистника, стойкая к воздействию огня и воды, предназначена для того, чтобы гарантировать возможность для такого типа упаковок быть идентифицированными после серьезной аварии как упаковки, перевозящие РМ (п. 539.1 TS-G-1.1).

5.4.5-C1. Упаковки, транспортные пакеты, резервуары и грузовые контейнеры могут быть охарактеризованы как объекты обслуживания или грузовые единицы. Необходимо, чтобы транспортные рабочие были осведомлены о содержимом указанных объектов, когда такие единицы перевозят РМ, и знали о существовании потенциальной радиологической опасности или опасности по критичности. Этикетки дают эту информацию символом трилистника, цветом и категорией (I-БЕЛАЯ, II-ЖЕЛТАЯ или III-Желтая) и этикеткой ядерного деления. Посредством этикеток можно идентифицировать: (a) радиологическую опасность или опасность по критичности, связанные с радиоактивным содержимым грузовой единицы, и (b) правила хранения и складирования, которые могут применяться к таким единицам (п. 541.1 TS-G-1.1).

5.4.5-C2. Для этикеток РМ используется часть форм ряда этикеток, применяемых в международной практике для идентификации различных классов опасных грузов. Этот ряд этикеток был установлен с целью сделать опасные грузы легкоузнаваемыми на расстоянии с помощью символов. Специальным знаком, выбранным для идентификации грузовой единицы, перевозящей РМ, является трилистник (п. 541.2 TS-G-1.1).

5.4.5-C3. Содержимое грузовой единицы может, помимо своих радиоактивных свойств, обладать свойствами, опасными в других отношениях, например, быть коррозионными или легковоспламеняющимися. В этих случаях необходимо также придерживаться правил, имеющих отношение к этому дополнительному виду опасности. Это означает, что дополнительно к этикетке РМ, на грузовой единице должны быть размещены другие соответствующие этикетки (п. 541.3 TS-G-1.1).

5.4.6-C1. Чтобы сохранять возможность опознавать грузополучателя или грузоотправителя упаковки, нормальный контроль за которой потерян (например, упаковка потеряна при выполнении

транзитных операций или ошибочно перемещена в другое место), на упаковке необходима идентификационная маркировка. Эта маркировка может состоять из названия или адреса как грузоотправителя, так грузополучателя или может быть числом, определяющим накладную или транспортный документ, содержащий эту информацию (п. 534.1 TS-G-1.1).

5.4.6-С2. В отношении общих рекомендаций по соблюдению требований в части разборчивости и долговечности маркировки см. также пп. 536.2 – 536.6 TS-G-1.1 или справки 5.4.2-С3 – 5.4.2-С7 настоящего Руководства) (п. 534.2 TS-G-1.1).

5.4.7-С1. Помимо идентификации радиоактивных свойств содержимого, этикетки также включают специфическую информацию о содержимом, например, наименование нуклида, или наиболее ограничивающих нуклидов в случае смеси радионуклидов, или активность. В случае делящегося содержимого масса его может заменять активность. Эта информация важна при инциденте или аварии, где для оценки опасности может понадобиться информация о содержимом. Более специфическая информация о содержимом для материалов НУА-I не требуется, потому что они характеризуются низкой радиационной опасностью, связанной с таким материалом (п. 543.1 TS-G-1.1).

5.4.7-С2. Желтые этикетки также показывают ТИ грузовой единицы, (т. е. упаковки, транспортного пакета, резервуара и грузового контейнера). Информация о ТИ существенна для хранения и складирования, так как она используется для контроля накопления и обеспечения правильного разделения грузовых единиц. Правила устанавливают пределы на общую сумму ТИ для группы грузовых единиц (см. табл. IX Правил МАГАТЭ-96 (табл. 5.2 НП-053-04) для перевозки не на условиях исключительного использования) (п. 543.2 TS-G-1.1).

5.4.10-С1. При идентификации наиболее ограничивающих радионуклидов с целью отражения на этикетке смеси радионуклидов следует рассматривать радионуклиды не только с самыми низкими значениями A_1 или A_2, но также и относительные количества радионуклидов. Например, способ выявления наиболее ограничивающего радионуклида состоит в определении для различных радионуклидов значения

$$\frac{f_i}{A_i},$$

где f_i – активность радионуклида i;

A_i = A_1 или A_2 для радионуклида i (по применимости).

Максимальное значение представляет наиболее ограничивающий радионуклид (п. 543.3 TS-G-1.1).

5.4.13-С1. Данное положение позволяет уменьшать количество и продолжительность работ с упаковками и соответственно уровень облучения персонала.

5.4.13-С2. Данное положение соответствует правилам перевозки опасных грузов международных транспортных организаций.

5.5. Требования к перевозке освобожденных упаковок

5.5.1-С1. Общий подход к регулированию перевозки освобожденных упаковок основан на том, что количество и характер их радиоактивного содержимого таковы, что при выходе из упаковки всего радиоактивного содержимого радиационная опасность не превышает опасности при разрушении упаковок типа А и выходе из них части (10^{-3}) твердого и жидкого содержимого (п. 518.1 TS-G-1.1).

5.5.1-С2. Освобожденные упаковки – это упаковки, в которых допустимое радиоактивное содержимое ограничено столь низкими уровнями, что потенциальные опасности незначительны, и поэтому, никакое испытание в отношении герметизации или целостности ограждения не требуется.

5.5.1-С3. При перевозке освобожденных упаковок применяются только требования, перечисленные в данном пункте НП-053-04. То есть если в тексте НП-053-04 указаны какие-либо требования к упаковкам и их перевозке без конкретизации типа упаковки, они не применяются при перевозке освобожденных упаковок. Например, на этих упаковках не обязательно указывать массу упаковки, не устанавливаются этикетки радиационной опасности и др. К таким упаковкам не применяется требование п. 2.8.2 НП-053-04.

5.5.2-С1. Уровень излучения на поверхности освобожденных упаковок не должен превышать 5 мкЗв/ч (0,5 мбэр/ч), что соответствует категории "I-БЕЛАЯ". Тем не менее, освобожденные упаковки не имеют этикетки со знаком радиационной опасности, поскольку такой уровень излучения практически не может приводить к переоблучению транспортных рабочих, а, с учетом чрезвычайно малой потенциальной опасности содержимого при авариях контроль обращения с упаковками в ходе перевозки не требуется.

Требование, чтобы радиационный уровень на поверхности освобожденной упаковки не превысил 5 мкЗв/ч, установлено для гарантии, что любая радиационная доза для населения будет незначительна и что чувствительный фотографический материал не будет поврежден.

Обычно считается, что радиационное облучение, не превышающее 0,15 мЗв, не приводит к недопустимому облучению необработанной фотографической пленки. Груз, содержащий такую

пленку, должен был бы оставаться в течение более 20 ч в контакте с освобожденной упаковкой, имеющей максимальный радиационный уровень на поверхности 5 мкЗв/ч, чтобы получать предписанный радиационный предел дозы 0,1 мЗв.

Согласно тому же самому аргументу, специальная изоляция от людей не требуется. Любая радиационная доза для населения будет незначительна, даже если такой пакет перевозится в пассажирском купе транспортного средства.

5.5.2-С2. Упаковочные комплекты с биологической защитой из обедненного урана или тория (покрытые снаружи оболочкой из нерадиоактивных материалов) проектируются так, чтобы уровень излучения на их поверхности не превышал 5 мкЗв/ч. То есть в порожнем состоянии они могут перевозиться так же, как освобожденные упаковки.

5.5.4-С1. Пределы, отличные от основных пределов, допускаются, если РМ содержится внутри или образует часть прибора или иного промышленного изделия, где обеспечена дополнительная степень защиты от выхода материала в случае аварии. Дополнительная степень защиты оценивается в большинстве случаев коэффициентом 10, приводя, таким образом, к пределам, в 10 раз превышающим основные пределы. Коэффициент 10, использованный в этом и в других отклонениях от основных пределов, разработан как прагматичный показатель (п. 517.2 TS-G-1.1).

5.5.4-С2. Дополнительная степень защиты не имеет места в случае газов, поэтому пределы для приборов и промышленных изделий, содержащих газовые источники, остаются такими же, как и пределы для освобожденных упаковок, содержащих газы, не заключенные в приборах или изделиях (п. 517.3 TS-G-1.1).

5.5.4-С3. *Упаковочный комплект уменьшает вероятность как повреждения содержимого, так* и выхода из упаковки РМ в твердой или жидкой форме. Соответственно пределы для освобожденной упаковки с приборами и промышленными изделиями, содержащими твердые или жидкие источники, установлены в 100 раз выше, чем для отдельного прибора или изделия (п. 517.4 TS-G-1.1).

5.5.4-С4. Для упаковок с приборами и изделиями, содержащими газовые источники, упаковочный комплект может обеспечивать определенную защиту от разрушения, но он не может существенно снижать утечку газов, которые могут выйти внутри него. Поэтому пределы для освобожденных упаковок с приборами и изделиями, содержащими газовые источники, были установлены только в 10 раз выше, чем пределы для отдельного прибора или изделия (п. 517.5 TS-G-1.1).

5.5.5-С1. Основной предел активности для твердого материала не особого вида, который может перевозиться в освобожденной упаковке, равен $10^{-3}A_2$. Этот предел для освобожденной упаковки был получен на основе допущения о 100%-ном выходе радиоактивного содержимого в случае аварии. Максимальная активность выхода для такого события, т.е. $10^{-3}A_2$, сравнима с предполагаемым выходом части содержимого для упаковки типа А в дозиметрических моделях, использованных при определении значения A_2 (п. 518.1 TS-G-1.1).

5.5.5-С2. В случае твердого материала не особого вида вероятность выхода какого-либо рассеиваемого РМ очень мала. Таким образом, если только радиотоксичность представляла бы собой единственную опасность, которую необходимо контролировать, то для твердых материалов не особого вида в освобожденных упаковках мог бы быть принят значительно более высокий предел для активности. Однако природа материалов особого вида не обеспечивает какой-либо дополнительной защиты, когда дело касается опасности внешнего излучения. Поэтому пределы для освобожденных упаковок, содержащих материалы особого вида, базируются скорее на A_1, чем на A_2. Основной предел, выбранный для твердого материала особого вида, равен $10^{-3}A_1$. Он ограничивает мощность внешней эквивалентной дозы от неочищенного материала особого вида одной тысячной долей от мощности, использованной при определении значений A_1 (п. 518.2 TS-G-1.1).

5.5.5-С3. Для газообразного материала аргументы аналогичны аргументам для твердого материала, поэтому основные пределы для освобожденных упаковок, содержащих газообразные материалы, также равны $10^{-3}A_2$ для материалов не особого вида, и $10^{-3}A_1$ для материалов особого вида. В случае одноэлементных газов пределы для упаковок крайне пессимистичны, так как вывод значения A_2 уже содержит предположение о 100%-ном рассеянии (п. 518.3 TS-G-1.1).

5.5.5-С4. Газообразный тритий приведен отдельно, поскольку фактическая величина A_2 для трития значительно превышает значение 40 ТБк, представляющее собой обычно максимум для величин A_2. Значение $2{\cdot}10^2A_2$ консервативно по сравнению с другими газами даже с учетом преобразования трития в тяжелую воду (п. 518.4 TS-G-1.1).

5.5.5-С5. В случае жидкостей применяется дополнительный коэффициент безопасности 10, поскольку считается, что при аварии существует большая вероятность разлива. Поэтому основной предел для освобожденных упаковок с жидкими материалами установлен равным $10^{-4}A_2$ (п. 518.5 TS-G-1.1).

5.5.6-С1. Предметами промышленного употребления из природного или обедненного урана, которые могут перевозиться как промышленные упаковки, являются, например, авиационные противовесы, изготовленные из обедненного урана и покрытые эпоксидной смолой, урановая защита в металлических оболочках, используемая в медицинских приборах, в транспортных контейнерах (п. 519.2 TS-G-1.1).

5.5.6-С2. Назначение неактивной оболочки состоит в том, чтобы покрывать внешние поверхности урана или тория и защищать их от изнашивания, поглощать исходящее альфа-излучение и уменьшать уровень бета-излучения на доступных поверхностях изделия. Оболочка может также использоваться для контроля ввиду окисления урана или тория и возможного последующего появления нефиксированного загрязнения на наружных поверхностях таких изделий (п. 519.1 TS-G-1.1).

5.5.6-С3. В случае, когда защита из обедненного урана включена в упаковочный комплект, уран следует покрывать стальной оболочкой, и сплошность покрытия должна быть обеспечена качественной сваркой. Например, национальные нормы в Соединенных Штатах Америки оговаривают, что стальная оболочка должна иметь толщину не менее 3,2 мм, и снаружи упаковочного комплекта должна быть этикетка, показывающая, что он содержит уран, и предохраняющая его от случайной машинной обработки или от утилизации в качестве металлолома (п. 519.3 TS-G-1.1).

5.6. Требования к перевозке материалов НУА и ОПРЗ

5.6.1-С1. Поскольку от промышленных упаковок, используемых для перевозки материалов НУА и ОПРЗ, не требуется выдерживать аварийные условия, в Правила введены положения, ограничивающие содержимое упаковок до количества, которое позволяет удерживать уровень излучения на расстоянии 3 м от незащищенного материала или объекта в пределах 10 мЗв/ч. Не ожидается, что геометрические изменения материалов НУА и ОПРЗ в результате аварии приведут к значительному повышению этого уровня внешнего излучения. Это ограничивает аварийные последствия, связанные с материалом НУА и ОПРЗ, тем же уровнем, который относится к упаковкам типа А, где значение A_1 основано на незащищенном содержимом упаковки типа А, создающем уровни излучения 100 мЗв/ч на расстоянии 1 м. (п. 521.1 TS-G-1.1). См. также справку 1.3.3.2-С2 настоящего Руководства.

5.6.1-С2. В случае твердых радиоактивных отходов, очень равномерно распределенных в бетонной матрице, помещенной внутрь упаковочного комплекта с толстыми бетонными стенами, для удовлетворения условий п. 5.6.1 защиту из бетонной стены учитывать не следует. Однако уровни излучения на расстоянии 3 м от незащищенной бетонной матрицы могут быть оценены путем прямых измерений вне толстых стен упаковочного комплекта и затем скорректированы с учетом экранирующего эффекта бетонной стены. Этот метод также может использоваться в случае применения других типов упаковочных комплектов (п. 521.2 TS-G-1.1).

5.6.1-С3. Использование для перевозки материалов НУА и ОПРЗ различных типов промышленных упаковок осуществляется по следующему общему принципу: чем большую потенциальную опасность представляет материал, тем более прочная упаковка должна применяться. Аналогичный принцип используется для выбора условий исключительного использования (см. табл. 5.6 НП-053-04) и для пределов активности на транспортном средстве (см. табл. 5.7 НП-053-04).

5.6.4-С1. Для ОПРЗ-I разрешается иметь нефиксированные загрязнения на недоступных поверхностях сверх величин, определенных в п. 241.a)(i) Правил МАГАТЭ-96. Такие элементы, как трубопроводы, отделяемые при снятии установки с эксплуатации, следует подготавливать к перевозке неупакованными, чтобы обеспечивать отсутствие выхода РМ в перевозочное средство. Это можно делать, например, путем использования колпаков или заглушек на обоих концах труб (п. 523.1 TS-G-1.1).

5.6.4-С2. Методы измерения фиксированного и нефиксированного загрязнения упаковок и транспортных средств указаны в справках 5.3.11-С2 и 5.3.11-С7 – 5.3.11-С12 настоящего Руководства, соответственно. Эти методы применимы и к ОПРЗ. Однако чтобы применять их правильно, грузоотправитель должен знать состав загрязнения (п. 241.7 TS-G-1.1).

5.6.5-С1. Определены пределы активности для перевозочного средства для материалов НУА и ОПРЗ, при этом учитывалась повышенная опасность, представляемая жидкостями и газами, горючими твердыми веществами и уровнями загрязнения в условиях аварий (п. 525.1 TS-G-1.1).

5.6.5-С2. "Горючие твердые вещества" в табл. 5.7 НП-053-04 означают все НУА-II и НУА-III в твердой форме, способные поддерживать горение или сами по себе, или в пламени (п. 525.2 TS-G-1.1).

5.7. Временное (транзитное) хранение

5.7.1-С1. Условия временного хранения упаковок, содержащих РМ, на железнодорожных станциях установлены в правилах перевозок опасных грузов по железным дорогам.

5.7.2-С1. Чтобы выполнять требования по радиационной защите, содержащиеся в пп. 301–307 Правил МАГАТЭ-96, разработаны простые процедуры, которые будут должным образом ограничивать облучение как людей, так и непроявленной фотопленки (п. 562.2 TS-G-1.1).

5.7.2-С2. Эффективным путем ограничения облучения людей в ходе перевозки является требование обеспечивать надлежащие разделяющие расстояния между РМ и местами, где могут присутствовать люди. Правила обеспечивают основу для определения требований к разделению,

но фактическое определение и детализация этих требований делаются в зависимости от вида транспорта. Требования к разделяющим расстояниям устанавливаются национальными регулирующими органами и международными транспортными организациями, такими как Международная организация гражданской авиации, ИКАО, (ICAO) [35] и Международная морская организация, ИМО, (IMO) [136]. Эти требования были установлены на основе радиологических моделей и подтверждены опытом: фактические дозы, являющиеся следствием соблюдения этих расстояний при перевозке по морю и по воздуху, были значительно ниже, чем предельные значения доз, первоначально использованных в моделях, из которых эти расстояния были определены. Кроме того, в соответствии с требованиями ИКАО (ICAO) [35] и ИАТА (IATA) [137], следует уделять внимание вариациям, связанным с конкретным государством, авиалинией и оператором, которые могут быть более ограничивающими, чем положения, содержащиеся в Правилах МАГАТЭ (п. 562.3 TS-G-1.1).

5.7.2-С3. Неизбежно вычисления разделяющих расстояний будут основаны на предположениях, которые могут отличиться от реальных параметров в конкретных обстоятельствах. Модели должны быть надежными и консервативными. Однако модели, использующие только «наихудшие» параметры, могут приводить к рекомендациям, влекущим за собой неоправданные практические трудности или финансовые затраты. То, что соблюдение предложенных разделительных расстояний приводит к приемлемо низким дозам, более важно, чем основа, на которой эти расстояния были рассчитаны. Тем не менее транспортные схемы подвергаются изменениям, и дозы следует держать под наблюдением (п. 562.5 TS-G-1.1).

5.7.2-С4. Не следует игнорировать преимущества простоты. Ясные и простые требования будут выполняться легче и с большей вероятностью, чем сложные и более жесткие. Хороший пример этого – упрощенная таблица разделительных расстояний из Кодекса МК МПОГ (IMDG) [136], дающая практические разделяющие расстояния для различных типов судов и перевод разделяющих расстояний из Технических инструкций ИКАО (ICAO) [35] в пределы ТИ для одного отсека (п. 562.6 TS-G-1.1).

5.7.2-С5. При расчете разделяющих расстояний для зон транзитного хранения следует принимать во внимание ТИ упаковок и максимальное время нахождения. Если есть какое-либо сомнение относительно эффективности разделяющего расстояния, можно проводить проверку, используя подходящие приборы для измерения уровней излучения (п. 562.7 TS-G-1.1).

5.7.2-С6. Если вместе перевозятся опасные грузы различных классов, возможно, что содержимое упаковки с протечкой может повлиять на соседний груз, например, утечка коррозионного материала может уменьшать эффективность системы герметизации упаковки с РМ. Таким образом, было обнаружено, что в некоторых случаях необходимо ограничивать классы опасных грузов, транспортируемые рядом с грузами других классов. В некоторых случаях может быть просто установлено, опасные товары каких классов должны быть отделены от других. Обнаружено, что для обеспечения полного и легкого понимания требований весьма полезно представление этой информации в краткой табличной форме. Как пример таблицы разделяющих расстояний, одна из них, входящая в часть 7 Кодекса МК МПОГ (IMDG) [136], приводится в табл. II (п. 562.8 TS-G-1.1).

5.7.2-С7. Поскольку почтовые мешки часто содержат непроявленную фотопленку и не идентифицируются соответствующим образом, разумно защищать почтовые мешки так же, как и непроявленную фотопленку (п. 562.9 TS-G-1.1).

5.7.2-С8. См. справку 5.1.14-С1 настоящего Руководства.

5.7.3-С1. См. справку 5.3.8-С1 настоящего Руководства.

5.7.3-С2. Требование выдерживать расстояние 6 м необходимо для контроля ядерной критичности. Там, где две зоны хранения разделены стеной, полом или аналогичной границей, хранение упаковок на противоположных сторонах разделяющей физической границы также должно удовлетворять требованию сохранения расстояния 6 м (п. 568.1 TS-G-1.1).

5.7.4-С1. См. справки 5.3.8-С1 и 5.7.3-С2 настоящего Руководства.

Таблица II

Пример разделения между классами опасных грузов (цитируется по п. 565.1 TS-G-1.1).
(Взято из Кодекса МК МПОГ (IMDG) [136])

КЛАСС		1.1 1.2 1.5	1.3 1.6	1.4	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9
Взрывчатые вещества	1.1 1.2 1.5	*	*	*	4	2	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	4	X
Взрывчатые вещества	1.3 1.6	*	*	*	4	2	2	4	3	3	4	4	4	2	4	2	2	X
Взрывчатые вещества	1.4	*	*	*	2	1	1	2	2	2	2	2	2	X	4	2	2	X
Горючие газы	2.1	4	4	2	X	X	X	2	1	2	X	2	2	X	4	2	1	X
Нетоксичные, негорючие газы	2.2	2	2	1	X	X	X	1	X	1	X	X	1	X	2	1	X	X
Токсичные газы	2.3	2	2	1	X	X	X	2	X	2	X	X	2	X	2	1	X	X
Горючие жидкости	3	4	4	2	2	1	2	X	X	2	1	2	2	X	3	2	X	X
Горючие твердые тела (включая самовоспламеняющиеся и связанные вещества и взрывчатые вещества пониженной чувствительности)	4.1	4	3	2	1	X	X	X	X	1	X	1	2	X	3	2	1	X

КЛАСС		1.1 1.2 1.5	1.3 1.6	1.4	2.1	2.2	2.3	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	6.2	7	8	9
Вещества, склонные к спонтанному возгоранию	4.2	4	3	2	2	1	2	2	1	X	1	2	2	1	3	2	1	X
Вещества, которые при контакте с водой выделяют горючие газы	4.3	4	4	2	X	X	X	1	X	1	X	2	2	X	2	2	1	X
Окислители (агенты)	5.1	4	4	2	2	X	X	2	1	2	2	X	2	1	3	1	2	X
Органические перекиси	5.2	4	4	2	2	1	2	2	2	2	2	2	X	1	3	2	2	X
Токсичные вещества	6.1	2	2	X	X	X	X	X	X	1	X	1	1	X	1	X	X	X
Инфицированные вещества	6.2	4	4	4	4	2	2	3	3	3	2	3	3	1	X	3	3	X
Радиоактивные материалы	7	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	X	3	X	2	X
Едкие вещества	8	4	2	2	1	X	X	X	1	1	1	2	2	X	3	2	X	X
Иные опасные вещества и изделия	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Числа и символы относятся к следующим терминам, как определено в разделе 7 Кодекса [136]
1 –"Вдали от"
2 –"Отдельно от"
3 –"Через целый отсеком или трюм от"
4 –"Продольно через целый отсек или трюм от"
X – Разделение, если оно нужно, показано в перечне опасных грузов Кодекса [136]
* – См. подраздел 7.2.7.2 Кодекса [136].

5.8. Перевозка порожних транспортных упаковочных комплектов

5.8.1-С1. Порожние упаковочные комплекты, ранее содержавшие РМ и имеющие вследствие этого радиоактивное загрязнение или остатки перевозимого РМ, могут перевозиться:

- либо как освобожденные упаковки без использования этикеток и других знаков радиационной опасности;
- либо, исходя из количества и характера радиоактивного загрязнения и остатков РМ, как упаковка соответствующего типа, соответствующей категории с этикетками и знаками радиационной опасности и выполнением других соответствующих требований.

Обычно загрязненный упаковочный комплект может быть отнесен к транспортной категории I.

5.8.1-С2. Полагается, что если упаковочный комплект использовался для перевозки РМ, то он отвечает общим требованиям к конструкции всех упаковочных комплектов, т.е. по конструкции отвечает требованиям к освобожденным упаковкам и упаковкам типа ПУ-1.

5.8.1-С3. Если порожняя упаковка совершенно не содержит РМ ее перевозка не подпадает под действие НП-053-04.

Нужно заметить, однако, что правила ИАТА требуют в сопроводительных документах указывать: "Радиоактивный материал. Освобожденная упаковка UN2909 или UN2908".

5.8.1-С4. Порожние упаковочные комплекты, которые когда-то содержали РМ, представляют собой малую опасность при условии, если они были тщательно очищены для снижения уровней нефиксированных загрязнений до значений, определенных в п. 5.3.11 НП-053-04, имеют уровень излучения от внешней поверхности ниже 5 мкЗв/ч, и находятся в хорошем состоянии, так что могут быть надежно повторно закрыты. При этих условиях порожние упаковочные комплекты могут перевозиться как освобожденные упаковки.

5.8.1-С5. Следующие примеры описывают ситуации, где положения пункта 5.8.1 не применимы:

(а) Порожний упаковочный комплект, который не может быть надежно закрыт из-за повреждения или других механических дефектов, может быть перевезен альтернативными средствами, соответствующими положениям Правил, например, в специальных условиях.

(б) Порожний упаковочный комплект, содержащий остатки радиоактивного материала, или внутренние загрязнения сверх пределов, установленных для нефиксированных загрязнений, в соответствии с п. 5.8.1(в) следует перевозить только в категории упаковок, которая соответствует количеству и форме остатка РМ и загрязнения.

5.8.1-С6. Определение остаточной внутренней активности РМ внутри "порожнего" упаковочного комплекта может быть трудной задачей. Дополнительно к прямому взятию мазков (обтиранию) могут быть использованы различные методы или их комбинации, включая:

- измерение общей активности;
- прямое измерение радионуклидов;
- подведение материального баланса, например, путем расчета разницы известной активности или массы содержимого заполненной упаковки и активности или массы удаленной при опорожнении упаковки.

Независимо от того, какой метод или комбинация методов были использованы, следует позаботиться о предотвращении ненужного и чрезмерного облучения персонала в процессе измерения. Особое внимание следует обращать на возможность высоких уровней излучения, когда система герметизации порожнего упаковочного комплекта открыта.

5.8.1-С7. См. п. (ж) справки 5.4.1-С1 настоящего Руководства. Дополнительную информацию см. также в справке 5.14.1-С6 настоящего Руководства.

5.8.3-С1. В некоторых случаях, например, при возврате пустых упаковок в упаковках типа В, может перевозиться активность до A_2, и в документации такая перевозка обозначается как перевозка упаковки типа А. Учитывая, что такие упаковки по сравнению с обычными упаковками типа А значительно прочнее, при этой перевозке не применяются требования к поглощающим материалам и первичной внутренней и вторичной наружной емкостям.

5.9. Требования к перевозке радиоактивных материалов автомобильным транспортом

5.9.2-С1. В данном пункте речь идет о возможности использования обычных транспортных средств, не являющихся специальными транспортными средствами, предназначенными для перевозки РМ.

5.9.2-С2. Ограничения на то, кому может быть разрешено присутствовать в машинах, перевозящих радиоактивные упаковки со значительным уровнем излучения, предназначены для предотвращения ненужного или неконтролируемого облучения людей (п. 573.1 TS-G-1.1).

5.9.2-С3. Термин "сопровождающее лицо" следует интерпретировать как работники, в чьи задачи на транспортном средстве входит забота как о самом транспортном средстве, так и о радиоактивном грузе. Этот термин, например, не может включать лиц из населения или пассажиров, которые находятся на транспортном средстве с целью путешествия. Однако термин может включать инспектора или специалиста по радиационной безопасности, присутствующего для выполнения своих обязанностей, или материально ответственного лица, выделенного для сдачи (приемки) груза (п. 573.2 TS-G-1.1).

5.9.2-С4. Транспортные средства следует загружать таким образом, чтобы сводить к минимуму уровни облучения в местах, занятых людьми. Этого можно достичь, помещая упаковки с более высокими уровнями излучения наиболее далеко от зоны, занятой людьми, а тяжелые упаковки с низкими уровнями излучения – ближе к этой зоне. В период загрузки и выгрузки время ручного обслуживания следует сводить к минимуму и предусматривать вспомогательные устройства, такие как сети или поддоны для увеличения расстояния от упаковки до тела. Следует предотвращать задержку персонала в зонах, где имеются значительные уровни излучения (п. 573.3 TS-G-1.1).

5.9.3-С1. С учетом дополнительного контроля при перевозках на условиях исключительного использования ТИ упаковки может быть более 10 и суммарный ТИ можно не ограничивать. На практике ограничение будет иметь место с точки зрения уровня излучения на поверхности и на расстоянии 2 м от транспортного средства.

5.9.3-С2. См. справки 5.3.4-С1 и 5.3.4-С2 настоящего Руководства.

5.9.4-С1. См. справки 7-С1 – 7-С8 настоящего Руководства по исключительному пользованию.

5.9.4.1-С1. В большинстве случаев уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки ограничен значением 2 мЗв/ч. Для автомобильного транспорта при исключительном использовании для упаковок и транспортных пакетов превышение предела 2 мЗв/ч разрешается, если доступ к закрытым областям транспортного средства ограничен. Ограничение может быть достигнуто путем использования закрытого транспортного средства, которое может запираться, а также применения крепящейся на болтах запертой клетки, огораживающей груз. В некоторых случаях открытый верх транспортного средства с боковыми стенками может быть накрыт брезентом, однако обычно это не может рассматриваться как мера, предотвращающая доступ (п. 572.2 TS-G-1.1).

5.9.4.1-С2. При выполнении транзитных операций не следует производить выгрузку или входить в закрытые для доступа зоны транспортного средства. Если транспортное средство на какое-либо время помещается на огороженную территорию перевозчика, его следует парковать в месте, доступ к которому контролируется и рядом с которым маловероятно нахождение людей в течение продолжительного периода. Если необходимо выполнение работ по обслуживанию на транспортном средстве в течение продолжительного периода, грузоотправителю или грузополучателю следует обеспечивать требуемую защиту от излучения, например, за счет дополнительной защиты и мониторинга излучения (п. 572.3 TS-G-1.1).

5.9.4.1-С3. Важно предохранять упаковку или транспортный пакет в период транспортирования от перемещения, которое может приводить к увеличению уровня излучения выше установленных пределов или к увеличению дозы для водителя. В случае использования автодорожного транспорта упаковку или транспортный пакет следует закреплять с учетом воздействия сил, возникающих в результате ускорения, торможения, поворотов, которые возможны в условиях нормальной перевозки (п. 572.4 TS-G-1.1).

5.9.4.1-С4. При определении мощности дозы для транспортного средства возможно учитывать дополнительную защиту внутри перевозочного средства. Тем не менее в период обычного транспортирования следует поддерживать целостность защиты, иначе могут возникать проблемы с соблюдением предельного значения уровня излучения для перевозочного средства (п. 572.5 TS-G-1.1).

5.9.4.1-С5. Условия перевозки, в соответствии с которыми никакая загрузка или разгрузка не допускается в течение перевозки, не препятствуют перевозчику, собирающему грузы от одного или более источников, принимать на себя роль и ответственность грузоотправителя комбинированного груза и быть, таким образом, назначенным (грузоотправителем) для соответствующей перевозки в условиях исключительного пользования (п. 572.6 TS-G-1.1).

5.9.5-С1. См. справки 5.9.2-С2 и 5.9.2-С3 настоящего Руководства.

5.9.6-С1. См. справки 5.14.1-С1 – 5.14.1-С4 настоящего Руководства.

5.9.7-С1. См. справки 5.1.13-С1 – 5.1.13-С3 настоящего Руководства по размещению и креплению груза.

5.9.7-С2. В Правила не включено положение, касающееся уровня излучения во всех нормально занятых людьми зонах автодорожного транспортного средства. Это положение было, например, в Правилах МАГАТЭ более ранних изданий. Сейчас оно заменено введением концепции

программ радиационной защиты, одной из задач которой и является регулирование на уровне предприятия в целях ограничения доз облучения ниже пределов, установленных нормами радиационной безопасности.

5.9.9-С1. Предупредительные знаки, использующиеся на больших грузовых контейнерах и резервуарах, а также на автотранспортных средствах, разработаны в некотором отношении подобно этикеткам на упаковках (хотя они не несут подробную информацию о ТИ, содержимом и активности) для ясного идентифицирования угрозы опасных грузов. Размещение предупредительных знаков со всех четырех сторон грузовых контейнеров и резервуаров обеспечивает их распознавание со всех сторон. Размер предупредительного знака следует делать таким, чтобы он легко читался даже на расстоянии.

5.9.9-С2. Изображение номера ООН может обеспечивать информацию о типе перевозимого РМ, включая сведения о том, делящийся это материал или нет, и информацию о типе упаковки. Эта информация важна в случае инцидентов или аварий, приводящих к утечке РМ, тем, что помогает лицам, ответственным за аварийное реагирование, определять надлежащие противоаварийные действия.

5.9.10-С1. Для внутренних перевозок РМ по территории России (т. е., не экспортно-импортных или транзитных перевозок через российскую территорию) действуют российские правила перевозки опасных грузов на соответствующих видах транспорта или международные правила, если они приняты в России для таких перевозок.

5.9.10-С2. Помимо Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, дополнительные ограничения и требования могут быть введены санитарными или санитарно-гигиеническими правилами, регламентирующими перевозки РМ. Перевозку РМ регламентируют Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.9.10-С3. Международные перевозки автомобильным транспортом по территории России регламентируются Европейским соглашением о дорожной перевозке опасных грузов в международном сообщении (ADR), к которому приложены Правила перевозок опасных грузов (ДОПОГ). Документ принят в России соответствующим постановлением правительства и обновляется под эгидой Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН.

5.10. Требования к перевозке радиоактивных материалов железнодорожным транспортом

5.10.2-С1. Возможный вид отправки радиационного груза зависит от массы отправляемой партии груза и ее ТИ.

При достаточном размере партии радиационный груз может быть отправлен повагонной отправкой (понятие, принятое на железнодорожном транспорте, практически эквивалентное понятию "исключительное использование"). Независимо от массы, повагонными отправками должны перевозиться упаковки, требующие перевозки на условиях исключительного использования, а также группы упаковок любой категории, сумма ТИ которых выше 50.

Мелкими отправками принимаются упаковки с РМ массой не более 500 кг в одном месте. Упаковки с большей массой могут быть приняты к перевозке с согласия начальников железнодорожных станций отправления и назначения груза.

Упаковки с РМ, следующие в один адрес, грузоотправитель обязан предъявлять к перевозке в пакетированном виде в соответствии с требованиями правил перевозок грузов в транспортных пакетах. Масса пакета, отправляемого мелкой отправкой, не должна превышать 1 т.

Учитывая частые случаи задержек грузовых составов, упаковки с короткоживущими нуклидами (с периодом полураспада до 15 сут) рекомендуется отправлять только в скорых пассажирских поездах.

Это же условие Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам относят к упаковкам, требующим соблюдения определенного температурного режима. Такое правило, однако, в общем виде неприемлемо. Возможность, условия и способ перевозки таких упаковок должны в каждом отдельном случае определяться грузоотправителем по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области железнодорожного транспорта в зависимости от характеристик груза, условий и возможностей соблюдения установленного температурного режима во время перевозки.

К перевозке грузобагажом в почтово-багажных и пассажирских поездах радиационные упаковки принимаются при соблюдении следующих условий:

- перевозка осуществляется без перегрузки в пути следования;
- количество одновременно перевозимых в багажном вагоне упаковок категории «I-БЕЛАЯ» не ограничивается;
- общее количество упаковок категорий «II-ЖЕЛТАЯ» и «III-ЖЕЛТАЯ» таково, что сумма ТИ не превышает 10;

- мощность эквивалентной дозы излучения в местах постоянного пребывания работников в багажном вагоне не превышает 0,01 мЗв/ч;
- максимальная масса одной упаковки не более 165 кг при погрузке и выгрузке средствами грузоотправителя и грузополучателя механизированным способом, и не более 50 кг при ручной погрузке;
- минимальная масса брутто одной упаковки 10 кг, а размер не менее 0,2×0,2×0,2 м; один из минимальных наружных размеров упаковки не должен быть менее 0,1 м;
- в исключительных случаях по разрешению начальника железнодорожной станции может быть принята к перевозке упаковка массой 5 кг и выше и массой, меньшей, чем 5 кг, – при перевозке соединений, "меченых" радиоактивными веществами, или медицинских препаратов;
- отправки массой более 50 кг принимаются к перевозке при условии, что на станции назначения пассажирский поезд имеет стоянку не менее 5 мин;
- грузополучатель обязан явиться за прибывшим в его адрес радиационным грузом к приходу пассажирского поезда.

Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам предусматривают, что перевозка радиационных упаковок должна осуществляться только в закрытых транспортных средствах – крытых вагонах и контейнерах.

При включении в состав грузового поезда вагона с радиационными упаковками этот вагон прикрывается не менее чем одним вагоном (порожним или с неопасным грузом) от пассажирских вагонов, грузовых вагонов с людьми, вагонов, имеющих тормозную площадку, и вагонов с другими опасными грузами.

5.10.7-С1. Речь идет о нормированных в правилах уровнях излучения, а также о возможном наличии на поверхностях вагонов снимаемого загрязнения.

5.10.9-С1. Знаки опасности наносятся на обе боковые стенки вагона с РМ.

5.10.9-С2. Сопровождающий персонал, обязательно выделяемый для сопровождения грузов РМ в вагонах, на которых не устанавливаются знаки (радиационной опасности), фактически должен обеспечивать функции, возлагаемые на такие знаки, а именно предупреждение о потенциальной опасности и недопущение нахождения посторонних лиц вблизи вагона.

Этот персонал должен предупреждать о потенциальной опасности транспортных рабочих, обслуживающих вагоны, и обеспечивать, чтобы они без необходимости не находились вблизи вагонов с грузом РМ.

Соответствующие положения и указания должны содержаться в программе радиационной защиты и инструкциях сопровождающего персонала.

5.10.11-С1. Грузоотправитель (грузополучатель) ставится в известность о неисправности вагона и необходимости перегрузки груза специалистом, сопровождающим груз, начальником железнодорожной станции, или соответствующим органом федерального органа исполнительной власти, которому подведомствен конкретный грузоотправитель (грузополучатель).

Передача такой информации осуществляется в соответствии с порядком, установленным нормативными документами.

5.10.13.2-С1. Запрет роспуска с горки вагонов с некоторыми опасными грузами (в том числе и с ядерными материалами) или маневров толчками с такими вагонами обусловлен необходимостью снижения рисков соударения таких вагонов с другими вагонами с превышением допускаемых скоростей соударения, которые не должны быть выше 5 км/ч.

5.11. Требования к перевозке радиоактивных материалов на судах морского и речного флота

5.11.2-С1. В случае морского транспорта длительность перевозки может составлять от нескольких недель до нескольких месяцев, а необходимость в постоянной штатной проверке в течение всей перевозки может приводить к значительному облучению за время перевозки РМ. Полагается, что просто исключительное использование трюма, отсека или обозначенной части палубы, особенно последнее, не обеспечивает достаточный радиационный контроль за упаковками с высокими уровнями излучения. Поэтому для упаковок, имеющих уровень поверхностного излучения больше чем 2 мЗв/ч, были введены дополнительные ограничения. Перевозить морем любую упаковку, имеющую уровень поверхностного излучения, превышающий 2 мЗв/ч, необходимо производить в специальных условиях, за исключением тех случаев, когда упаковки размещены на или в вагоне или автотранспортном средстве, находящемся в условиях исключительного использования. Кроме этого, доступ и уровни излучения при этом контролируются положениями п. 5.9.4 НП-053-04 (п. 572 Правил МАГАТЭ-96) для вагонов или автотранспортных средств или элементами контроля, соответствующими конкретным обстоятельствам и предписанными компетентным органом при определении специальных условий (п. 574.1 TS-G-1.1).

5.11.2-C2. Однако в последнем случае для радиационной защиты может быть желательным, чтобы специальная площадь для размещения вагона или автотранспортного средства была выделена капитаном судна или распоряжением заинтересованного компетентного органа. Это было бы подходящим при перевозке таких транспортных средств на борту ройлерных судов, таких как паромы. Дополнительные руководства можно найти в Кодексе МК МПОГ (IMDG) (п. 574.2 TS-G-1.1).

5.11.2-C3. См. справку 5.11.9-C1 настоящего Руководства.

5.11.3-C1. Простой контроль за накоплением упаковок как средство ограничения радиационного облучения согласно п. 5.3.7 НП-053-04 (п. 566 Правил МАГАТЭ-96), может не подходить для судов, специально предназначенных для перевозки РМ. Поскольку судно само по себе может перевозить грузы более, чем от одного грузоотправителя, перевозку на нем нельзя считать условиями исключительного использования, и требования табл. 5.2 и 5.3 НП-053-04 могут быть излишне ограничивающими (п. 575.1 TS-G-1.1).

5.11.3-C2. Имеются в виду суда, спроектированные или переоборудованные специально для перевозки только РМ.

Требуемую программу радиационной защиты для такого судна следует основывать на предварительно запланированном размещении, специфичном для судна и для количества и природы упаковок, которые нужно перевозить. В программе радиационной защиты следует учитывать природу и интенсивность излучения, вероятные для упаковок; факторы аренды, основанные на запланированной максимальной длительности рейсов, также следует принимать во внимание. Эту информацию следует использовать для определения мест размещения по отношению к нормально занятым рабочим местам и жилым зонам, чтобы обеспечивать адекватную защиту людей от излучения. Компетентные органы (обычно компетентный орган государства, под чьим флагом ходит судно) могут определять максимально допустимое количество упаковок, их идентичность и содержимое, точное размещение, которые следует контролировать, и максимальные уровни облучения, допустимые в ключевых позициях. Программа радиационной защиты обычно включает требование относительно проведения соответствующего мониторинга в процессе и после завершения размещения, что необходимо для гарантии того, что установленные дозы или мощности доз не превышены. Детали результатов такого исследования, включая любые проверки загрязнения упаковок и грузовых мест, следует предоставлять компетентному органу по запросу (п. 575.2 TS-G-1.1).

5.11.3-C3. Для упаковок, содержащих делящийся материал, в программе радиационной защиты следует учитывать необходимость контроля ядерной критичности (п. 575.3 TS-G-1.1).

5.11.3-C4. Хотя и не в качестве части программы радиационной защиты, следует предусматривать ограничения по размещению, связанные с тепловыделением каждой упаковки. Для этих целей следует оценивать отвод тепла естественным путем и за счет механических средств и, если необходимо, определять тепловыделение от каждой упаковки (п. 575.4 TS-G-1.1).

5.11.3-C5. Необходимость одобрения программы радиационной защиты компетентным органом страны каждого из портов захода регламентируется законодательством этих стран. С вопросами о процедуре получения одобрения программы радиационной защиты следует обращаться в компетентный орган данной страны.

5.11.3-C6. Записи измерений, проведенных в течение каждого рейса, необходимо предоставлять компетентному органу по запросу. Это один из методов обеспечения того, чтобы программа радиационной защиты и все другие элементы контроля функционировали нормально (п. 575.5 TS-G-1.1).

5.11.3-C7. Следует привлекать "лиц, квалифицированных в области перевозки радиоактивных материалов", т.е. лиц, обладающих соответствующими специальными знаниями обращения с РМ (п. 575.6 TS-G-1.1).

5.11.3-C8. Судно само по себе может перевозить грузы более чем от одного грузоотправителя.

5.11.3-C9. Грузоотправителям и перевозчикам облученного ядерного топлива, плутония или высокоактивных отходов, желающим перевозить эти материалы морем, рекомендуется найти Код безопасной перевозки облученного ядерного топлива, плутония и высокоактивных радиоактивных отходов в контейнерах на борту судов (Код INF), как дополнение к Кодексу МКМПОГ (IMDG). Этот кодекс относит суда, перевозящие такие материалы, к одному из трех классов, в зависимости от общей активности РМ, который может перевозиться, и формулирует требования для каждого класса относительно устойчивости к повреждениям, противопожарной защиты, температурного контроля грузового пространства, конструктивных соображений, безопасного размещения груза, снабжения электричеством, оборудования радиационной защиты а также управления, обучения и корабельных противоаварийных планов (п. 575.7 TS-G-1.1).

5.11.4-C1. Запрет на размещение между грузами с делящимися материалами других грузов связан с мерами ядерной безопасности. Хотя это и крайне маловероятно, но другие грузы могут иметь характеристики замедления нейтронов более эффективные, чем у воды, наличие которой между упаковками принимается в расчетах ядерной безопасности.

5.11.9-C1. Дополнительные требования могут быть введены санитарными или санитарно-

гигиеническими правилами, регламентирующими перевозки РМ. Перевозку радиоактивных материалов регламентируют Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.11.11-С1. Дополнительные требования к регламентации условий перевозки РМ на судах морского и речного транспорта могут быть введены Правилами морской перевозки опасных грузов (РД 31.15.01-89) и требованиями Кодекса МК МПОГ (IMDG).

5.12. Требования к перевозке радиоактивных материалов воздушным транспортом

5.12.2-С1. Ограничения и требования могут быть также введены санитарными или санитарно-гигиеническими правилами, регламентирующими перевозки РМ. Перевозку радиоактивных материалов (веществ) регламентируют Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.12.2-С2. Минимальные расстояния от РМ до мест постоянного пребывания экипажа определены в Технических инструкциях по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху (документ ИКАО, 9284-AN/905) [35]. Однако, при этом не могут быть нарушены требования санитарных или санитарно-гигиенических правил, в том числе, Санитарных правил по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03 в отношении мощности дозы излучения.

5.12.3-С1. Это требование распространяется и на багаж пассажиров, размещаемый в пассажирском салоне, и на багаж пассажиров в багажных отсеках.

5.12.3-С2. Естественно, требование не запрещает перевозку в багажных отсеках грузов (а не багажа пассажира) РМ, представленных грузоотправителем в установленном порядке, и не запрещает следования представителя грузоотправителя тем же самолетом.

5.12.4-С1. Это требование связано, скорее всего, с фактом присутствия или отсутствия пассажиров на борту самолета, чем с его возможностью перевозить пассажиров. Самолет, приспособленный для перевозки пассажиров, но не перевозящий никаких пассажиров в данном полете, может удовлетворять определению грузового самолета и т использоваться для перевозки упаковок типа В(М) и грузов на условиях исключительного использования (п. 576.1 TS-G-1.1).

5.12.5-С1. Специфические условия авиатранспорта могут приводить к повышенному уровню опасности, в случае использования типов упаковок, описанных в п. 5.12.5 НП-053-04 (п. 577 Правил МАГАТЭ-96). Это может быть обусловлено значительным снижением давления окружающего воздуха на высоте. Для некоторых воздушных судов это частично компенсируется системой герметизации, однако такая система никогда не полагается надежной на 100% (п. 577.1 TS-G-1.1).

5.12.5-С2. Если был разрешен сброс давления из упаковки, эта опасность будет значительно увеличиваться, так как внешнее давление уменьшено, и трудно обеспечивать в конструкции упаковки, чтобы это происходило безопасно. Обеспечение вспомогательного охлаждения и функционирование других систем контроля для самолета при нормальных и аварийных условиях гарантировать сложно (п. 577.2 TS-G-1.1).

5.12.5-С3. Любой жидкий самовоспламеняющийся материал вносит особую опасность в полет самолета, и поэтому для таких материалов устанавливаются серьезные ограничения. Если РМ, создающий дополнительный риск самовоспламенения, является одновременно жидкостью, то, учитывая большой риск разлива, он запрещен для транспортирования по воздуху (п. 577.3 TS-G-1.1).

5.12.6-С1. Требование пункта относится к перевозчикам, а не к грузоотправителям. Однако при перевозке РМ с коротким периодом полураспада соответствующее требование может быть оговорено грузоотправителем с перевозчиком (см., например, п. 5.12.16 НП-053-04.

5.12.7-С1. Воздушное судно следует загружать таким образом, чтобы сводить к минимуму уровни облучения в местах, занятых людьми. Этого можно достичь, помещая упаковки с более высокими уровнями излучения наиболее далеко от зоны, занятой людьми, а тяжелые упаковки с низкими уровнями излучения – ближе к этой зоне.

5.12.7-С2. Выбирая минимальные расстояния, определенные в Технических инструкциях по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху (документ ИКАО, 9284-AN/905) [35], также следует убедиться, что не будут нарушены требования санитарных или санитарно-гигиенических правил, в том числе Санитарных правил по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03 в отношении мощности дозы излучения.

5.12.10-С1. Это требование является общим при перевозке любых грузов авиатранспортом.

5.12.12-С1. Данное требование обусловлено тем, что не всегда грузовые отсеки воздушных судов герметичны. В зависимости от высоты полета значения давления и температуры в негерметизированных грузовых отсеках могут выйти за допустимые пределы для перевозимых упаковок.

5.12.16-С1. Требование пункта не освобождает от необходимости оформления других транспортных документов с приведением в них информации, не указываемой в грузовой накладной, согласно п. 5.14.1 НП-053-04.

5.12.17-С1. Обоснования, условия и порядок реализации выполнения соответствующих положений при перевозке, вытекающие из требований данного пункта, могут быть предметом программы радиационной защиты (см. п. 5.1.18 НП-053-04).

5.12.20.1-С1. Для сопровождения следует привлекать "лиц, квалифицированных в области перевозки радиоактивных материалов", т.е. лиц, обладающих соответствующими специальными знаниями обращения с РМ.

5.12.20.2-С1. Действовавшие ранее для перевозки ЯМ правила ОПБЗ-83 не распространялись на перевозки ядерных материалов воздушным транспортом. Поэтому для таких перевозок было разработано ПВП ЯДМ-93. В соответствии с этим положением для конкретных перевозок ЯДМ разрабатывались специальные требования к перевозке.

В настоящее время, согласно НП-053-04, разработка таких требований не требуется, а необходим план мероприятий по предупреждению аварий и ликвидации их последствий, согласованный в указанном в пункте порядке.

5.12.21-С1. Дополнительные требования могут быть введены санитарными или санитарно-гигиеническими правилами, регламентирующими перевозки РМ. Перевозку радиоактивных материалов регламентируют Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.12.21-С2. Дополнительные требования по регламентации условий перевозки радиоактивных материалов на воздушных судах могут быть введены в Технических инструкциях ИКАО (документ ИКАО, 9284-AN/905) [35].

5.13. Требования к перевозке радиоактивных материалов предприятиями почтовой связи

5.13.1-С1. Возможность и условия пересылки РМ предприятиями почтовой связи регламентируются санитарными правилами при транспортировании радиоактивных материалов. Перевозку РМ регламентируют Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.13.1-С2. Допускается пересылка почтовыми посылками медицинских препаратов, калибровочных источников и проб (образцов) материалов, содержащих РВ активностью не более величин, приведенных в Санитарных правилах по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

5.14. Особенности оформления транспортных документов при перевозке радиоактивных материалов

5.14.1-С1. Перечень информации, предоставляемой грузоотправителем, предназначен для информирования перевозчика, грузополучателя и другие заинтересованные стороны относительно точной природы груза с тем, чтобы могли быть предприняты все необходимые действия. При подготовке этой информации грузоотправитель также получает напоминание об основных нормативных требованиях, применимых к грузу в ходе его подготовки к перевозке и при отправке (п. 549.1 TS-G-1.1).

5.14.1-С2. Требуется, чтобы каждая упаковка или партия упаковок была обеспечена соответствующей документацией. Это важно для Декларации грузоотправителя. Никто, кроме грузоотправителя не может сделать это заверение, и таким образом, требуется обеспечение им подготовки соответствующих документов для всех частей смешанного груза так, чтобы их доставка могла продолжаться после того, как они будут извлечены из транспортного пакета или грузового контейнера (п. 549.3 TS-G-1.1).

5.14.1-С3. Требуется, чтобы максимальная активность содержимого во время перевозки была указана в транспортных документах. В некоторых случаях активность может возрастать в результате накопления дочерних нуклидов в ходе перевозки. В таких случаях следует проводить соответствующую коррекцию для определения максимальной активности (п. 549.6 TS-G-1.1).

5.14.1-С4. Необходимо, чтобы для материалов НУА-II и НУА-III и для ОПРЗ-I и ОПРЗ-II, была показана общая активность, как кратная к A_2. Для ОПРЗ-I и ОПРЗ-II активность следует вычислять из поверхностного загрязнения и площади поверхности. В случае, если нуклиды не могут быть идентифицированы, для расчета общей активности следует использовать минимальное значение A_2 из возможных для альфа-нуклидов и бета-гамма-нуклидов (п. 549.8 TS-G-1.1).

5.14.1-С5. См. справку 5.4.1-С1 настоящего Руководства.

5.14.1-С6. Рекомендации относительно идентификации наиболее ограничивающих нуклидов приведены в справке 5.4.10-С1 настоящего Руководства. Соответствующие общие описания

могут включать, если это имеет значение, облученное (или отработавшее) ядерное топливо или конкретные типы радиоактивных отходов (п. 549.7 TS-G-1.1).

5.14.2-С1. Ограничение информации, заносимой в грузовые накладные, определяется тем, что более детальная информация, требуемая согласно п. 5.14.1 НП-053-04, просто не поместится в отведенных полях существующих форм грузовых накладных.

5.14.2-С2. См. справку 5.12.16-С1 настоящего Руководства.

5.14.3-С1. Если в отношении инструкций грузоотправителю допускается иметь обычные копии документа, то в отношении сертификатов должны быть оригиналы сертификатов или копии, заверенные ГКО, либо экспертной организацией, оформляющей сертификат-разрешение по поручению ГКО.

6. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

6.1-С1. Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при всех видах обращения с РМ при транспортировании, с отгрузки их грузоотправителем до получения грузополучателем. устанавливают санитарные правила при транспортировании РМ, в том числе Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03.

6.2-С1. Программа радиационного контроля разрабатывается в соответствии с санитарными правилами при транспортировании, в том числе Санитарными правилами по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). СанПиН 2.6.1.1281-03, и может включаться в Программу радиационной защиты, разрабатываемую грузоотправителем (грузополучателем) в соответствии с требованиями п. 5.1.18 НП-053-04.

7. МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ АВАРИЯХ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7-С1. НП-053-04 в достаточно кратком виде дают основные положения по мероприятиям, которые должны быть выполняться при подготовке и проведении работ в случае аварий при перевозке РМ.

7-С2. В отличие от других требований НП-053-04, в частности, требований к конструкциям упаковок или к перевозкам, которые являются самодостаточными и практически не требуют детализации в других нормативных документах, многие требования к аварийным мероприятиям детализируются или должны детализироваться в других нормативных и организационно-распорядительных документах общей системы аварийного реагирования в области использования атомной энергии, и(или) в документах системы аварийного реагирования при транспортировании РМ.

7-С3. С другой стороны, основные требования и положения по аварийному реагированию, приведенные в НП-053-04, должны адекватно отражаться и учитываться в других нормативных и организационно-распорядительных документах системы аварийного реагирования как на уровне Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [138], так и на уровне функциональной подсистемы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Росатома [139].

7-С4. Подробные рекомендации по планированию и осуществлению мероприятий в случае аварий при перевозке РМ представлены в руководстве МАГАТЭ TS-G-1.2 [140].

7.1. *Общие положения и требования*

7.1.1-С1. Неисправности и поломки транспортных средств, не вызывающие воздействия на груз, т. е. не изменяющие его радиационные характеристики, не являются аварией (радиационной аварией) в понятиях, принятых в области радиационной безопасности согласно нормативным документам, например, НРБ-99 [1]. Тем не менее, ремонтные работы с таким поврежденным транспортным средством следует проводить с соблюдением установленных требований к обеспечению радиационной безопасности. В частности, должен быть установлен соответствующий уровень радиационного контроля при таких работах согласно общим положениям раздела 1 НП-053-04.

7.1.1-С2. Для проведения радиационного контроля и обеспечения радиационной безопасности ремонтных работ грузоотправитель должен заранее проводить оценки возможных доз для ремонтных рабочих и отражать их в общих положениях по таким работам в аварийных инструкциях (планах) и в программе радиационной защиты.

7.1.2-С1. Данное положение не ограничивает перечень организаций, принимающих участие в работах по аварийному реагированию при перевозках РМ, куда входят подразделения МЧС России, транспортные организации, медицинские и другие организации. Однако мероприятия по локализации и устранению самого радиационного фактора при таких авариях возлагается на АСФ аварийно-технических центров.

7.1.2-С2. Для привлечения АСФ к аварийным работам грузоотправители должны заключать необходимые договоры с такими АСФ и обеспечивать их соответствующей информацией о перевозках грузов РМ данного грузоотправителя.

7.1.3-С1. Аварийные карточки служат основным документом первичного реагирования в случае аварий на транспорте с грузами РМ, которыми должны руководствоваться пожарные формирования, транспортные и медицинские работники, представители местных органов власти, включая органы внутренних дел. Все эти работники могут не быть специально подготовленными в области радиационной безопасности, но именно они могут первыми оказаться на месте аварии.

7.1.3-С2. Очевидно, что орган, ответственный за утверждение аварийных карточек должен обеспечивать, чтобы эти карточки имелись у их потенциальных пользователей (см. справку 7.1.3-С1 настоящего Руководства).

7.1.3-С3. Очевидно, что организация первичных аварийных работ в случае аварии с грузом РМ может отличаться на различных видах транспорта. Поэтому при необходимости ответственный орган управления должен предусматривать аварийные карточки для различных видов транспорта.

7.1.3-С4. Наличие аварийных карточек должно быть одним из условий получения сертификатов-разрешений на перевозку груза РМ.

7.1.4-С1. Грузоотправитель отвечает за радиационные последствия перевозок РМ и соответственно за радиационные последствия в случае аварии с грузом РМ, в том числе и в финансовом отношении. Поэтому требование о наличии плана организации работ по ликвидации последствий аварий – это инструмент, необходимый для самого грузоотправителя, который должен обеспечивать уменьшение последствий аварий.

7.1.4-С2. Правила не устанавливают конкретных требований к плану организации работ по ликвидации последствий аварий при перевозке РМ. Очевидно, они должны вписываться в общую систему реагирования на чрезвычайные ситуации РСЧС и ОСЧС. Конкретные рекомендации по содержанию планов могут быть получены от ГКО и других органов, согласовывающих такие планы, а также из документа МАГАТЭ TS-G-1.2 [140].

7.1.5-С1. Правила не устанавливают конкретные требования к системе контроля за следованием грузов РМ, включая периодичность контроля. Очевидно, что такой контроль и его периодичность зависят как от степени потенциальной опасности груза РМ, так и от условий перевозки. Основная задача такого контроля, как следует из пункта, является обеспечение своевременного принятия аварийных мер.

7.1.5-С2. Простейший пример контроля за следованием — оповещение об отправке и приемке груза РМ в конечных пунктах.

7.1.5-С3. Описание системы контроля за следованием грузов РМ, используемой участниками перевозки, должно быть представлено в заявке на получение сертификата-разрешения на перевозку.

7.2. Классификация аварий и основные требования к мероприятиям в случае аварии

7.2.1-С1. Представленная в правилах классификация аварий на три категории ранее была использована в ОПБЗ-83 [65]. Данная классификация применяется именно для первичного определения степени опасности аварии и принятия первоочередных мер. Классификация аварий для информирования общественности осуществляется в соответствии со шкалой ИНЕС [141].

7.2.1.1-С1. Радиационная опасность при авариях категории I не превышает уровней, допустимых для нормальных условий перевозки.

7.2.1.2-С1. Исходя из положений данного пункта, максимальная степень аварии для освобожденных, промышленных и упаковок типа А – это аварии категории II, поскольку для таких упаковок имеется серьезное ограничение радиоактивного содержимого. Для упаковок типа В и типа С радиационная опасность при авариях такой категории не превышает допустимых уровней для аварийных условий согласно Правилам. В нормативной документации уровень таких аварий часто называется проектным, а аварии – проектными.

7.2.1.3-С1. Аварии категории III возможны только для упаковок типа В, типа С и упаковок с делящимися материалами. Теоретически последствия таких аварий могут иметь самый серьезный катастрофический характер. Однако и проведенные многочисленные оценки риска самых серьезных аварийных условий на транспорте, и анализ поведения упаковок в запроектных авариях показывают, что вероятность таких аварий крайне мала (менее 10^{-6} в год). В мировой практике аварий с такими последствиями не было зафиксировано.

7.2.2-С1. Сопровождающий персонал, если при аварии он остался дееспособным, очевидно, до прибытия представителей грузоотправителя и (или) АСФ является наиболее подготовлен в области радиационной безопасности для принятия необходимых действий и руководства первичными работами по ликвидации последствий аварии. С этой целью он должен

быть соответствующим образом подготовлен и оснащен (документами, оборудованием, инструментами – по мере необходимости).

7.2.2-С2. Сопровождающий персонал при аварийных работах действует по имеющимся у него инструкциям, учитывающим конкретные радиационные, прочностные и другие характеристики конкретного груза. Аварийная карточка в этих целях ему может и не понадобиться. Однако, учитывая, что действия других лиц, первыми оказавшимися на месте аварии, регулируются аварийной карточкой, инструкции сопровождающего персонала должны быть скоординированы с аварийными карточками и не противоречить им.

7.2.2-С3. Если сопровождающий персонал в результате аварии оказался недееспособным, первичные работы выполняются по аварийным карточкам другими официальными лицами, оказавшимися на месте аварии. Эти лица обычно не имеют специальной подготовки в радиационной области. Учитывая крайне малую вероятность аварий, такое специальное обучение и не целесообразно, исходя из принципов оптимизации. Поэтому в аварийных карточках должны иметь указания в общепринятых понятиях и терминах.

7.2.2-С4. Точное отнесение по степени опасности аварии к конкретной категории персоналом, не имеющим специальной подготовки, может вызывать большие затруднения, в том числе из-за психологического фактора боязни совершить ошибку. Вполне достаточным было бы качественное определение степени опасности состояния груза РМ в общепринятых понятиях (нахождение в пожаре, незначительное повреждение, разрушение, нахождение вне транспортного средства и т.п.). При информировании об этом категория степени опасности аварии определяется специальным АСФ и сообщающим совместно посредством уточняющих вопросов и ответов.

7.2.3-С1. Учитывая специальную подготовку сопровождающего персонала, наличие у него специальных инструкций на случай аварии и незначительную опасность груза РМ при аварии категории I, вполне достаточен его уровень принятия решения о дальнейшей перевозке после такой аварии. Безусловно, если сопровождающий персонал имеет какие-то сомнения в категорировании степени опасности аварии, он может классифицировать ее более высокой категорией с соответствующими последующими действиями.

7.2.5-С1. Выполнение действий по спасению людей, жизнь которых подвергается опасности, оказание первой медицинской помощи и тушение пожара (при наличии) являются первоочередными действиями. При этом радиационные факторы не должны учитываться, по крайней мере их учет не должен препятствовать или задерживать такие первоочередные действия. Подобный подход основан и на крайне малой вероятности значительных радиационных последствий аварий и практической невозможности детерминированных эффектов при таких авариях. Указание о таких первоочередных действиях должны быть особо подчеркнуты в аварийных карточках, инструкциях сопровождающих и других документах. См. также [140].

7.2.5-С2. Указанные в пункте работы целесообразно приводить в аварийной карточке.

7.2.6-С1. Телефоны или другие адреса, по которым должно быть проведено оповещение, должны быть указаны в инструкциях сопровождающего персонала. При этом достаточно, если в первую очередь сопровождающий персонал оповестил одну–две организации, которые должны оповестить всех остальных. То же самое касается и оповещения работниками транспортных организаций. Конкретные схемы и адреса оповещения должны быть приведены в планах реагирования на аварии при перевозках РМ различных организаций.

7.2.7-С1. Основная организационная специфика проведения аварийных работ с грузами РМ – осуществление работы непосредственно с грузами РМ (их перемещение и др.) только специально подготовленным персоналом или по его указаниям. В то же время такие указания могут быть даны и по средствам связи при отсутствии специального персонала на месте аварии.

7.2.9-С1. В соответствии с действующим законодательством ответственность (в том числе за финансовое обеспечение работ) за ликвидацию последствий радиационной аварии несет грузоотправитель того груза РМ, с которым произошла авария.

7.3. Дополнительные требования к мероприятиям на случай аварии при перевозке водным транспортом

7.3.1-С1. Учитывая, что организация аварийных работ на судне осуществляется по инструкциям перевозчика (см. п. 7.3.3 НП-053-04) аварийная карточка, предъявляемая капитану или представителю порта, может носить общий характер и не учитывать специфику условий перевозки на судне. Важно указывать опасные свойства груза и обращение с ним.

7.3.3-С1. Для разработки аварийной инструкции перевозчика от грузоотправителя могут потребоваться дополнительные (по сравнению с аварийной карточкой) сведения о характеристиках груза РМ и обращении с ним при авариях. С этой целью может возникнуть необходимость в отдельной специальной аварийной карточке. В любом случае целесообразно тесное взаимодействие перевозчика и грузоотправителя при разработке документов перевозчика по действиям в случае аварии.

8. ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

8.3-С1. Требования, изложенные в данном пункте, носят в значительной степени общий качественный характер. Конкретные требования к обеспечению физической защиты при перевозке РМ, не подпадающих под требования п. 8.2 Правил НП-053-04 должны быть разработаны в дальнейшем.

8.3-С2. До разработки специальных требований по обеспечению физической защиты РМ могут применяться требования и положения по физической защите (сохранности), представленные в документах МАГАТЭ [142], [143], [144].

8.3-С3. Одно из основных условий обеспечения физической защиты при перевозках РМ – условие, при котором не будут нарушены требования или будет создано препятствие для выполнения требований обеспечения ядерной и радиационной безопасности перевозок таких РМ, изложенных в других разделах Правил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1. 758 – 99. – СПб., Минздрав России, 1999.
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799-99. – М., Минздрав России, 2000.
3. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности № 115.: Пер. с англ. – МАГАТЭ, Вена, 1997.
4. AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, American National Standard for Nuclear Criticality Control of Special Actinide Elements, ANSI/ANS-8.15-1981 (reaffirmed 1987), ANS, New York (1981).
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Interim Guidance for the Safe Transport of Reprocessed Uranium, IAEA-TECDOC-750, IAEA, Vienna (1994).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERTRAN: A System for Assessing the Impact from Transporting Radioactive Material, IAEA-TECDOC-287, IAEA, Vienna (1983).
7. Transportation Risk Assessment Package. Users Guide. IAEA. 2004.
8. Transportation Risk Assessment Package. Training Course. IAEA. 2004.
9. EUROPEAN COMMISSION, Principles and Methods for Establishing Concentrations (Exemption Values) below which Reporting is not Required in the European Directive, Radiation Protection Report No.65, EC, Brussels (1993).
10. FRANCOIS, P., et al., "The application of exemption values to the transport of radioactive materials", IRPA 9 (Proc. 9th IRPA Int. Congr. Vienna, 1996), Vol. 4, IRPA, Vienna (1996) 674.
11. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов: Требования. Серия норм по безопасности № ST-1.: Пер. с англ. – Вена: МАГАТЭ, 2000.
12. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Series No. 112, IAEA, Vienna (1994).
13. WILSON, C.K., SHAW, K.B., GELDER, R., "Towards the implementation of ALARA in Transport", PATRAM 92 (Proc. Symp. Yokohama City, 1992), Science & Technology Agency, Tokyo (1992).
14. WILSON, C.K., The air transport of radioactive materials, Radiat. Prot. Dosim. **48** 1 (1993) 129–133.
15. WILSON, C.K., SHAW, K.B., GELDER, R., "Radiation doses arising from the sea transport of radioactive materials", PATRAM 89 (Proc. Symp. Washington, DC, 1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1989).
16. UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, INLAND TRANSPORT COMMITTEE, European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), 1997 edition, marginals 10315, 71315 and Appendix B4, UNECE, Geneva (1997).
    Европейская экономическая комиссия. Комитет по внутреннему транспорту. Проекты поправок к европейскому соглашению о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ). Поправки 10315, 71315 и Дополнение В.4. Нью-Йорк и Женева, 1996.
17. RIDDER, K., "The training of dangerous goods drivers in Europe", PATRAM 95 (Proc. Symp. Las Vegas, 1995), USDOE, Washington, DC (1995).
18. FAIRBAIRN, A., The development of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, At. Energ. Rev. 11 4 (1973) 843.

19. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Response Planning and Preparedness for Transport Accidents Involving Radioactive Material, Safety Series No.87, IAEA, Vienna (1988).
20. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Series No.113, IAEA, Vienna (1994).
21. UNITED NATIONS, Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Ninth Revised Edition, ST/SG/AC.10/1/Rev.9, UN, New York and Geneva (1995).
22. AMERSHAM INTERNATIONAL plc, in communication with the National Radiological Protection Board, provided inventory data of packages aboard conveyances (1986).
23. FINLEY, N.C., McCLURE, J.D., REARDON, P.C., WANGLER, M., "An analysis of the consequences of accidents involving shipments of multiple Type A radioactive material packages", PATRAM 89 (Proc. Symp. Washington, DC, 1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1989).
24. GELDER, R., MAIRS, J.H., SHAW, K.B., "Radiological impact of transport accidents and incidents in the UK over a twenty year period", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc. Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
25. MOHR, P.B., MOUNT, M.E., SCHWARTZ, M.E., "A highway accident involving radiopharmaceuticals near Brookhaven, Mississippi on December 3, 1983", Rep. UCRL 53587 (NUREG/CR 4035), US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1985).
26. HUBERT, P., et al., Specification of Test Criteria and Probabilistic Approach: The Case of Plutonium Air Transport Probabilistic Safety Assessment and Risk Management, PSA 87, Verlag TUV Rheinland, Cologne (1987).
27. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Packaging of Uranium Hexafluoride (UF6) for Transport, ISO 7195:1993(E), ISO, Geneva (1993).
28. UNITED STATES ENRICHMENT CORPORATION, Reference USEC-651, USEC, Washington, DC (1998).
29. GORDON, G., GREDINGH, R., Leach Test of Six 192-Iridium Pellets Based on the IAEA Special Form Test Procedures, AECB Rep. Info-0106, Atomic Energy Control Board, Ottawa (1981).
30. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection – Sealed Radioactive Sources – Leakage Test Methods, ISO 9978, ISO, Geneva (1992).
31. ASTON, D., BODIMEADE, A.H., HALL, E.G., TAYLOR, C.B.G., The Specification and Testing of Radioactive Sources Designated as 'Special Form' Under the IAEA Transport Regulations, CEC Study Contract XVII/322/80.6, Rep. EUR 8053, CEC, Luxembourg (1982).
32. COOKE, B., "Trunnions for Spent Fuel Element Shipping Casks", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 89 (Proc. Symp. Washington, DC, 1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1989).
33. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Special Lifting Devices for Shipping Containers Weighing 10 000 Pounds (4,500 kg) or More for Nuclear Materials, ANSI N14.6-1978, ANSI, New York (1978).
34. KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS, Lastanschlagpunkte in Kernkraftwerken, KTA 3905, KTA Geschaftsstelle, Bundesamt fur Strahlenschutz, Salzgitter (1999).
35. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, 1998–1999 edition, ICAO, Montreal (1996).
Международная организация гражданской авиации. Технические инструкции по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху. ИКАО, 2003-2004.
36. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Series 3 Tank Containers for Liquids and Gases – Specification and Testing, ISO 1496/3-1990, Part 3, ISO, Geneva (1990).
37. UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, INLAND TRANSPORT COMMITTEE, Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID), UNECE, Geneva (1995).
38. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Series 1 Freight Containers – Specifications and Testing – Part 1: General Cargo Containers, ISO 1496:1–1990(E), ISO, Geneva (1990).
39. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Convention for Safe Containers, IMO, London (1984).
40. MALLET, A.J., ORGDP Container Test And Development Programme: Fire Tests of UF6-filled Cylinders, K-D-1984, Union Carbide Corp., Oak Ridge, TN (1966).
41. RINGOT, C., HAMARD, J., "The toxic and radiological risk equivalence approach in UF6 transport", UF6 – Safe Handling, Processing and Transporting (Proc. Conf. Oak Ridge, 1988), Oak Ridge Gaseous Diffusion Plant, Oak Ridge, TN (1988) 29–36.

42. BIAGGIO, A., LOPEZ-VIETRI, J., "UF_6 in transport accidents", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc. Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
43. SAROUL, J., et al., "UF_6 transport container under fire conditions, experimental results", Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995), Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).
44. PINTON, E., DURET, B., RANCILLAC, F., "Interpretation of TEN2 experiments", там же.
45. WILLIAMS, W.R., ANDERSON, J.C., "Estimation of time to rupture in a fire using 6FIRE, a lumped parameter UF_6 cylinder transient heat transfer/stress analysis model", там же.
46. WATARU, M., et. al., "Safety analysis on the natural UF6 transport container", там же.
47. LYKINS, M.L., "Types of corrosion found on 10- and 14-ton mild steel depleted uranium UF_6 storage cylinders", там же.
48. BLUE, S.C., "Corrosion control of UF_6 cylinders", там же.
49. CHEVALIER, G., et. al., "L'arrimage de colis de matieres radioactives en conditions accidentelles", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc. Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
50. BRITISH STANDARDS INSTITUTE, Guide to the Design, Testing and Use of Packaging for the Safe Transport of Radioactive Materials, BS 3895:1976, GR 9, BSI, London (1976).
51. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Leakage Tests on Packages for Shipment of Radioactive Material, ANSI N.14.5-1977, ANSI, New York (1977).
52. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Safe Transport of Radioactive Material — Leakage Testing of Packages, ISO 12807:1996(E), first edition 1996-09-15, ISO, Geneva (1996).
53. UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY, Shielding Integrity Testing of Radioactive Material Transport Packaging, Gamma Shielding, Rep. AECP 1056, Part 1, UKAEA, Harwell (1977).
54. UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY, Testing the Integrity of Packaging Radiation Shielding by Scanning with Radiation Source and Detector, Rep. AESS 6067, UKAEA, Risley (1977).
55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radioactive Materials — Packaging — Test for Contents Leakage and Radiation Leakage, ISO 2855-1976(E), ISO, Geneva (1976).
56. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Program for Testing Biological Shielding in Nuclear Reactor Plants, ANSI N18.9-1972, ANSI, New York (1972).
57. JANARDHANAN, S., et al., "Testing of massive lead containers by gamma densitometry", Industrial Isotope Radiography (Proc. Nat. Symp.), Bharat Heavy Electrical Ltd., Tiruchirapalli, India (1976).
58. KRISHNAMURTHY, K., AGGARMAL, K.S., "Complementary role of radiometric techniques in radiographic practice", там же.
59. MACDONALD, H.F., "Individual and collective doses arising in the transport of irradiated nuclear fuels", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt fur Materialprufung, Berlin (1980).
60. GOLDFINCH, E.P., MACDONALD, H.F., Dosimetric aspects of permitted activity leakage rates for Type B packages for the transport of radioactive materials, Radiat. Prot. Dosim. 2 (1982) 75.
61. MACDONALD, H.F., Radiological Limits in the Transport of Irradiated Nuclear Fuels, Rep. TPRD/B/0388/N84, Central Electricity Generating Board, Berkeley, UK (1984).
62. MACDONALD, H.F., GOLDFINCH, E.P., The Q System for the Calculation of A1 and A2 Values within the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Rep. TPRD/B/0340/R83, Central Electricity Generating Board, Berkeley, UK (1983).
63. BURNAY, S.G., NELSON, K., "Leakage of transport container seals during slow thermal cycling to –40°C", Int. J. Radioact. Mater. Transp. 2 (1991).
64. HIGSON, J., VALLEPIN, C., KOWALEVSKY, H., "A review of information on flow equations for the assessment of leaks in radioactive transport containers", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 89 (Proc. Symp. Washington, DC, 1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1989).
65. Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке ядерных материалов (ОПБЗ-83). Москва, 1984 г.
66. HEABERLIN, S.W., et al., Consequences of Postulated Losses of LWR Spent Fuel and Plutonium Shipping Packages at Sea, Rep. BNWL-2093, Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA (1977).
67. NAGAKURA, T., MAKI, Y., TANAKA, N., "Safety evaluation on transport of fuel at sea and

test program on full scale cask in Japan", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 78 (Proc. Symp. New Orleans, 1978), Sandia Laboratories, Albuquerque, NM (1978).
68. WOODCOCK, E.R., PAXTON, H.C., "The criticality aspects of transportation of fissile materials", Progress in Nuclear Energy, Series IV, Vol. 4, Pergamon Press, Oxford (1961) 401–430.
69. DANIELS, J.T., A Guide to the Requirements Relating to Fissile Materials (GIBSON, R., Ed.), Pergamon Press, Oxford (1961).
70. PAXTON, H.C., PRUVOST, N.L., Critical Dimensions of Systems Containing U-235, Pu-239 and U-233, Rep. LA-10860-MS, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM (1987).
71. BARTON, N.J., WILSON, C.K., "Review of fissile exception criteria in IAEA regulations", Nuclear Criticality Safety (ICNC'95, Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Vol. 2, Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 915–972.
72. CLARK, H.K., "Sub-critical limits for plutonium systems", Nucl. Sci. Eng. **79** (1981) 65–84.
73. CLARK, H.K., "Sub-critical limits for uranium-235 systems", Nucl. Sci. Eng. **81** (1981) 351–378.
74. CLARK, H.K., "Sub-critical limits for uranium-233 systems", Nucl. Sci. Eng. **81** (1981) 379–395.
75. JAPAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE, Nuclear Criticality Safety Handbook, Nihon Shibou, Science and Technology Agency (1988) (на японском языке). [Перевод на английский язык: JAERI-Review 95-013, JAERI, Tokyo (1995).]
76. COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, Guide de Criticite, Rep. CEA-R-3114, CEA, Paris (1967).
77. ZACHAR, M., PRETESACQUE, P., Burnup credit in spent fuel transport to COGEMA La Hague reprocessing plant, Int. J. Radioact. Mater. Transp. **5** 2–4 (1994) 273–278.
78. EWING, R.I., "Burnup verification measurements at US nuclear utilities using the Fork system", Nuclear Criticality Safety (ICNC'95, Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque), Vol. 2, Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 11.64–70.
79. EWING, R.I., "Application of a burnup verification meter to actinide-only burnup credit for spent PWR fuel", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 95 (Proc. 11th Int. Conf. Las Vegas, 1995), USDOE, Washington, DC (1995).
80. MIHALCZO, J.T., et. al., "Feasibility of subcriticality and NDA measurements for spent fuel by frequency analysis techniques with ^{252}Cf", Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human–Machine Interface Technologies (Proc. Int. Top. Mtg College Station, PA), Vol. 2, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (1996) 883–891.
81. TAKANO, M., OKUNO, H., OECD/NEA Burnup Credit Criticality Benchmark, Result of Phase IIA, Rep. NEA/NSC/DOC(96)01, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (1996).
82. DEHART, M.D., PARKS, C.V., "Issues related to criticality safety analysis for burnup credit applications", Nuclear Criticality Safety (ICNC'95, Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 26–36.
83. BOWDEN, R.L., THORNE, P.R., STRAFFORD, P.I., "The methodology adopted by British Nuclear Fuels plc in claiming credit for reactor fuel burnup in criticality safety assessments", ibid, pp. 1b.3–10.
84. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Transport Packaging for Radioactive Materials (Proc. Sem. Vienna, 1976), IAEA, Vienna (1976).
85. Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM), Proc. Symp. Albuquerque, 1965: Sandia Laboratories, Albuquerque, NM (1965); Gatlinburg, 1968: United States Atomic Energy Commission, Oak Ridge, TN (1968); Richland, 1971: United States Atomic Energy Commission, Oak Ridge, TN (1971); Miami Beach, 1974: Union Carbide Corp., Nuclear Div., Oak Ridge, TN (1975); Las Vegas, 1978: Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1978); Berlin (West), 1980: Bundesanstalt fur Materialprufung, Berlin (1980); New Orleans, 1983: Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1983); Davos, 1986: International Atomic Energy Agency, Vienna (1987).
86. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Sealed Radioactive Sources – Classification, Rep. ISO 2919-1980(E), ISO, Geneva (1980).
87. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Directory of Transport Packaging Test Facilities, IAEA-TECDOC-295, IAEA, Vienna (1983).
88. Directory of Test Facilities for Radioactive Materials Transport Packages, Special Issue, Int. J. Radioact. Mater. Transp. **2** 4–5 (1991).
89. DROSTE, B., et al., "Evaluation of safety of casks impacting different types of targets", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 98 (Proc. Symp. Paris, 1998), Institut de Protection et de Surete Nucleaire (IPSN), Paris (1998).
90. CLARKE, R.K., FOLEY, J.T., HARTMAN, W.F., LARSON, D.W., Severities of Transportation

Accidents, Rep. SLA-74-0001, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1976).
91. DENNIS, A.W., FOLEY, J.T., HARTMAN, W.F., LARSON, D.W., Severities of Transportation Accidents Involving Large Packages, Rep. SLA-77-0001, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1978).
92. McCLURE, J.D., An Analysis of the Qualification Criteria for Small Radioactive Material Shipping Packages, Rep. SAND-76-0708, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1977).
93. McCLURE, J.D., et al., "Relative response of Type B packagings to regulatory and other impact test environments", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt fur Materialprufung, Berlin (1980).
94. BLYTHE, R.A., MILES, J.C., HOLT, P.J., "A study of the influence of target material on impact damage", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 83 (Proc. Symp. New Orleans, 1983), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1983).
95. GABLIN, K.A., "Non-shielded transport package impact response to unyielding and semi-yielding surfaces", там же.
96. HUBNER, H.W., MASSLOWSKI, J.P., "Interactions between crush conditions and fire resistance for Type B packages less than 500 kg", там же.
97. DIGGS, J.M., LEISHER, W.B., POPE, R.B., TRUJILLO, A.A., "Testing to define the sensitivity of small Type B packagings to the proposed IAEA crush test requirement", там же.
98. CHEVALIER, G., GILLES, P., POUARD, P., "Justification and advantages of crushing tests compared with fall tests and the modification of existing regulations", там же.
99. COLTON, J.D., ROMANDER, C.M., Potential Crush Loading of Radioactive Material Packages in Highway, Rail and Marine Accidents, Rep. NUREG/CR-1588, SRI International, Menlo Park, CA (1980).
100. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Cask Designers Guide, Rep. ORNL-NSIC–68, UC-80, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1976).
101. DIGGS, J.M., POPE, R.B., TRUJILLO, A.A., UNCAPHER, W.L., Crush Testing of Small Type B Packagings, Rep. SAND-83-1145, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1985).
102. McCLURE, J.D., The Probability of Spent Fuel Transportation Accidents, Rep. SAND-80-1721, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1981).
103. WILMOT, E.L., McCLURE, J.D., LUNA, R.E., Report on a Workshop on Transportation Accident Scenarios Involving Spent Fuel, Rep. SAND-80-2012, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1981).
104. POPE, R.B., YOSHIMURA, H.R., HAMANN, J.E., KLEIN, D.E., An Assessment of Accident Thermal Testing and Analysis Procedures for a RAM Shipping Package, ASME Paper 80-HT-38, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA (1980).
105. JEFFERSON, R.M., McCLURE, J.D., "Regulation versus reality", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 83 (Proc. Symp. New Orleans, 1983), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1983).
106. FRY, C.J., "The use of CFD for modelling pool fires", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 92 (Proc. Symp. Yokohama City, 1992), Science & Technology Agency, Tokyo (1992).
107. FRY, C. J., "An experimental examination of the IAEA fire test parameters", там же.
108. WIESER, G., DROSTE. B., "Thermal test requirements and their verification by different test methods", там же.
109. BAINBRIDGE, B.L., KELTNER, N.R., Heat transfer to large objects in large pool fires, J. Hazard. Mater. 20 (1988) 21–40.
110. KELTNER, N.R., MOYA, J.L., Defining the thermal environment in fire tests, Fire and Materials 14 (1989) 133–138.
111. BURGESS, M., FRY, C.J., Fire testing for package approval, Int. J. Radioact. Mater. Transp. 1 (1990).
112. McCAFFERY, B.J., Purely Buoyant Diffusion Flames — Some Experimental Results, Rep. PB80-112 113, US National Bureau of Standards, Washington, DC (1979).
113. McADAMS, W.H., Heat Transmission, McGraw-Hill, New York (1954).
114. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Air Transport of Radioactive Material in Large Quantities or with High Activity, IAEA-TECDOC-702, IAEA, Vienna (1993).
115. McSWEENEY, T.I., JOHNSON, J.F., "An Assessment of the Risk of Transporting Plutonium Dioxide by Cargo Aircraft", BNWL-2-30 UC-71, Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, WA (1977).
116. McCLURE, J.D., VON RIESEMANN, W.A., Crush Environment for Small Containers Carried on US Commercial Jet Aircraft, Report letter, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1976).

117. BROWN, M.L., et al., Specification of Test Criteria for Containers to be Used in the Air Transport of Plutonium, Safety & Reliability Directorate, UKAEA, London (1980).
118. HARTMAN, W.F., et al., "An analysis of the engine fragment threat and the crush environment for small packages carried on US commercial jet aircraft", Packaging and Transport of Radioactive Materials, PATRAM 78 (Proc. Symp. New Orleans, 1978), Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1978).
119. UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Qualification Criteria to Certify a Package for Air Transport of Plutonium, Rep. NUREG/0360, USNRC, Washington, DC (1978).
120. WILKINSON, H.L., "A study of severe aircraft crash environments with particular reference to the carriage of radioactive material", SARSS 89 (Proc. Symp. Bath, UK, 1989), Elsevier, Amsterdam and New York (1989).
121. BONSON, L.L., Final Report on Special Impact Tests of Plutonium Shipping Containers: Description of Test Results, Rep. SAND-76-0437, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1977).
122. McWHIRTER, M., et al., Final Report on Special Tests of Plutonium Oxide Shipping Containers to FAA Flight Recorder Survivability Standards, Rep. SAND-75-0446, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1975).
123. STRAVASNIK, L.F., Special Tests for Plutonium Shipping Containers 6M, SP5795 and L-10, Development Rep. SC-DR-72059, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1972).
124. BROWN, M.L., EDWARDS, A.R., HALL, S.F., et al., Specification of Test Criteria for Containers to be Used in the Air Transport of Plutonium, Rep. EUR 6994 EN, CEC, Brussels and Luxembourg (1980).
125. McCLURE, J.D., LUNA, R.E., "An Analysis of Severe Air Transport Accidents", Packaging and Transportation of Radioactive Material, PATRAM 89 (Proc. Symp. Washington, DC, 1989), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1989).
126. DEVILLERS, C., et al., "A Regulatory Approach to the Safe Transport of Plutonium by Air", там же.
127. MENNERDAHL, D., "Mixing of package designs: Nuclear criticality safety", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc. Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
128. BOUDIN, X., et. al., "Rule relating to the mixing of planar arrays of fissile units", Physics and Methods in Criticality Safety (Proc. Top. Mtg Nashville, TN), American Nuclear Society, La-Grange Park, IL (1993) 102–111.
129. FAIRBAIRN, A., "The derivation of maximum permissible levels of radioactive surface contamination of transport containers and vehicles", Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials — Notes on Certain Aspects of the Regulations, Safety Series No.7, IAEA, Vienna (1961).
130. WRIXON, A.D., LINSLEY, G.S., BINNS, K.C., WHITE, D.F., Derived Limits for Surface Contamination, NRPB-DL2, HMSO, London (1979).
131. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces, Technical Reports Series No.120, IAEA, Vienna (1970).
132. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60 МКРЗ, ч.1,2: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
133. FAW, R.E., Absorbed doses to skin from radionuclide sources on the body surface, Health Phys. 63 (1992) 443–448.
134. TRAUB, R.J., REECE, W.D., SCHERPELZ, R.I., SIGALLA, L.A., Dose Calculations for Contamination of the Skin Using the Computer Code VARSKIN, Rep. PNL-5610, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, WA (1987).
135. KOCHER, D.C., ECKERMAN, K.F., Electron dose-rate conversion factors for external exposure of the skin from uniformly deposited activity on the body surface, Health Phys. 53 (1987) 135–141.
136. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code, 2000 edition including amendment 30-00, IMO, London (2001).
137. INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, Dangerous Goods Regulations, 37th edition, IATA, Montreal (1996).
138. Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794.
139. Положение о функциональной подсистеме единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Минатома России. Утверждено Министром Российской Федерации по атомной энергии. Приказ от 01.12.99 № 750.
140. Планирование и готовность к аварийному реагированию при транспортных авариях,

связанных с радиоактивными материалами. Руководство по безопасности. TS-G-1.2. МАГАТЭ, Вена, 2005.
141. ИНЕС: Международная шкала ядерных событий. Руководство пользователя. МАГАТЭ, 2001.
142. Security of radioactive sources. Interim guidance for comment. IAEA-TECDOC-1355. IAEA, June 2003.
143. Security in the Transport of Radioactive Material. Interim Guidance for Comment. IAEA, 2004. (draft).
144. Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников. МАГАТЭ, 2003.

Приложение I

СИСТЕМА Q ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ A_1 и A_2
(цитируется по приложению I руководства МАГАТЭ TS-G-1.1)

ВВЕДЕНИЕ

I.1. Система Q была разработана Х.Ф. Макдональдом и Е.П. Голдфинчем из Центрального электроэнергетического управления компании Соединенного Королевства в рамках Соглашения об исследованиях с Международным агентством по атомной энергии. Система Q определяет через значения A_1 и A_2 "количественные" пределы для допустимого содержания радионуклида в упаковке типа А. Эти пределы также используются в Правилах для различных целей, таких как определение пределов утечки активности из упаковок типа В, пределов содержания для упаковок с материалами с низкой удельной активностью и освобожденных упаковок, а также пределов содержания радиоактивных материалов особого вида (нерассеиваемых) и не особого вида (рассеиваемых). Символ "Q" в названии системы обозначает количество.

I.2. Сводный отчет о первоначальных результатах разработки системы Q был опубликован в 1986 г. как документ IAEA-TECDOC-375 под названием "International Studies on Certain Aspects of the Safe Transport of Radioactive Materials, 1980–1985". Затем была выполнена дальнейшая доработка системы Q специальной рабочей группой МАГАТЭ в 1982 г. Это послужило основой для значений A_1 и A_2 в Правилах издания 1985 г. В дополнение К. Эккерман из Отдела здравоохранения и безопасности Окриджской национальной лаборатории (ORNL) США провел верификацию значений Q на средства Министерства транспорта США, а К. Шоу из Национального комитета по радиационной защите (NRPB) Соединенного Королевства разработал силами своей организации годовые пределы значений поступления (ALI) радионуклидов, не включенных в Публикацию 30 МКРЗ.

I.3. В преддверии издания Правил в 1996 г. в систему Q были внедрены последние рекомендации и данные МКРЗ в виде коэффициентов для дозы на единицу поступления (дозовые коэффициенты) [I.8], усилиями Л. Болонь (ANPA, Италия), К. Эккермана (ORNL, США) и С. Хьюза (NRPB, Великобритания). Их результаты послужили основой для усовершенствования значений A_1 и A_2. Существенная часть этой работы состоит в повторном исследовании дозиметрических моделей, используемых при определении пределов содержимого для упаковки типа А. Повторное исследование ранних моделей, в свою очередь, привело к дальнейшему развитию системы Q, выразившемуся в усовершенствовании метода расчета значений A_1 и A_2. Усовершенствованный метод определения значений A_1 и A_2 и вытекающие из него результаты представлены в этом приложении. Значительная часть информации и обсуждений, содержащихся в приложении, касаются истории вопроса, но их сохранение в тексте представляется важным для полного понимания данных рекомендаций.

ПРЕДПОСЫЛКИ

I.4. Различные пределы для контроля выхода радиоактивности из транспортных упаковок, предписанные в Правилах, основаны на пределах содержания активности для упаковок типа А. Упаковки типа А предназначены для экономичной перевозки большого количества грузов низкой активности с достижением в то же время высокого уровня безопасности. Пределы содержимого установлены так, чтобы избежать неприемлемых радиологических последствий в случае серьезного повреждения упаковки типа А и исключать необходимость утверждения конструкции упаковки компетентным органом, за исключением упаковок, содержащих делящиеся материалы.

I.5. Активность, превышающая пределы для упаковок типа А, подпадает в Правилах под действие требований к упаковкам типа В, для которых действительно требуется утверждение компетентного органа. Требования к упаковкам типа В сформулированы так, чтобы уменьшить до очень низкого уровня вероятность значительного выхода радиоактивного из таких упаковок в результате тяжелой аварии.

I.6. Первоначально классификация перевозимых радионуклидов состояла из семи групп, каждая из которых имела свои пределы содержания в упаковке типа А для радиоактивных материалов особого вида и для всех остальных видов радиоактивных материалов. Особый вид радиоактивных материалов был определен как не рассеивающийся в условиях специальных испытаний. В издании Правил 1973 г. система классификации по группам была преобразована в систему A_1/A_2, в которой для каждого нуклида определен предел содержания в упаковке типа А как значение A_1 Кюри при транспортировании в особом виде и A_2 Кюри для радиоактивных материалов, не относящихся к особому виду.

I.7. Дозиметрические основы системы A_1/A_2 базировались на ряде отчасти прагматичных допущений. При выводе значения A_1 используется доза 3 бэр (30 мЗв) на все тело, хотя в расчете значения A_1 облучение ограничено 3 Р на расстоянии 3 м за 3 ч. Кроме того, при определении A_2 предполагалось, что поступление внутрь организма $10^{-6}A_2$ в результате "средней" аварии приводит к облучению в размере половины предела годового поступления (ALI) для радиационного персонала. Средняя авария была определена условно как авария, приводящая к полной потере защиты и выходу 10^{-3} от содержимого упаковки таким образом, что 10^{-3} от этого вышедшего содержимого впоследствии поступает в организм находящегося рядом человека. Описанная здесь система Q учитывает более широкий спектр путей облучения, чем более ранняя система A_1/A_2, но опирается на те же предположения, что и первоначальный ее вариант, определенный в Правилах издания 1985 г. Многие из сделанных предположений сходны с теми, которые делались или подразумевались в Правилах МАГАТЭ издания 1973 г., однако в ситуациях, предполагающих поступление радиоактивных материалов, использованы новые данные и концепции, рекомендованные в последнее время МКРЗ [I.8, I.9]. В частности, сделаны прагматические предположения в отношении степени повреждения упаковки и выхода содержимого, как обсуждается ниже, без привлечения понятия "средняя" авария.

ОСНОВЫ СИСТЕМЫ Q

I.8. В рамках системы Q рассматривается ряд путей облучения, каждый из которых может привести к облучению (внутреннему или внешнему) людей вблизи упаковки типа А, попавшей в серьезную транспортную аварию. Пути облучения схематически представлены на рис. I.1 и ведут к пяти значениям предела содержимого Q_A, Q_B, Q_C, Q_D и Q_E, для дозы внешнего гамма облучения, дозы внешнего бета-облучения, ингаляционной дозы, дозы облучения кожи от загрязнения и внутренних органов при пероральном поступлении, дозы из-за нахождения в облаке соответственно. Пределы содержания для альфа-излучателей и излучателей нейтронов материалов особого вида, а также для трития рассматриваются отдельно.

I.9. Пределы содержимого для упаковки типа А определены для отдельных радионуклидов так же, как в Правилах МАГАТЭ издания 1985 г. Значение A_1 для материалов особого вида определяется как меньшее из двух значений Q_A и Q_B, а значение A_2 для радиоактивных материалов, не относящихся к особому виду, является наименьшим из A_1 и остальных значений Q. Конкретные предположения для определения путей облучения, используемые при определении каждого индивидуального значения Q, обсуждаются ниже, однако все они основаны на следующих радиологических критериях:

(a) Эффективная или ожидаемая эффективная доза для лица находящегося вблизи транспортной упаковки при аварии, не должна превышать дозу 50 мЗв.

(b) Эквивалентная или ожидаемая эквивалентная доза, полученная отдельными органами, включая кожу, человека, вовлеченного в аварию, не должна превышать 0,5 Зв, или в особом случае для хрусталика глаза – 0,15 Зв.

(c) Маловероятно, что человек будет находиться на расстоянии 1 м от поврежденной упаковки в течение времени больше, чем 30 мин.

I.10. В системе Основных норм безопасности (BSS) [I.10] система Q относится к области потенциального облучения. Потенциальное облучение – это такое облучение, которое не ожидается с полной определенностью, но может быть результатом аварии на источнике вследствие какого-либо события или последовательности событий вероятностного характера, включая отказы оборудования и ошибки при эксплуатации. К потенциальному облучению пределы доз, установленные в BSS, не применяются (см. перечень II, табл. II-3 в BSS). В Правилах МАГАТЭ издания 1985 г. опорная доза 50 мЗв, используемая при определении значений A_1/A_2 для эффективной дозы или ожидаемой эффективной эквивалентной дозы облучения человека, находящегося вблизи транспортной упаковки, после аварии, была связана с годовым пределом дозы для персонала. Как утверждалось ранее, эта связь с годовым пределом дозы для персонала для потенциального облучения не применяется. В пересмотренной системе Q контрольная (опорная) доза 50 мЗв была оставлена на том основании, что исторически реальные аварии с упаковками типа А приводили к очень малому облучению. При выборе справочной дозы важно также учесть вероятность облучения человека в результате транспортной аварии; такие облучения могут, вообще говоря, рассматриваться как облу-

чения, имеющие место один раз за всю жизнь человека. Ясно, что большинство людей никогда не подвергнутся облучению.

I.11. Эффективная доза облучения для человека, находящегося вблизи транспортной упаковки после аварии, не должна превышать 50 мЗв. Для расчета предполагается, что индивидуум находится на расстоянии 1 м от поврежденной упаковки и остается в этом месте в течение 30 мин. Эффективная доза определена в BSS как сумма эквивалентных доз для тканей, каждая из которых умножается на соответствующий весовой коэффициент. Весовые коэффициенты для тканей равны используемым в радиационной защите и данным в Публикации 60 МКРЗ [I.8].

I.12. Кроме того, время облучения 30 мин на расстоянии 1 м представляет собой осторожное предположение об аварийном облучении лиц, изначально присутствующих при аварии. Предполагается, что последующие восстановительные операции осуществляются под надзором и контролем в отношении защиты от ионизирующих излучений. Это считается более реалистичным, чем ранние предположения облучения в течение 3 ч на расстоянии 3 м. В сочетании с вышеуказанными дозовыми пределами это приводит к ограничению мощности дозы гамма-излучения от поврежденной упаковки на все тело величиной 0,1 Зв/ч на расстоянии 1 м.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ДОПУЩЕНИЯ

I.13. В данном разделе детально описаны дозиметрические модели и допущения, лежащие в основе вывода пяти основных значений Q. Очерчены конкретные учитываемые пути облучения, обсуждаются соображения, касающиеся методов вывода.

Q_A – доза внешнего фотонного облучения

I.14. Значение Q_A для радионуклида определяется через рассмотрение дозы внешнего гамма- или рентгеновского облучения всего тела человека вблизи поврежденной упаковки типа А после аварии. Предполагается, что защита упаковки полностью разрушена при аварии и соответствующая мощность дозы на расстоянии 1 м от края (или поверхности) незащищенного радиоактивного материала ограничивается значением 0,1 Зв/ч. Кроме того, предполагается, что поврежденная упаковка может рассматриваться как точечный источник.

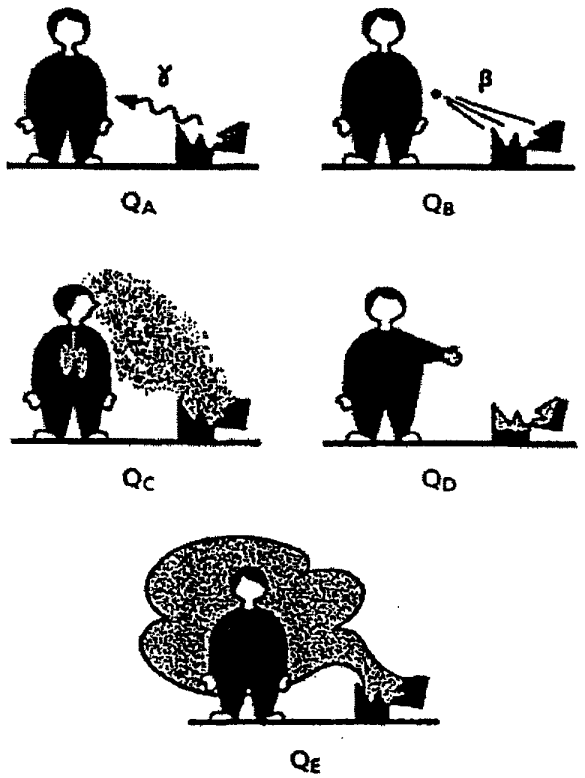


Рис. I.1. Схематическое представление путей облучения, применяемых в системе Q

I.15. В предыдущей системе Q, согласно Публикации 38 МКРЗ [I.11], значение Q_A рассчитывалось по средней энергии фотонов на один распад. Кроме того, переход от экспозиционной дозы на открытом воздухе к эффективной дозе осуществлялся с коэффициентом 6,7 мЗв/Р для фотонов с энергией в диапазоне между 50 кэВ и 5 МэВ.

I.16. В пересмотренной системе Q значение Q_A рассчитывалось с использованием полного спектра рентгеновского и гамма-излучения радионуклидов, как указано в Публикации 38 МКРЗ. Зависящая от энергии взаимосвязь между эффективной дозой и экспозиционной дозой на открытом воздухе принимается в соответствии с Публикацией 51 МКРЗ [I.12] для изотропной геометрии излучения.

I.17. Значения Q_A определяются формулой

$$Q_A = \frac{D/t}{DRC_\gamma} C,$$

где D – контрольная доза 0,05 Зв;

t – время облучения 0,5 ч;

DRC_γ – коэффициент эффективной мощности дозы для радионуклида;

C – переводной коэффициент, определяющий размерность Q_A.

I.18. Таким образом, значения Q_A определяются из

$$Q_A(\text{ТББ}) = \frac{10^{-13}}{\dot{e}_{pt}}$$

где $\dot{e}_{pt}$ – коэффициент эффективной мощности дозы для радионуклида на расстоянии 1 м, Зв·Бк$^{-1}$·ч$^{-1}$.

I.19. Коэффициенты эффективной дозы и эффективной мощности дозы можно найти в табл. II.2 приложения II.

I.20. В этом уравнении величина C была установлена равной 10^{-12} ТБк/Бк.

I.21. Коэффициент эффективной мощности дозы был рассчитан из

$$\dot{e}_{pt} = \frac{C}{4\pi d^2} \sum_i \left(\frac{e}{X}\right)_{E_i} Y_i E_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{E_i} e^{-\mu_i d} B(E_i, d),$$

где

$\left(\frac{e}{X}\right)_{E_i}$ – соотношение между эффективной дозой и облучением в воздухе, Зв·Р$^{-1}$;

Y_i – выход фотонов энергии E_i на один распад радионуклида, Бк·с$^{-1}$;

E_i – энергия фотона, МэВ;

$\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{E_i}$ – массовый коэффициент поглощения энергии в воздухе для фотонов энергии E_i, см^2·г$^{-1}$;

$-\mu_i$ – линейный коэффициент затухания в воздухе для фотонов энергии E_i, см$^{-1}$;

$B(E_i, d)$ – воздушная керма фактор накопления фотонов энергии E_i на расстоянии d;

C – постоянная величина, определяемая вышеуказанными размерностями.

I.22. Расстояние d взято равным 1 м. Значение $\left(\frac{e}{X}\right)_{E_i}$ получено интерполяцией данных из Публикации 51 МКРЗ [I.12]. Этот подход верен для фотонов с энергией в диапазоне от 5 кэВ до 10 МэВ. Значение $\left(\frac{e}{X}\right)_{E_i}$ зависит от предположений относительно углового распределения поля излучения (геометрии излучения). Однако в численном отношении разница между различными геометриями излучения невелика, например, отношение круглого параллельного луча к изотропному полю обычно меньше 1,3.

Q_B – доза внешнего облучения бета-излучателями

I.23. Значение Q_B определяется на основе рассмотрения дозы бета-излучения, полученной кожей человека, облученного в результате аварии с упаковкой типа А, содержащей РМ особого вида. Как и в предыдущем случае, предполагается полное разрушение транспортной упаковки при аварии, но концепция остаточного фактора защиты для бета-излучателей (связанная с такими материалами, как защита окна для бета-излучения, обломки упаковки и т. п.), введенная в Правила

издания 1985 г., остается в силе. Это предполагает применение очень консервативного коэффициента защиты, равного 3 для бета-излучателей с максимальной энергией ≥ 2 МэВ, а в рамках системы Q эта практика была расширена и применена для целого ряда коэффициентов защиты, зависящих от энергии бета-излучения, на основе поглотителя приблизительной толщиной 150 мг·см $^{-2}$.

I.24. В пересмотренной системе Q значение Q_B рассчитывается с использованием полного спектра бета-излучения для радионуклидов согласно Публикации 38 МКРЗ. Спектральные данные для интересующего нуклида используются с данными из [I.14, I.15] по мощности дозы на кожу на единицу активности моноэнергетического источника электронов. Самоэкранирование упаковки считается гладкой функцией максимальной энергии бета-спектра (рис. I.2). Значение Q_B определяется по формуле:

$$Q_B = \frac{D/t}{DRC_\beta} C,$$

где D – контрольная доза 0,5 Зв;

t – время облучения 0,5 ч;

DRC_β – коэффициент эффективной мощности дозы для радионуклида;

C – переводной коэффициент, определяющий размерность Q_B.

I.25. Таким образом, Q_B рассчитывается по формуле:

$$Q_B(\text{ТБк}) = \frac{1 \cdot 10^{-12}}{\dot{e}_\beta},$$

где $\dot{e}_\beta$ – коэффициент эффективной мощности дозы на кожу для бета-излучения на расстоянии 1 м от самоэкранированного материала, Зв·Бк$^{-1}$·ч$^{-1}$.

Коэффициенты дозы и мощности дозы можно найти в табл. II.2 приложения II.

I.26. В этом уравнении значение C было принято равным 10^{-12} ТБк/Бк.

I.27. Коэффициент мощности дозы определяется как

$$\dot{e}_\beta = \frac{1}{SF_{\beta_{max}}} J_{air} C,$$

где $SF_{\beta_{max}}$ – коэффициент защиты, рассчитанный при максимальной энергии бета-спектра;

J_{air} – доза на расстоянии 1 м на распад, МэВ·г$^{-1}$·Бк$^{-1}$·с$^{-1}$;

C – переводной коэффициент.

Параметр J_{air} рассчитывается как

$$J_{air} = \frac{n}{4\pi\rho r^2} \int_0^{E_{max}} N(E) j(r/r_E, E)(E/r_E) dE,$$

где n – количество бета-частиц, излучаемых на один распад;

$N(E)$ – количество электронов, излучаемых с энергией в диапазоне от E до $E + dE$, (Бк$^{-1}$·с$^{-1}$);

$j(r/r_E, E)$ – безразмерное распределение дозы, представляющее долю излученной энергии, поглощаемой в сферической оболочке с радиусами r/r_E и $r/r_E + d(r/r_E)$, согласно таблицам Кросса [I.14, I.15].

I.28. Следует отметить, что хотя предел дозы для хрусталика глаза ниже, чем для кожи (0,15 Зв по сравнению с 0,5 Зв), расчет доз в глубине ткани от бета-источников и, в частности, при поглощении на глубине 300 мг·см$^{-2}$ чувствительных клеток эпителия хрусталика глаза показывает, что при максимальных энергиях бета-излучения до примерно 4 МэВ ограничительной всегда является доза на кожу. Таким образом, специальное рассмотрение дозы на хрусталик глаза не требуется.

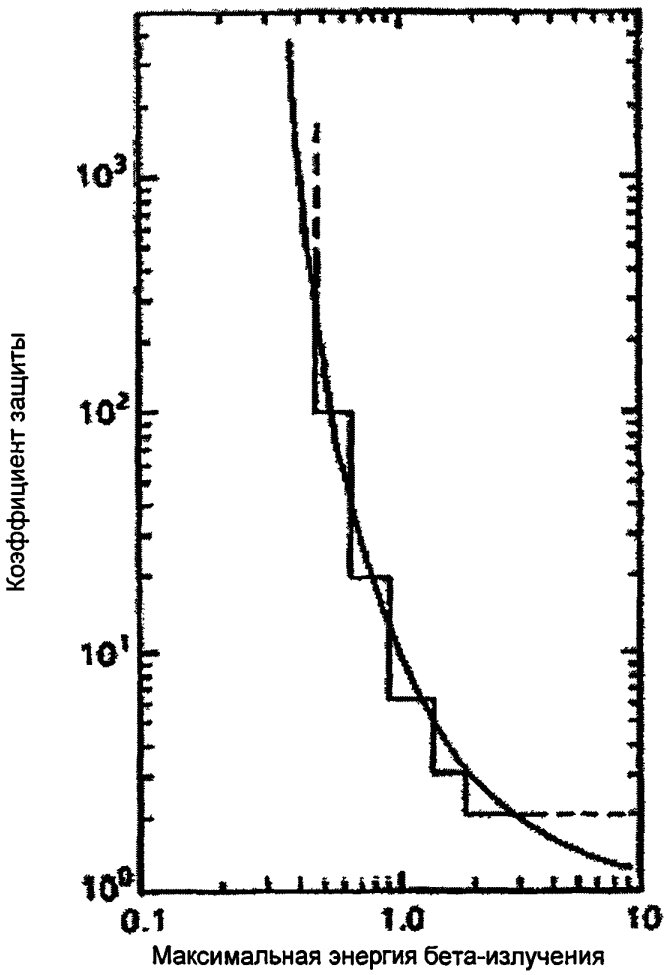


Рис. I.2. Коэффициент защиты в зависимости от энергии бета-излучения.
Коэффициент защиты = $e^{\mu d}$, $\mu = 0{,}017 \cdot E_{\beta max}^{-1{,}14}$, d = 150 мг/см^2

I.29. И, наконец, при определении значений Q следует упомянуть о трактовке позитронного аннигиляционного излучения и конверсионных электронов. Последние рассматриваются как моноэнергетические бета-частицы с весовыми коэффициентами, соответствующими их выходу. В случае аннигиляционного излучения этот фактор не должен учитываться при расчетах бета-дозы на кожу, поскольку он вносит вклад величиной всего несколько процентов в локальную дозу для базального слоя. Однако гамма-излучение 0,51 МэВ включено в энергию фотонов на распад, используемую при определении Q_A, как обсуждалось выше.

Q_C – доза внутреннего облучения ингаляционным путем

I.30. Значение Q_C для радионуклида, перевозимого не в особом виде, определяется исходя из ингаляционной дозы, полученной человеком, подвергшимся облучению от радиоактивных материалов, вышедших из поврежденной упаковки типа А при аварии. Соответствие с дозовым пределом, указанным ранее, было обеспечено путем ограничения поступления радиоактивного материала в условиях аварии величиной ПГП (предел годового поступления), (ALI), рекомендованного МКРЗ [I.19]. Концепция "средней" аварии, применявшаяся в Правилах МАГАТЭ издания 1973 г., более не используется, поскольку ее определение вызвало большие споры, а именно, в отношении того, что средняя авария – это авария, приводящая к выходу 10^{-3} содержимого упаковки в совокупности с дозиметрической моделью, предполагающей, что при этой аварии выходит 10^{-3} содержимого упаковки и что 10^{-3} от этого выхода поступает в организм человека.

I.31. В рамках системы Q рассматривается ряд сценариев аварий, включая тот, который первоначально предложена для определения Q_C, охватывающих аварии, происходящие как в помещении, так и на открытом воздухе, и возможные воздействия пожаров. В Правилах МАГАТЭ 1973 г. издания предполагалось, что 10^{-3} содержимого упаковки может выйти в результате средней аварии, и что 10^{-3} от этого вышедшего материала может поступить в организм человека, вовлеченного в аварию. В результате получается итоговое поступление 10^{-6} содержимого упаковки, и эта величина оставлена в системе Q. Однако теперь она трактуется как величина, представляющая ряд возможных долей выхода и коэффициентов поступления (поглощения), при этом удобно рассматривать коэффициенты поглощения как функцию этих двух параметров независимо.

I.32. Диапазон выхода содержимого, принимаемый сейчас в системе Q, а именно $10^{-3} \div 10^{-2}$, охватывает диапазон, представленный более ранним предположением в Правилах МАГАТЭ издания 1973 г., и изначальное предложение для данной системы. В основе этого лежит подразумеваемое допущение, также содержащееся в Правилах издания 1985 г., о том, что вероятность "крупной аварии", способной вызвать выход большей части содержимого упаковки, мала. В большой степени такой подход вызван фактами поведения упаковок типа А в условиях тяжелой аварии.

I.33. Данные о вдыхаемых аэрозольных составляющих, образуемых в условиях аварии, в целом немногочисленны и имеются только для ограниченного ряда материалов. Например, для образцов урана и плутония в условиях повышенной скорости окисления в воздухе в присутствии двуокиси углерода доля вдыхаемых аэрозолей была определена как приблизительно равная 1%. Однако ниже этого уровня доля аэрозолей имеет широкие вариации в зависимости от температуры и локальных потоков в атмосфере в данном месте. Для жидкостей очевидно возможны большие доли выхода содержимого, но здесь многочисленные барьеры, обеспечиваемые материалами упаковки типа А, включая абсорбенты и двойную систему герметизации, остаются эффективными даже после аварий с тяжелыми ударными или раздавливающими воздействиями [I.22]. В самом деле, в описанном примере с источником I-131, который был полностью раздавлен в автодорожной аварии, после удаления обломков упаковки на дороге осталось менее 2% содержимого упаковки [I.24].

I.34. Потенциально наиболее тяжелыми аварийными условиями для множества упаковок типа А представляет сочетание тяжелого механического повреждения с пожаром. Однако даже и в этой ситуации роль обломков в удержании выхода радиоактивного материала может быть значительной, как это, по-видимому, произошло в авиакатастрофе самолета DC8 в 1979 г. в Афинах [I.21, I.22].

I.35. Зачастую при пожаре образуются относительно большие частицы материала, которые имеют тенденцию минимизировать любое поступление путем ингаляции и в то же время обеспечивают значительную поверхность для поглощения летучих компонентов и особенно паров жидкостей. Дополнительный ослабляющий фактор - усиленное локальное рассеяние, связанное с наличием конвективных потоков воздуха, вызванных горением, что также приводит к уменьшению поглощения за счет ингаляции.

I.36. На основе соображений, подобных приведенным здесь, для определения пределов содержимого упаковок типа А в Правилах признана подходящей доля выхода содержимого в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-2}$.

I.37. Диапазон коэффициента поступления (поглощения) $10^{-4} \div 10^{-3}$, используемый сейчас в системе Q, основан на рассмотрении ряда возможных аварийных ситуаций, происходящих как в помещении, так и на открытом воздухе. В первоначальных положениях системы Q рассматривалось облучение в помещении склада или помещении для обработки груза объемом 300 м^3 при четырехкратном обмене воздуха в помещении в час. Предполагая интенсивность дыхания взрослого человека $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ м^3/с, коэффициент поглощения получается равным приблизительно 10^{-3} за время облучения 30 мин. Альтернативный сценарий аварии предполагает облучение в транспортном средстве объемом 50 м^3 при десятикратном воздухообмене в час, как первоначально было принято при определении пределов утечки в нормальных условиях перевозки из упаковки типа В в Правилах МАГАТЭ издания 1985 г. Предполагая ту же интенсивность дыхания и время облучения, что и ранее, коэффициент поглощения получается равным $2{,}4 \cdot 10^{-3}$, т.е. имеющим тот же порядок величины, что и выше.

I.38. Для аварий, происходящих на открытом воздухе, наиболее консервативным предположением для атмосферного рассеяния вышедшего из упаковки материала является расположение точечного источника на уровне земли. Табулированные коэффициенты разбавления для этой ситуации на расстоянии 100 м по ветру изменяются в диапазоне от $7 \cdot 10^{-4}$ до $1{,}7 \cdot 10^{-2}$ с/м^3 [I.25], что соответствует коэффициенту поглощения в интервале от $2{,}3 \cdot 10^{-7}$ до $5{,}6 \cdot 10^{-6}$ для интенсивности дыхания взрослого человека, указанной ранее. Эти величины относятся к кратковременным выходам активности и охватывают диапазон погодных условий от крайне неустойчивых до крайне устойчивых; соответствующее значение для средних условий равно $3{,}3 \cdot 10^{-7}$, т.е. находится ближе к нижней границе указанного диапазона.

I.39. Экстраполяция использованных моделей расчета коэффициента разбавления в атмо-

сфере на меньшие расстояния по направлению ветра ненадежна, но уменьшение расстояния от облучающего объекта на порядок, т.е. до 10 м, увеличит приведенный выше коэффициент поглощения приблизительно в 30 раз. Это показывает, что если расстояние по ветру уменьшается до нескольких метров, то коэффициент поглощения приближается к величинам в диапазоне $10^{-4} \div 10^{-3}$, использованным в системе Q. Однако в этих обстоятельствах вступают в силу другие факторы, уменьшающие поглощение активности, и они даже могут стать доминирующими. Дополнительная турбулентность, ожидаемая при пожаре, упоминалась ранее. Можно предположить в результате турбулентности аналогичное уменьшение концентрации аэрозольных частиц, являющееся следствием потока воздуха вблизи вовлеченного в аварию перевозочного средства или вследствие влияния рядом расположенных зданий.

I.40. Таким образом, подводя итог, видно, что коэффициенты поступления в диапазоне $10^{-4} \div 10^{-3}$ приемлемы для определения пределов содержимого упаковок типа А. С учетом долей выхода содержимого, рассмотренных ранее, суммарный коэффициент поступления составляет 10^{-6}, как и в Правилах издания 1985 г. Однако в рамках системы Q эта величина представляет комбинацию выхода содержимого обычно в диапазоне $10^{-3} \div 10^{-2}$ от содержимого упаковки в виде вдыхаемого аэрозоля в сочетании с коэффициентом поступления вышедшего из упаковки материала в пределах $10^{-4} \div 10^{-3}$. Вместе с предельными дозами, рассмотренными ранее, это приводит к выражению для предела содержимого по условиям облучения ингаляционным путем в виде

$$Q_C = \frac{D}{1 \cdot 10^{-6} DC_{inh}} C \text{ ,}$$

где D – контрольная доза 0,05 Зв;

$1 \cdot 10^{-6}$ – часть содержимого упаковки, поступающая ингаляционным путем;

DC_{inh} – дозовый коэффициент для ингаляции;

C – переводной коэффициент, определяющий размерность Q_C.

Таким образом, величину Q_C можно рассчитать из

$$Q_C(\text{ТБк}) = \frac{5 \cdot 10^{-8}}{e_{inh}} \text{ ,}$$

где e_{inh} – эффективный дозовый коэффициент для ингаляции радионуклида, Зв/Бк.

Значения e_{inh} можно найти в табл. II и III в Серии по безопасности № 115. Коэффициенты дозы и мощности дозы можно найти в табл. II.2 приложения II.

I.41. В этом уравнении значение C было принято равным 10^{-12} ТБк/Бк.

I.42. Диапазоны выхода из упаковки и поступления, рассмотренные выше, отчасти определяются химической формой материалов и размером аэрозольных частиц. Учет химической формы главным образом влияет на дозу, приходящуюся на единицу поступления. Доля поступления, полученная выше, соответствует величине, использованной в более ранней системе Q. При расчете Q_C предполагались наиболее ограничивающая химическая форма и эффективные дозовые коэффициенты для аэрозолей с эквивалентным диаметром 1 мкм [I.9, I.10]. Величина эквивалентного диаметра 1 мкм, использованная в более ранней системе Q, оставлена, даже не смотря на то, что другие величины эквивалентного диаметра могут дать более консервативные дозовые коэффициенты для некоторых радионуклидов.

I.43. Для урана величины Q_C представляются применительно к типам поглощения в легких (первоначально названными классами очистки легких), определенным для большинства химических форм урана. Такое более детальное определение Q_C принято вследствие чувствительности мощности дозы на единицу поступления к типу поступления и вследствие того факта, что химическая форма перевозимого урана в целом известна.

Q_D – дозы от загрязнения кожи и перорального поступления

I.44. Значения Q_D для бета-излучателей определяются на основе рассмотрения дозы бета-излучения, получаемой кожей человека, загрязненной радиоактивным материалом не особого вида вследствие обращения с поврежденной упаковкой типа А. Модель, предложенная в рамках системы Q, предполагает, что 1% содержимого упаковки равномерно распределен на площади 1 м^2; предполагается, что результат обращения с обломками упаковки - загрязнение рук до 10% от этого уровня. Далее предполагается, что облученный человек не носит перчатки, но осознает возможность загрязнения или моет руки спустя 5 ч.

I.45. Взятые по отдельности, эти предположения выглядят несколько произвольно, но в целом они представляют разумную основу для оценки уровня загрязнения кожи, которое может возникнуть в условиях аварии. Он равен $10^{-3} \cdot Q_D$/м^2 при пределе мощности дозы для кожи, равном 0,1 Зв/ч при времени облучения 5 ч. В Правилах издания 1985 г. преобразование в дозу основано на максимальной энергии спектра бета-излучения в представлении в виде гистограммы.

I.46. Сейчас значения Q_D были рассчитаны с использованием спектра бета-излучения и

дискретных эмиссий электронов для радионуклидов, как табулировано МКРЗ [I.11, I.12]. Данные по эмиссии для интересующего нуклида были использованы вместе с данными Кросса и др. [I.27] по мощности дозы на кожу от моноэнергетических электронов, излучаемых с поверхности кожи. Величина Q_D определяется из:

$$Q_D = \frac{D}{10^{-3} \cdot DRC_{skin} \cdot t} C,$$

где D – контрольная доза 0,5 Зв;

10^{-3} – доля содержимого упаковки, распределенная на единице поверхности кожи ($м^{-2}$);

DRC_{skin} – коэффициент мощности дозы для загрязнения кожи;

t – время облучения $1{,}8 \cdot 10^4$ с (5 ч);

C – переводной коэффициент, определяющий размерность Q_D.

I.47. Так Q_D можно определить из

$$Q_D(\text{ТБк}) = \frac{2{,}8 \cdot 10^{-2}}{\dot{h}_{skin}},$$

где $\dot{h}_{skin}$ – доза на кожу на единицу активности на единицу площади кожи, $Зв \cdot с^{-1} \cdot ТБк^{-1} \cdot м^2$.

Коэффициенты дозы и мощности дозы можно найти в табл. II.2 приложения II.

I.48. В этом уравнении значение C было приравнено к 1.

I.49. Следует отметить, что для ряда радионуклидов значения Q_D имеют более ограничивающий характер, чем в более ранней системе Q. Эти меньшие значения Q_D, главным образом связаны с радионуклидами, излучающими внутренние конверсионные электроны.

I.50. Модели, используемые здесь при определении значений Q_D, могут также быть использованы для оценки возможного поступления радиоактивного материала пероральным путем. Предполагая, что пероральным путем в организм может поступать все загрязнение с поверхности кожи площадью 10^{-3} $м^2$ (10 $см^2$) в течение 24 ч, результирующее поступление составит $10^{-6} \cdot Q_D$, сравнимое с полученным ранее поступлением $10^{-6} \cdot Q_C$ за счет ингаляции. Поскольку доза на единицу поступления при ингаляции обычно имеет тот же порядок или превышает дозу от поступления пероральным путем [I.9], в рамках системы Q для внутреннего загрязнения бета-излучателями обычно является ограничивающим ингаляционный путь. В случаях, когда это неприменимо, почти без исключений, $Q_D << Q_C$, и подробное рассмотрение перорального пути облучения не требуется.

Q_E – доза вследствие погружения в облако газообразных изотопов

I.51. Значение Q_E для газообразных изотопов, не поступающих в организм человека, определяется по дозе облучения от погружения в облако, образовавшееся при аварии в ходе перевозки радиоактивных материалов не особого вида, как в сжатом, так и несжатом состоянии. Предполагается быстрый выход 100%-ного содержимого упаковки в помещении склада или помещении для обработки груза с размерами 3 м×10 м×10 м и четырехкратным обменом воздуха в течение 1 ч. Это приводит к начальной концентрации в воздухе $Q_E/300$ ($м^{-3}$), которая экспоненциально уменьшается с постоянной распада 4 $ч^{-1}$ в результате вентиляции в течение последующих 30 мин облучения, что дает средний уровень концентрации $1{,}44 \cdot 10^{-3}$ Q_E ($м^{-3}$). Концентрация, ведущая к пределам дозы указанным ранее, за тот же период равна 4000·DAC (Бк/$м^3$), где DAC – условная допустимая концентрация в воздухе, рекомендованная МКРЗ для профессионального облучения в течение 40 ч в неделю и 50 недель в году в помещении объемом 500 $м^3$. Использование критерия по радиационной защите DAC, более не является подходящим, и поэтому в настоящих расчетах используется коэффициент эффективной дозы для погружения в полубесконечное облако, взятый из Руководящего федерального отчета № 12 Агентства по охране окружающей среды США (U.S.E.P.A. Federal Guidance Report №. 12), как показано в табл. I.1.

Величина Q_E определяется выражением:

$$Q_E = \frac{D}{d_f \cdot DRC_{submm}} \cdot C,$$

где D – контрольная доза 0,05 Зв (или 0,5 Зв где Q_E ограничено облучением кожи);

d_f – концентрация в воздухе, интегрированная по времени;

DRC_{submm} – коэффициент эффективной дозы для погружения в облако, $Зв \cdot Бк^{-1} \cdot с^{-1} \cdot м^3$ (или коэффициент дозы на кожу для погружения не приведен);

C – переводной коэффициент, определяющий размерность Q_E.

В этом уравнении значение d_f принято равным 2,6 $Бк \cdot с \cdot м^{-3}$ на Бк, вышедший в определенное помещение, а коэффициент C – 10^{-12} ТБк/Бк.

I.52. Так Q_E можно рассчитать из

$$Q_E(\text{ТБк}) = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-14}}{h_{sub}},$$

где h_{sub} – коэффициент эффективной дозы для погружения в облако, Зв·Бк$^{-1}$·с$^{-1}$·м^3.

Коэффициенты дозы и мощности дозы можно найти в табл. II.2 приложения II.

Таблица I.1

Дозовые коэффициенты для погружения в облако

Дозовые коэффициенты h_{sub} для погружения в облако, Зв·Бк$^{-1}$·с$^{-1}$·м^3			
Нуклид	h_{sub}	Нуклид	h_{sub}
Ar-37	0	Xe-122	$2{,}19 \cdot 10^{-15}$
Ar-39	$1{,}15 \cdot 10^{-16}$	Xe-123	$2{,}82 \cdot 10^{-14}$
Ar-41	$6{,}14 \cdot 10^{-14}$	Xe-127	$1{,}12 \cdot 10^{-14}$
Ar-42	Нет значения	Xe-131m	$3{,}49 \cdot 10^{-16}$
Kr-81	$2{,}44 \cdot 10^{-16}$	Xe-133	$1{,}33 \cdot 10^{-15}$
Kr-85	$2{,}40 \cdot 10^{-16}$	Xe-135	$1{,}10 \cdot 10^{-14}$
Kr-85m	$6{,}87 \cdot 10^{-15}$	Rn-218	$3{,}40 \cdot 10^{-17}$
Kr-87	$3{,}97 \cdot 10^{-14}$	Rn-219	$2{,}46 \cdot 10^{-15}$
		Rn-220	$1{,}72 \cdot 10^{-17}$
		Rn-222	$1{,}77 \cdot 10^{-17}$

ОСОБЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

I.53. Дозиметрические модели, описанные в предыдущем разделе, применимы к подавляющему большинству интересующих радионуклидов и могут использоваться для определения их значений Q и соответствующих величин A_1 и A_2. Однако в ограниченном числе случаев эти модели неприменимы или нуждаются в доработке. В данном разделе обсуждаются особые соображения применительно к таким обстоятельствам.

Рассмотрение материнских и дочерних радионуклидов

I.54. В прежней системе Q предполагалось максимальное время перевозки 50 сут, и поэтому предполагалось, что продукты радиоактивного распада с периодом полураспада меньше 10 сут находятся в равновесии с их более долгоживущими материнскими радионуклидами. В таких случаях значения Q рассчитывались для материнских и дочерних радионуклидов, и ограничивающее значение использовалось при определении A_1 и A_2 материнского радионуклида. В случаях, когда дочерний радионуклид имеет период полураспада либо более 10 сут, либо больше чем у материнского нуклида, рассматривалась смесь дочерних и материнских радионуклидов.

I.55. Критерий периода полураспада 10 сут остался. Предполагается, что дочерние радионуклиды с периодом полураспада менее 10 сут находятся в вековом равновесии с более долгоживущим материнским радионуклидом; однако вклад дочерних радионуклидов в каждую величину Q суммируется с вкладом материнского нуклида. Это дает средства расчета для вторичных радионуклидов с ветвящимися фракциями менее единицы; например, Ba-137m образуется в 0,946 распадах его материнского нуклида Cs-137. Если период полураспада материнского нуклида менее 10 сут, а период полураспада дочернего нуклида более 10 сут, то грузоотправитель должен применять правило смешения. Например, упаковка, содержащая Ca-47 (4,53 сут) была рассчитана в переходном равновесии со своим дочерним радионуклидом Sc-47 (3,351 сут). Упаковка, содержащая Ge-77 (11,3 ч), будет рассчитана грузоотправителем как смесь Ge-77 и его дочернего нуклида As-77 (38,8 ч).

I.56. Иногда долгоживущий дочерний радионуклид образуется при распаде короткоживущего материнского радионуклида. В таких случаях возможный вклад дочернего радионуклида в облучение не может быть оценен без знания времени перевозки и накопления дочерних нуклидов. Необходимо определить время перевозки и накопление дочерних нуклидов для упаковки и устанавливать значения A_1/A_2, используя правило для смеси. В качестве примера рассмотрим Te-131m (30 час.), распадающийся на Te-131 (25 мин); последний, в свою очередь, распадается на I-131 (8,04 сут). Грузоотправитель должен применить правило для смеси к этой упаковке с активностью

I-131, определенной исходя из времени перевозки и накопления дочерних нуклидов. Приведенная выше трактовка цепей распада в некоторых случаях отличается от табл. I перечня I Основных норм безопасности (BSS). В этой таблице наличие векового равновесия предполагается для всех цепочек распада. Цепочки распада, для которых вклад дочерних нуклидов включается в определение величины Q материнского нуклида, приведены в табл. I.3.

Альфа-излучатели

I.57. Для альфа-излучателей обычно не нужно рассчитывать значения Q_A или Q_B для материалов особого вида из-за их относительно слабого гамма- и бета-излучения. В Правилах МАГАТЭ издания 1973 г. верхний предел альфа-излучателей особого вида был произвольно установлен равным $10^3 \cdot A_2$. Для этой процедуры нет дозиметрического обоснования, и признавая это, а также с учетом хорошей статистики перевозок РМ особого вида и с учетом уменьшения во многих случаях значений Q_C для альфа-излучателей в результате применения последних рекомендаций МКРЗ принято десятикратное увеличение произвольного коэффициента 10^3, приведенного выше. Соответственно для альфа-излучателей особого вида дополнительная величина Q, а именно $Q_F = 10^4 \cdot Q_C$, определена и включена, где необходимо, в колонку Q_A таблиц для значений Q.

I.58. Радионуклид считается альфа-излучателем, если более чем в 10^{-3} распадах он излучает альфа-частицы или при его распаде образуется альфа-излучатель. Например, Np-235, который распадается с излучением альфа-частиц в $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ распадах, не является альфа-излучателем для целей рассмотрения материалов особого вида. Аналогично Pb-212 – это альфа-излучатель, поскольку его дочерний нуклид Bi-212 подвержен альфа-распаду. В целом пределы материалов особого вида для альфа-излучателей увеличились с увеличением Q_C.

I.59. В отношении перорального поступления альфа-излучателей применимы аргументы, аналогичные использованным в случае бета-излучателей при рассмотрении Q_D, и путь облучения за счет ингаляции всегда накладывает большие ограничения, чем пероральный путь; поэтому последний не рассматривается подробно.

Нейтронные излучатели

I.60. Для нейтронных излучателей в системе Q изначально предполагалось, что ситуации с источниками (α,n) или (γ,n) либо со спонтанным источником нейтронов Cf-252, для которых доза от нейтронного излучения вносит значительный вклад в рассмотренные ранее пути внешнего или внутреннего облучения, неизвестны. Однако в случае источника Cf-252, дозой от нейтронов пренебрегать нельзя. Данные, приведенные в Публикации 21 МКРЗ [I.29] для нейтронного и гамма-излучения, указывают мощность дозы $2{,}54 \cdot 10^3$ бэр/ч на расстоянии 1 м от источника Cf-252 массой 1 г. В сочетании с указанным выше пределом мощности дозы 10 бэр/ч на указанном расстоянии, для Cf-252 это дает величину Q_A, равную 0,095 ТБк. Двукратное увеличение, согласно весовому коэффициенту для нейтронного излучения, рекомендованному МКРЗ [I.8], дает текущее значение для Q_A $4{,}7 \cdot 10^{-2}$. Это является более ограничивающим, чем значение 28 ТБк для Q_F, полученного на основе пересмотренного выражения для альфа-излучателей особого вида. Нейтронная компонента в дозе внешнего облучения от источника Cf-252 доминирует, и аналогичные соображения применимы к двум другим потенциальным спонтанным делящимся источникам Cm-248 и Cf-254. Значение Q_A для этих радионуклидов было оценено, исходя из того же коэффициента пересчета мощности дозы на единицу активности, что и в случае рассмотренного выше источника Cf-252 с допущением для них соответствующей мощности нейтронного излучения относительно мощности источника Cf-252.

Тормозное излучение

I.61. В целях защиты от возможного влияния тормозного излучения величины A_1 и A_2, приведенные в таблицах Правил МАГАТЭ издания 1973 г., были ограничены сверху пределом 1000 Ки. В рамках системы Q это ограничение осталось на уровне 40 ТБк. Оно было принято как произвольная величина отсечки без особой связи с тормозным излучением или иными дозиметрическими соображениями. Это осталось неизмененным.

I.62. Предварительная оценка тормозного излучения с соответствующими предположениями для Q_A и Q_B показывает, что цифра 40 ТБк разумна. Однако явное включение тормозного излучения в систему Q может ограничить A_1 и A_2 для некоторых нуклидов на уровне 20 ТБк, что в 2 раза меньше. Такой анализ служит поддержкой для использования произвольной величины отсечки.

Тритий и его соединения

I.63. При разработке системы Q признано, что жидкости, содержащие тритий, должны рассматриваться отдельно. Использовалась модель с разлитием большого количества воды, содер-

жащей тритий, на ограниченной площади в результате пожара. На основе этих предположений в Правилах издания 1985 г. значение A_2 для жидкостей с тритием установлено равным 40 ТБк при дополнительном условии, что концентрация должна быть меньше 1 ТБк/л. Внесение изменений в Правила издания 1996 г. не рассматривалось как необходимое.

Радон и его дочерние продукты

I.64. Как отмечалось ранее, величина Q_E рассчитывается для благородных газов, которые не поступают в организм и дочерние нуклиды которых либо стабильные, либо представляют собой другие благородные газы. В нескольких случаях это условие не выполняется, и следует учитывать иные дозиметрические пути, помимо внешнего облучения от погружения в радиоактивное облако. Единственным случаем, представляющим практический интерес в Правилах, является Rn-222, для которого доза на легкие вследствие ингаляции короткоживущих дочерних нуклидов специально рассмотрена МКРЗ [I.31].

I.65. Здесь при определении значений Q для Rn-222 учтены дочерние радионуклиды, перечисленные в табл. I.3. Соответствующее значение Q_C согласно расчету в Правилах издания 1985 г. равно 3,6 ТБк; однако допущение о 100%-ном выходе радона вместо $10^{-3} \div 10^{-2}$ доли для аэрозолей, предусмотренное в модели Q_C, приводит к снижению значения Q_C до $3{,}6 \cdot 10^{-3} \div 3{,}6 \cdot 10^{-2}$ ТБк. Кроме того, если рассматривать Rn-222 с его дочерними нуклидами как благородный газ, то это дает значение $Q_E = 4{,}2 \cdot 10^{-3}$ ТБк, что ближе к нижнему пределу диапазона значений Q_C, и это все еще служит пределом для упаковки типа А в случае материалов не особого вида, приведенным для Rn-222 в таблице величин Q. Дозиметрия радона продолжается, и эти значения могут быть пересмотрены в будущем.

ПРИМЕНЕНИЕ

Материалы с низкой удельной активностью с "неограниченными" значениями A_1 или A_2

I.66. В Правилах МАГАТЭ издания 1973 г. выделена категория материалов, удельная активность которых столь мала, что представляется немыслимым их поступление в организм, которое привело бы к значительному увеличению радиационной опасности, а именно материалы с НУА. Они были определены, исходя из того, что крайне маловероятно, чтобы индивидуум оставался в загрязненной атмосфере столь долго, чтобы вдохнуть более 10 мг материала. В этих условиях, если удельная активность материала такова, что поглощение такой массы эквивалентно предполагаемому поглощению активности 10^{-6} A_2 для человека, вовлеченного в аварию с упаковкой типа А, то этот материал не должен представлять опасность при транспортировании, большую, чем количество радиоактивного материала, транспортируемое в упаковках типа А. Эта гипотетическая модель оставлена в системе Q и приводит к критерию для НУА, равному $10^{-4} \cdot Q_C$/г; таким образом, значения Q для тех радионуклидов, удельная активность которых ниже указанного уровня, обозначены как "неограниченные". Если этот критерий выполняется, то эффективная доза, связанная с поступлением (поглощением) 10 мг нуклида, меньше, чем дозовый критерий 50 мЗв. Природный уран и торий, обедненный уран и другие материалы, такие как U-238, Th-232 и U-235, удовлетворяют вышеуказанному критерию. Расчеты с использованием новейших дозовых коэффициентов, приведенных в Основных нормах безопасности [I.10] и в изданиях МКРЗ [I.9], показывают, что необлученный уран, обогащенный до < 20%, также удовлетворяет этому критерию, если основываться на смесях изотопов, приведенных в документе ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) C996-90. Величины A_1 и A_2 для облученного переработанного урана следует рассчитывать на основе уравнения для смесей, принимая во внимание радионуклиды урана и продукты деления.

I.67. В представленных выше рассуждениях исключены соображения по поводу химической токсичности, для которой МКРЗ [I.33] рекомендовала предел дневного поглощения 2,5 мг.

I.68. Дальнейшее рассмотрение материалов НУА в контексте модели загрязнения кожи, использованной при определении величины Q_D, касается массы материала, которая может оставаться на коже в течение значительного периода времени. Согласованная точка зрения совещания Специальной рабочей группы сводилась к тому, что обычное присутствие $1 \div 10$ мг/см^2 загрязнения на руках легко обнаруживается и быстро стирается или смывается, вне зависимости от возможной активности. Решено, что верхний предел этого диапазона может служить порогом для массы материала, остающейся на коже, и вместе с рассмотренной ранее моделью загрязнения кожи для Q_D это дает предел $10^{-5} \cdot Q_D$/г для материалов НУА. На этой основе величины Q_D для радионуклидов, соответствующих данному критерию, в таблице величин Q также обозначены как "неограниченные".

Скорости утечки в нормальных условиях перевозки

I.69. При определении максимально допустимой скорости утечки для упаковок типа В в нормальных условиях перевозки в Правилах МАГАТЭ 1973 г. издания в качестве наиболее неблагоприятных условий принималось, что работник проводит 20% своего рабочего времени в закрытом транспортном средстве объемом 50 м^3 при десятикратном воздухообмене в час. Считалось, что транспортное средство содержит упаковку типа В, имеющую утечку активности со скоростью r (Бк/ч), и предполагалось консервативно, что результирующая концентрация активности в воздухе всегда находится в равновесии. На этой основе годовое поступление активности за счет ингаляции I_a человеком, работающим 2000 ч-ов в год со средней интенсивностью дыхания 1,25 м^3/ч, было рассчитано как

$$I_a = \frac{r}{50 \cdot 10} \cdot 1{,}25 \cdot 2000 \cdot 0{,}2$$

или

$$I_a = r.$$

I.70. Таким образом, максимальное годовое поступление активности равно активности, вышедшей за 1 ч. Это поступление было приравнено к исторически сложившейся максимально допустимой квартальной дозе профессионального облучения (30 мЗв на все тело, гонады и красный костный мозг; 150 мЗв – на кожу, щитовидную железу и кости и 80 мЗв на другие отдельные органы), которая из определения A_2 соответствовала поступлению $A_2 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, $r \leq A_2 \cdot 10^{-6}$ в ч.

I.71. В этих выкладках предполагается, что все вышедшие материалы оказываются взвешенными в воздухе и могут вдыхаться, тем самым для многих материалов оценка может быть очень завышена. Кроме того, предполагается наличие равновесных условий в течение всего времени. Эти факторы совместно с принципом, что утечка из упаковок типа В должна быть минимальной, определили, что облучение транспортных работников будет составлять лишь малую долю предела МКРЗ для радиационных рабочих. Кроме того, данный уровень консерватизма был сочтен адекватным, чтобы охватывать маловероятные ситуации нескольких упаковок с протечками в одном транспортном средстве.

I.72. В Правилах МАГАТЭ издания 1985 г. максимально допустимая скорость утечки из упаковок типа В в нормальных условиях перевозки не изменилась, хотя некоторые параметры, используемые в приведенных выше выкладках, были обновлены. В частности, в тогдашних рекомендациях МКРЗ [I.16] квартальные пределы заменены годовыми дозами или пределами поступления для радиационных рабочих. Это, в свою очередь, внедрено в усовершенствованный метод, известный как система Q для значений A_1 и A_2 как пределов содержимого упаковок типа А.

I.73. Дозовый критерий 50 мЗв, используемый в системе Q, таков, что в рамках Основных норм безопасности (BSS) система находится в области потенциального облучения. При определении допустимых пределов утечки в обычных условиях перевозки для упаковок типа В необходимо учитывать самые новейшие дозовые пределы для работников, равные 20 мЗв в год, осредненные за 5 лет [I.8]. Более ранние модели предполагают крайне пессимистичную модель облучения в течение 2000 ч в год. Оставляя эту величину вместе с облучением в помещении 30 м×10 м×10 м при четырехкратном воздухообмене в час и интенсивности дыхания взрослого человека 1,25 м^3/ч, допустимую скорость утечки r для эффективной дозы 20 мЗв можно рассчитать следующим образом:

$$r = \frac{20 \cdot 10^{-6} A_2}{50} \cdot \frac{3000 \cdot 4}{2000 \cdot 1{,}25} \text{ в час}$$

$$r = 1{,}9 \cdot 10^{-6} A_2 \text{ в час}$$

I.74. Принятые размеры помещения больше тех, которые предполагаются для резкого выхода активности в рамках системы Q. Однако предполагаемое время облучения очень пессимистично. Облучение в течение 200 ч в значительно меньшем помещении объемом 300 м^3 может приводить к той же прогнозируемой эффективной дозе. Для случайного облучения на открытом воздухе человека, находящегося вблизи упаковки типа В с протечкой, максимальная доза вследствие ингаляции может быть много меньше.

I.75. Таким образом, существующий предел $10^{-6} A_2$ в ч остался и, как показано, консервативен. Как следует из опыта показывает, что упаковки при нормальной перевозке редко имеют скорость утечки, близкую к предельно допустимой. Такая утечка из упаковок, содержащих жидкости, может приводить к очень серьезному загрязнению поверхности вблизи уплотнений и была бы легко обнаружена в результате радиационного контроля в ходе перевозка или при приемке груза грузополучателем.

Скорости утечки для аварийных условий

I.76. Аварии такой степени тяжести, которая моделируется в испытаниях упаковок типа В,

определенных Правилами, крайне маловероятны в условиях ограниченного пространства помещений либо, если такая авария произошла, условия потребуют немедленную эвакуацию всех людей, находящихся поблизости. Следовательно, сценарий облучения, представляющий интерес в данном контексте – это авария, происходящая на открытом воздухе. В такой ситуации радиационные последствия максимально допустимого выхода активности величиной A_2 за неделю от упаковки типа В можно выразить как предел эквивалентной дозы облучения лиц, непрерывно находящихся с подветренной стороны от поврежденной упаковки в течение времени выхода активности.

I.77. На практике маловероятно, что аварийный выход будет иметь место в течение всей недели. В большинстве ситуаций аварийная бригада прибывает на место аварии и предпринимает эффективные восстановительные действия по ограничению выхода в течение нескольких ч-ов. На этой основе максимальная эффективная доза от ингаляции для лиц, находящихся на расстоянии 50 ÷ 200 м по ветру от поврежденной упаковки типа В, при средних погодных условиях равна 1 ÷ 10 мЗв, и увеличивается приблизительно в 5 раз при менее вероятных в целом и преобладающих стабильных метеорологических условиях (см., например, рис. 3 из [I.35]). Эффекты локальной герметизации и турбулентности в атмосфере вблизи радиоактивного источника плюс возможные эффекты поднимающегося шлейфа, если имеет место пожар, будут стремиться уменьшать пространственную неравномерность доз на расстояниях от источника, превышающих несколько десятков метров, и приближать ее к нижней границе диапазона доз, указанного выше. Пренебрежение возможными дозами для лиц, находящихся в нескольких десятках метров от источника, считается обоснованным отчасти, за счет консервативного предположения непрерывного облучения с подветренной стороны от источника в течение всего периода выхода активности и, отчасти, тем фактом, что аварийный персонал в этой зоне должен работать при наличии дозиметрического контроля и наблюдения.

I.78. Особое положение для Kr-85, которое введено в Правилах МАГАТЭ издания 1973 г., и было сохранено в Правилах МАГАТЭ издания 1985 г., основано на учете радиационных последствий выхода этого радионуклида. Допустимый выход величиной $10\,A_2$ первоначально получен на основе сравнения потенциальной дозы облучения всего тела или любого критического органа человека, облученного на расстоянии примерно 20 м от источника Kr-85 и других не газообразных радионуклидов. В частности, было отмечено, что модель ингаляционного пути облучения, использованная при определении значений A_2 неприемлема для разреженного газа, который в значительной степени не проникает в ткани тела. Эта критика остается в силе и для Правил МАГАТЭ издания 1996 г. (а значит, и в НП-053-04), где в рамках системы Q значение A_2 для Kr-85 равно значению Q_E для дозы от погружения в облако для кожи лиц, облученных в помещении после быстрого выхода содержимого упаковки типа А при аварии. Можно показать, что даже допустимый выход величиной $10\,A_2$ для Kr-85 крайне консервативен по сравнению с эквивалентными значениями A_2 для других негазообразных радионуклидов. Для выхода величиной A_2, подверженного разбавлению в степени d_f, максимальная результирующая эффективная доза за счет ингаляции D_{inh} определяется по выражению:

$$D_{inh} = A_2 \cdot d_f \cdot 3{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{50}{A_2 \cdot 10^{-6}} \text{ (мЗв)},$$

где $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ – средняя интенсивность дыхания взрослого человека (м^3/с), а поступление $A_2 \cdot 10^{-6}$ уравнено с дозой 50 мЗв.

На этой же основе выход $10A_2$ для Kr-85 (100 ТБк) приводит к дозе от погружения в облако, определяемой по выражению:

$$D_{submm} = 100 \cdot d_f \cdot 2{,}4 \cdot 10^{-1} \text{ (мЗв)},$$

где $2{,}4 \cdot 10^{-1}$ – коэффициент дозы от погружения в облако, мЗв·м^3·ТБк$^{-1}$·с$^{-1}$.

I.79. Из приведенных выше выражений D_{inh}/D_{submm} равно приблизительно 680. Таким образом, предел выхода активности из упаковки типа В для Kr-85 представляется более, чем на два порядка величины консервативнее по сравнению с другими негазообразными радионуклидами.

ТАБЛИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ Q

I.80. Полный перечень значений Q, определенных на основе моделей, описанных в предыдущих разделах, представлен в табл. I.2. Туда также включены соответствующие значения A_1 и A_2 пределов содержимого упаковок типа А для РМ особого вида и радиоактивных материалов, не относящихся к особому виду, соответственно. Значения Q в табл. I.2 округлены до двух значащих цифр, а значения A_1 и A_2 – до одной; в последнем случае также применен условный (произвольный) предел 40 ТБк.

I.81. В целом новые значения лежат в пределах диапазона, определяемого троекратным изменением более ранних величин; имеется несколько радионуклидов, для которых новые значения A_1 и A_2 выходят за пределы этого диапазона. Несколько десятков радионуклидов имеют новые значения A_1, превышающие прежние в 10 ÷ 100 раз. Это имеет место главным образом из-за усо-

вершенствования моделирования бета-излучателей. Нет новых значений A_1 и A_2, более чем в 10 раз меньших, чем предыдущие значения для тех же самых радионуклидов. Некоторые радионуклиды, включенные ранее, теперь исключены из перечня, но включены дополнительные изомеры Eu-150 и Np-236.

Таблица I.2

Пределы содержимого упаковки типа А: Q_A, Q_B, Q_C и т.д.

Значения и пределы для материалов особого вида (A_1) и не особого вида (A_2)

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Ac-225		$4{,}9\cdot10^{+00}$	$8{,}5\cdot10^{-01}$	$6{,}3\cdot10^{-03}$	$3{,}0\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-03}$
Ac-227	а	$9{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}3\cdot10^{+02}$	$9{,}3\cdot10^{-05}$	$3{,}7\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-05}$
Ac-228		$1{,}2\cdot10^{+00}$	$5{,}6\cdot10^{-01}$	$2{,}0\cdot10^{+00}$	$5{,}2\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Ag-105		$2{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}3\cdot10^{+01}$	$2{,}5\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Ag-108m		$6{,}5\cdot10^{-01}$	$5{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}4\cdot10^{+00}$	$6{,}0\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Ag-110m		$4{,}2\cdot10^{-01}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$4{,}2\cdot10^{+00}$	$2{,}1\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Ag-111		$4{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}9\cdot10^{+00}$	$2{,}9\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Al-26		$4{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}4\cdot10^{-01}$	$2{,}8\cdot10^{+00}$	$7{,}1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{-01}$
Am-241	а	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{-03}$	$3{,}8\cdot10^{+02}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Am-242m	а	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$5{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{-03}$	$8{,}4\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Am-243		$5.0\cdot10^{+00}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$1{,}3\cdot10^{-03}$	$4{,}1\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{-03}$
Ar-37		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Ar-39		—	$7{,}3\cdot10^{+01}$	—	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Ar-41		$8{,}8\cdot10^{-01}$	$3{,}1\cdot10^{-01}$	—	$3{,}1\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
As-72		$6{,}1\cdot10^{-01}$	$2{,}8\cdot10^{-01}$	$5{,}4\cdot10^{+01}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
As-73		$9{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
As-74		$1{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$2{,}4\cdot10^{+01}$	$9{,}4\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{-01}$
As-76		$2{,}5\cdot10^{+00}$	$2{,}5\cdot10^{-01}$	$6{,}8\cdot10^{+01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
As-77		$1{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}3\cdot10^{+02}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
At-211		$2{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}1\cdot10^{-01}$	$4{,}4\cdot10^{+02}$	$2\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Au-193		$7{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Au-194		$1.1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}0\cdot10^{+02}$	$6{,}1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Au-195		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}1\cdot10^{+01}$	$5{,}5\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{+00}$
Au-198		$2{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$6{,}0\cdot10^{+01}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Au-199		$1{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}7\cdot10^{+01}$	$6{,}4\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Ba-131		$1{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}9\cdot10^{+02}$	$2{,}2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Ba-133		$2{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Ba-133m		$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Ba-140		$6{,}3\cdot10^{-01}$	$4{,}5\cdot10^{-01}$	$2{,}4\cdot10^{+01}$	$3{,}1\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Be-7		$2.1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Be-10		—	$5{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Bi-205		$6{,}9\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Bi-206		$3{,}4\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Bi-207		$7.1\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}4\cdot10^{+00}$	$5{,}0\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Bi-210		—	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Bi-210m		$4{,}3\cdot10^{+00}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$	$4{,}9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-02}$
Bi-212		$1{,}0\cdot10^{+00}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Bk-247	а	$7{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}7\cdot10^{-04}$	$1{,}4\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-04}$

Радио-нуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Bk-249		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{-01}$
Br-76		$4{,}4\cdot10^{-01}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$9{,}9\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Br-77		$3{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}7\cdot10^{+02}$	$2{,}3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Br-82		$4{,}1\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}8\cdot10^{+01}$	$7{,}7\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
C-11		$1{,}0\cdot10^{+00}$	$2{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
C-14		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}6\cdot10^{+01}$	$3{,}2\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$
Ca-41		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Ca-45		$1{,}0\cdot10^{+3}$	$1{,}0\cdot10^{+3}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$
Ca-47		$2{,}7\cdot10^{+00}$	$3{,}7\cdot10^{+01}$	$2{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{-01}$
Cd-109		$2{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}9\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$
Cd-113m		—	$9{,}1\cdot10^{+01}$	$4{,}5\cdot10^{-01}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Cd-115		$3{,}9\cdot10^{+00}$	$3{,}3\cdot10^{+00}$	$4{,}3\cdot10^{+01}$	$3{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$
Cd-115m		$5{,}0\cdot10^{+01}$	$5{,}2\cdot10^{-01}$	$6{,}8\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Ce-139		$6{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}8\cdot10^{+01}$	$2{,}2\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Ce-141		$1{,}6\cdot10^{+01}$	$3{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Ce-143		$3{,}7\cdot10^{+00}$	$8{,}9\cdot10^{-01}$	$6{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Ce-144		$2{,}2\cdot10^{+01}$	$2{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$3{,}8\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Cf-248	а	$6{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}1\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-03}$
Cf-249		$3{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}6\cdot10^{-04}$	$4{,}6\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-04}$
Cf-250	а	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-03}$
Cf-251	а	$7{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}5\cdot10^{-04}$	$5{,}2\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-04}$
Cf-252		$4{,}7\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}8\cdot10^{-03}$	$5{,}2\cdot10^{+02}$	$5\cdot10^{-02}$	$3\cdot10^{-03}$
Cf-253	а	$4{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}2\cdot10^{-02}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{-02}$
Cf-254		$1{,}4\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1\cdot10^{-03}$	$1\cdot10^{-03}$
Cl-36		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+01}$	$7{,}2\cdot10^{+00}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Cl-38		$8{,}1\cdot10^{-01}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}6\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Cm-240	а	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}7\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$
Cm-241		$2{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Cm-242	а	$1{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-02}$
Cm-243		$8{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{-03}$	$8{,}3\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{-03}$
Cm-244	а	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-03}$
Cm-245	а	$9{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}1\cdot10^{-04}$	$2{,}7\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{-04}$
Cm-246	а	$9{,}1\cdot0^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}1\cdot10^{-04}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{-04}$
Cm-247		$3{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}6\cdot10^{+02}$	$9{,}8\cdot10^{-04}$	Неогранич.	$3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{-03}$
Cm-248		$1{,}8\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}5\cdot10^{-04}$	Неогранич.	$2\cdot10^{-02}$	$3\cdot10^{-04}$
Co-55		$5{,}4\cdot10^{-01}$	$9{,}7\cdot10^{-01}$	$9{,}1\cdot10^{+01}$	$7{,}7\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Co-56		$3{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$7{,}8\cdot10^{+00}$	$2{,}9\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Co-57		$1{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Co-58		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$7{,}8\cdot10^{+02}$	$2{,}5\cdot10^{+01}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Co-58m		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Co-60		$4{,}5\cdot10^{-01}$	$7{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$9{,}7\cdot10^{-01}$	$4\times\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Cr-51		$3{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Cs-129		$3{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}7\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$
Cs-131		$3{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Cs-132		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}1\cdot10^{+02}$	$2{,}5\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Cs-134		$6{,}9\cdot10^{-01}$	$3{,}6\cdot10^{+00}$	$7{,}4\cdot10^{+00}$	$9{,}2\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Cs-134m		$3{,}7\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Cs-135		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$
Cs-136		$5{,}1\cdot10^{-01}$	$8{,}3\cdot10^{+02}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$7{,}0\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Cs-137		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$8{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Cu-64		$5{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+02}$	$4{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Cu-67		$1{,}0\cdot10^{+01}$	$4{,}1\cdot10^{+02}$	$8{,}6\cdot10^{+01}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
Dy-159		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Dy-165		$4{,}1\cdot10^{+01}$	$9{,}4\cdot10^{-01}$	$8{,}2\cdot10^{+02}$	$3{,}4\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Dy-166		$3{,}4\cdot10^{+01}$	$8{,}6\cdot10^{-01}$	$2{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}4\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Er-169		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}1\cdot10^{+01}$	$9{,}5\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$
Er-171		$2{,}9\cdot10^{+00}$	$8{,}3\cdot10^{-01}$	$2{,}3\cdot10^{+02}$	$5{,}1\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Eu-147		$2{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Eu-148		$5{,}1\cdot10^{-01}$	$5{,}1\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$5{,}1\cdot10^{-01}$
Eu-149		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}9\cdot10^{+02}$	$7{,}4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Eu-150 (34г)		$7{,}2\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$7{,}1\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Eu-150m (13ч)		$23\cdot10^{+01}$	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$
Eu-152		$9{,}6\cdot10^{-01}$	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Eu-152m		$3{,}7\cdot10^{+00}$	$8{,}1\cdot10^{-01}$	$2{,}3\cdot10^{+02}$	$7{,}8\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$
Eu-154		$9{,}0\cdot10^{-01}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$5{,}5\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Eu-155		$1{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}7\cdot10^{+00}$	$3{,}2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$
Eu-156		$8{,}8\cdot10^{-01}$	$7{,}4\cdot10^{-01}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$6{,}7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
F-18		$1{,}0\cdot10^{+00}$	$2{,}8\cdot10^{+01}$	$8{,}3\cdot10^{+02}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Fe-52		$4{,}1\cdot10^{-01}$	$3{,}2\cdot10^{-01}$	$7{,}6\cdot10^{+01}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Fe-55		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Fe-59		$9{,}4\cdot10^{-01}$	$4{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$8{,}9\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$
Fe-60		$2{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}1\cdot10^{-01}$	$3{,}7\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-01}$
Ga-67		$7{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}2\cdot10^{+02}$	$3{,}2\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Ga-68		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$4{,}6\cdot10^{-01}$	$9{,}8\cdot10^{+02}$	$6{,}6\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Ga-72		$4{,}3\cdot10^{-01}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$9{,}1\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Gd-146		$5{,}3\cdot10^{-01}$	$2{,}9\cdot10^{+02}$	$7{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Gd-148	а	$2{,}0\cdot10^{+01}$	—	$2{,}0\cdot10^{-03}$	—	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-03}$
Gd-153		$9{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}4\cdot10^{+01}$	$8{,}9\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{+00}$
Gd-159		$2{,}1\cdot10^{+01}$	$3{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}9\cdot10^{+02}$	$6{,}4\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Ge-68		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$4{,}6\cdot10^{-01}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$6{,}6\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Ge-71		$5{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Ge-77		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Hf-172		$5{,}8\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Hf-175		$2{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$4{,}7\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Hf-181		$1{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$5{,}0\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{-01}$
Hf-182		$4{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.
Hg-194		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Hg-195m		$3{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}3\cdot10^{+00}$	$7{,}3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$

Радио-нуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Hg-197		$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Hg-197m		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}1\cdot10^{+00}$	$3{,}5\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{-01}$
Hg-203		$4{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Ho-166		$3{,}8\cdot10^{+01}$	$4{,}4\cdot10^{-01}$	$7{,}6\cdot10^{+01}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Ho-166m		$6{,}2\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
I-123		$6{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}3\cdot10^{+02}$	$2{,}9\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
I-124		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$6{,}0\cdot10^{+00}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$2{,}5\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
I-125		$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$
I-126		$2{,}3\cdot10^{+00}$	$6{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
I-129		$2{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
I-131		$2{,}8\cdot10^{+00}$	$2{,}0\cdot10^{+01}$	$2{,}3\cdot10^{+00}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$
I-132		$4{,}8\cdot10^{-01}$	$4{,}4\cdot10^{-01}$	$1{,}8\cdot10^{+02}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
I-133		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$7{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
I-134		$4{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}2\cdot10^{-01}$	$6{,}9\cdot10^{+02}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
I-135		$8{,}2\cdot10^{-01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$5{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
In-111		$2{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}2\cdot10^{+02}$	$3{,}0\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
In-113m		$4{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
In-114m		$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}4\cdot10^{+00}$	$4{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
In-115m		$6{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Ir-189		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Ir-190		$7{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$7{,}5\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Ir-192		$1{,}3\cdot10^{+00}$	$4{,}6\cdot10^{+01}$	$8{,}1\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Ir-194		$1{,}2\cdot10^{+01}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	$8{,}9\cdot10^{+01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
K-40		$7{,}3\cdot10^{+00}$	$9{,}4\cdot10^{-01}$	Неогранич.	Неогранич.	$9\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$
K-42		$4{,}2\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}8\cdot10^{+02}$	$5{,}7\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
K-43		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$7{,}3\cdot10^{-01}$	$3{,}3\cdot10^{+02}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Kr-81		$1{,}1\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$7{,}9\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Kr-85		$4{,}8\cdot10^{+02}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	—	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Kr-85m		$7{,}5\cdot10^{+00}$	$7{,}6\cdot10^{+00}$	—	$2{,}8\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Kr-87		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$2{,}1\cdot10^{-01}$	—	$4{,}8\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
La-137		$3{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{+00}$
La-140		$4{,}9\cdot10^{-01}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Lu-172		$5{,}9\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$2{,}2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Lu-173		$8{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}7\cdot10^{+01}$	$8\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{+00}$
Lu-174		$8{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$2{,}9\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{+00}$
Lu-174m		$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$3{,}7\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Lu-177		$3{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}2\cdot10^{+01}$	$7{,}3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
Mg-28		$3{,}7\cdot10^{-01}$	$2{,}5\cdot10^{-01}$	$2{,}6\cdot10^{+01}$	$3{,}2\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Mn-52		$3{,}2\cdot10^{-01}$	$7{,}3\cdot10^{+02}$	$3{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}9\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Mn-53		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Mn-54		$1{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Mn-56		$6{,}7\cdot10^{-01}$	$3{,}0\cdot10^{-01}$	$3{,}8\cdot10^{+02}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Mo-93		$8{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Mo-99		$6{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$5{,}1\cdot10^{+01}$	$5{,}5\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
N-13		$1{,}0\cdot10^{+00}$	$9{,}3\cdot10^{-01}$	—	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Na-22		$5{,}0\cdot10^{-01}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$	$3{,}8\cdot10^{+01}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Na-24		$3{,}0\cdot10^{-01}$	$2{,}0\cdot10^{-01}$	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Nb-93m		$4{,}9\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Nb-94		$6{,}8\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$7{,}0\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Nb-95		$1{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}1\cdot10^{+01}$	$4{,}0\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Nb-97		$1{,}6\cdot10^{+00}$	$9{,}0\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$
Nd-147		$7{,}4\cdot10^{+00}$	$5{,}6\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Nd-149		$2{,}9\cdot10^{+00}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$5{,}6\cdot10^{+02}$	$5{,}1\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Ni-59		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.
Ni-63		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Ni-65		$2{,}1\cdot10^{+00}$	$4{,}4\cdot10^{-01}$	$5{,}7\cdot10+^{02}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Np-235		$1{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Np-236 (10^5 лет)		$8{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}7\cdot10^{-02}$	$5{,}0\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{-02}$
Np-236m (22 ч)		$2{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}5\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$
Np-237	а	$2{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}4\cdot10^{-03}$	Неограничен.	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-03}$
Np-239		$6{,}7\cdot10^{+00}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$5{,}6\cdot10^{+01}$	$4{,}1\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$
Os-185		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$2{,}3\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Os-191		$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}8\cdot10^{+01}$	$2{,}3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$
Os-191m		$1{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+02}$	$2{,}7\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Os-193		$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$9{,}8\cdot10^{+01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Os-194		$1{,}2\cdot10^{+01}$	$3{,}1\cdot10^{-01}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
P-32		—	$4{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
P-33		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$
Pa-230		$1{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}6\cdot10^{-02}$	$2{,}1\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-02}$
Pa-231	а	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}8\cdot10^{-04}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-04}$	$3{,}8\cdot10^{+00}$
Pa-233		$5{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$
Pb-201		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}7\cdot10^{+02}$	$3{,}3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Pb-202		$9{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Pb-203		$3{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}5\cdot10^{+02}$	$2{,}6\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Pb-205		$8{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.
Pb-210		$2{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$5{,}1\cdot10^{-02}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{-02}$
Pb-212		$1{,}0\cdot10^{+00}$	$7{,}0\cdot10^{-01}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$2{,}7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Pd-103		$4{,}7\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Pd-107		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.
Pd-109		$7{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$4{,}7\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{-01}$
Pm-143		$3{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}6\cdot10^{+01}$	$3{,}6\cdot10^{+02}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Pm-144		$6{,}7\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}4\cdot10^{+00}$	$3{,}4\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Pm-145		$2{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Pm-147		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$
Pm-148m		$7{,}6\cdot10^{+00}$	$9{,}1\cdot10^{+00}$	$7{,}2\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$8{,}3\cdot10^{-01}$
Pm-149		$1{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$6{,}9\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Pm-151		$3{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+02}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Po-210	а	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}7\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Pr-142		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}6\cdot10^{-01}$	$8{,}9\cdot10^{+01}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Pr-143		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}0\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Pt-188		$9{,}7\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}7\cdot10^{+01}$	$7{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-01}$
Pt-191		$3{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{+02}$	$3{,}5\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Pt-193		$8{,}7\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Pt-193m		$9{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}8\cdot10^{+02}$	$5{,}5\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Pt-195m		$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$4{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Pt-197		$4{,}7\cdot10^{+01}$	$2{,}4\cdot10^{+01}$	$5{,}5\cdot10^{+02}$	$6{,}3\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Pt-197m		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-01}$
Pu-236	а	$2{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}8\cdot10^{-03}$	$6{,}5\cdot10^{+02}$	$3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{-03}$
Pu-237		$2{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$
Pu-238	а	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{-03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Pu-239	а	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Pu-240	а	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Pu-241		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}9\cdot10^{-02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-02}$
Pu-242	а	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Pu-244		$3{,}1\cdot10^{+00}$	$3{,}8\cdot10^{-01}$	$1{,}1\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$4\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{-03}$
Ra-223		$3{,}9\cdot10^{+00}$	$4{,}0\cdot10^{-01}$	$7{,}2\cdot10^{-03}$	$2{,}6\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-03}$
Ra-224		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$4{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$	$2{,}7\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-02}$
Ra-225		$1{,}2\cdot10^{+01}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}6\cdot10^{-03}$	$2{,}3\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-03}$
Ra-226		$6{,}5\cdot10^{-01}$	$2{,}5\cdot10^{-01}$	$2{,}7\cdot10^{-03}$	$2{,}7\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-03}$
Ra-228		$1{,}2\cdot10^{+00}$	$5{,}6\cdot10^{-01}$	$1{,}9\cdot10^{-02}$	$5{,}2\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-02}$
Rb-81		$1{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}3\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-01}$
Rb-83		$2{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}9\cdot10^{+01}$	$4{,}3\cdot10^{+02}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Rb-84		$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4{,}0\cdot10^{+01}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$2{,}2\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Rb-86		$1{,}2\cdot10^{+01}$	$4{,}8\cdot10^{-01}$	$5{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Rb-87		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Rb(природ.)		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Re-184		$1{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Re-184m		$2{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Re-186		$5{,}8\cdot10^{+01}$	$2{,}0\cdot10^{+00}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Re-187		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Re-188		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}5\cdot10^{-01}$	$9{,}1\cdot10^{+01}$	$5{,}4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Re-189		$3{,}2\cdot10^{+01}$	$2{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$5{,}7\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Rb(природ.)		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Rh-99		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}0\cdot10^{+01}$	$7{,}5\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Rh-101		$4{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}8\cdot10^{+00}$	$2{,}6\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Rh-102		$5{,}0\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}1\cdot10^{+00}$	$5{,}4\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Rh-102m		$2{,}2\cdot10^{+00}$	$8{,}9\cdot10^{+00}$	$7{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Rh-103m		$4{,}5\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Rh-105		$1{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}8\cdot10^{+02}$	$1{,}5\cdot10^{+02}$	$7{,}9\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$8\cdot10^{-01}$
Rn-222		$6{,}7\cdot10^{-01}$	$2{,}6\cdot10^{-01}$	—	$4{,}2\cdot10^{-03}$	$3\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-03}$
Ru-97		$4{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{+02}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{+00}$
Ru-103		$2{,}2\cdot10^{+00}$	$2{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Ru-105		$1{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$2{,}8\cdot10^{+02}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Ru-106		$5{,}3\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$8{,}1\cdot10^{-01}$	$5{,}7\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
S-35		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}8\cdot10^{+01}$	$3{,}0\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Sb-122		$2{,}4\cdot10^{+00}$	$4{,}3\cdot10^{-01}$	$5{,}0\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Sb-124		$6{,}2\cdot10^{-01}$	$7{,}2\cdot10^{-01}$	$8{,}2\cdot10^{+00}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Sb-125		$2{,}4\cdot10^{+00}$	$2{,}5\cdot10^{+02}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Sb-126		$3{,}8\cdot10^{-01}$	$1{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$7{,}1\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Sc-44		$5{,}1\cdot10^{-01}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$2{,}6\cdot10^{+02}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Sc-46		$5{,}4\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}8\cdot10^{+00}$	$8{,}5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Sc-47		$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$7{,}1\cdot10^{+01}$	$7{,}0\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
Sc-48		$3{,}3\cdot10^{-01}$	$9{,}0\cdot10^{-01}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$6{,}5\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Se-75		$2{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Se-79		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}7\cdot10^{+01}$	$2{,}3\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$
Si-31		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$6{,}3\cdot10^{+02}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Si-32		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Sm-145		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Sm-147		$5{,}6\cdot10^{+01}$	—	Неограничен.	—	Неограничен.	Неограничен.
Sm-151		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Sm-153		$1{,}7\cdot10^{+01}$	$9{,}1\cdot10^{+00}$	$8{,}2\cdot10^{+01}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Sn-113		$3{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}6\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Sn-117m		$7{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$4{,}0\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$
Sn-119m		$6{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}5\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Sn-121m		$1{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}1\cdot10^{+01}$	$8{,}5\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-01}$
Sn-123		$1{,}6\cdot10^{+02}$	$7{,}5\cdot10^{-01}$	$6{,}5\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Sn-125		$3{,}6\cdot10^{+00}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$1{,}7\cdot10^{+01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Sn-126		$6{,}6\cdot10^{-01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$1{,}9\cdot10^{+00}$	$3{,}6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Sr-82		$9{,}7\cdot10^{-01}$	$2{,}4\cdot10^{-01}$	$5{,}0\cdot10^{+00}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Sr-85		$2{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}5\cdot10^{+01}$	$8{,}5\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Sr-85m		$5{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Sr-87m		$3{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Sr-89		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$6{,}7\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Sr-90		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	$3{,}1\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Sr-91		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$3{,}0\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$6{,}0\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Sr-92		$8{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$3{,}1\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{-01}$
T(H-3)		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Ta-178 (2.2ч)		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}2\cdot10^{+02}$	$8{,}2\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-01}$
Ta-179		$3{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+01}$
Ta-182		$8{,}7\cdot10^{-01}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$5{,}1\cdot10^{+00}$	$5{,}4\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Tb-157		$3{,}1\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Tb-158		$1{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}6\cdot10^{+02}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Tb-160		$9{,}8\cdot10^{-01}$	$2{,}3\cdot10^{+00}$	$7{,}6\cdot10^{+00}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Tc-95m		$1{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}7\cdot10^{+01}$	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Tc-96		$4{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Tc-96m		$4{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Tc-97		$7{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.	Неограничен.
Tc-97m		$8{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}4\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+00}$
Tc-98		$7{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	$6{,}8\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$
Tc-99		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неограничен.	$8{,}8\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-01}$

Радио-нуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
Tc-99m		$9{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}3\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+00}$
Te-121		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+02}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Te-121m		$5{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$2{,}5\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Te-123m		$7{,}7\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Te-125m		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$9{,}1\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-01}$
Te-127		$2{,}2\cdot10^{+02}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$4{,}2\cdot10^{+02}$	$6{,}6\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
Te-127m		$5{,}0\cdot10^{+01}$	$1{,}9\cdot10^{+01}$	$6{,}8\cdot10^{+00}$	$5{,}0\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-01}$
Te-129		$1{,}7\cdot10^{+01}$	$6{,}6\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Te-129m		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$8{,}5\cdot10^{-01}$	$7{,}9\cdot10^{+00}$	$4{,}4\cdot10^{-01}$	$8\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Te-131m		$7{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$4{,}9\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$
Te-132		$4{,}9\cdot10^{-01}$	$4{,}9\cdot10^{-01}$	$2{,}0\cdot10^{+01}$	$4{,}2\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Th-227		$1{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}2\cdot10^{-03}$	$4{,}7\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$5\cdot10^{-03}$
Th-228		$7{,}6\cdot10^{-01}$	$5{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{-03}$	$2{,}7\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{-03}$
Th-229	а	$5{,}1\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}1\cdot10^{-04}$	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{-04}$
Th-230	а	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
Th-231		$3{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$	$1{,}2\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$
Th-232		$1{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Th-234		$4{,}2\cdot10^{+01}$	$3{,}0\cdot10^{-01}$	$6{,}8\cdot10^{+00}$	$4{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Th(природ.)		$4{,}7\cdot10^{-01}$	$2{,}7\cdot10^{-01}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Ti-44		$4{,}8\cdot10^{-01}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$4{,}2\cdot10^{-01}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$5\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Tl-200		$8{,}5\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}6\cdot10^{+02}$	$7{,}1\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{-01}$	$9\cdot10^{-01}$
Tl-201		$1{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}0\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+00}$
Tl-202		$2{,}3\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$2{,}5\cdot10^{+02}$	$1{,}6\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Tl-204		$9{,}9\cdot10^{+02}$	$9{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}1\cdot10^{+02}$	$6{,}9\cdot10^{-01}$	$1\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-01}$
Tm-167		$7{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4{,}5\cdot10^{+01}$	$8{,}2\cdot10^{-01}$	$7\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-01}$
Tm-170		$2{,}0\cdot10^{+02}$	$2{,}6\cdot10^{+00}$	$7{,}6\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Tm-171		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
U-230(F)		$5{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{-01}$	$3{,}1\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-01}$
U-230(M)	а	$3{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}8\cdot10^{-03}$	$3{,}1\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{-01}$
U-230(S)	а	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}3\cdot10^{-03}$	$3{,}1\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{-03}$
U-232(F)	а	$1{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{-02}$	$1{,}8\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-02}$
U-232(M)	а	$7{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}1\cdot10^{-03}$	$1{,}8\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{+01}$	$7\cdot10^{-03}$
U-232(S)	а	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{-03}$	$1{,}8\cdot10^{+02}$	$1\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{-03}$
U-233(F)		$8{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$8{,}8\cdot10^{-02}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-02}$
U-233(M)	а	$1{,}6\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$
U-233(S)	а	$5{,}7\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}7\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-03}$
U-234(F)		$6{,}0\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$9{,}1\cdot10^{-02}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$9\cdot10^{-02}$
U-234(M)	а	$1{,}6\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$
U-234(S)	а	$5{,}9\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}9\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-03}$
U-235(F)		$6{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-235(M)		$6{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-235(S)		$6{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-236(F)		$6{,}4\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-236(M)	а	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}7\cdot10^{-02}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{-02}$
U-236(S)	а	$6{,}3\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}3\cdot10^{-03}$	Неогранич.	$4\cdot10^{+01}$	$6\cdot10^{-03}$
U-238(F)		$7{,}5\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-238(M)	а	$1{,}9\cdot10^{+02}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U-238(S)	а	$6{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U(природн.)		$6{,}4\cdot10^{-01}$	$1{,}3\cdot10^{-01}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U (<20% об.)		—	—	—	—	Неогранич.	Неогранич.

Радионуклид	а – приведено Q_F вместо Q_A	Q_A или Q_F, ТБк	Q_B, ТБк	Q_C, ТБк	Q_D или Q_E, ТБк	A_1, ТБк	A_2, ТБк
U(разб.)		$4{,}7\cdot10^{+01}$	$3{,}3\cdot10^{-01}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
V-48		$3{,}8\cdot10^{-01}$	$3{,}0\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{+01}$	$1{,}1\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
V-49		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
W-178		$8{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}4\cdot10^{+02}$	$4{,}6\cdot10^{+00}$	$9\cdot10^{+00}$	$5\cdot10^{+00}$
W-181		$2{,}6\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$5{,}3\cdot10^{+02}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+01}$
W-185		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}6\cdot10^{+02}$	$8{,}1\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{+01}$	$8\cdot10^{-01}$
W-187		$2{,}2\cdot10^{+00}$	$2{,}1\cdot10^{+00}$	$2{,}5\cdot10^{+02}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
W-188		$2{,}0\cdot10^{+01}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$4{,}4\cdot10^{+01}$	$3{,}5\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Xe-122		$1{,}1\cdot10^{+00}$	$4{,}0\cdot10^{-01}$	—	$8{,}8\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Xe-123		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+01}$	—	$6{,}8\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$7\cdot10^{-01}$
Xe-127		$3{,}9\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$1{,}7\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Xe-131m		$3{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$4{,}0\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$	$4\cdot10^{+01}$
Xe-133		$2{,}1\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	—	$1{,}5\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+01}$	$1\cdot10^{+01}$
Xe-135		$4{,}5\cdot10^{+00}$	$3{,}5\cdot10^{+00}$	—	$1{,}8\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Y-87		$1{,}4\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$3{,}2\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Y-88		$4{,}3\cdot10^{-01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$2{,}2\cdot10^{+02}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$
Y-90		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}3\cdot10^{+01}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Y-91		$3{,}1\cdot10^{+02}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$6{,}0\cdot10^{+00}$	$6{,}1\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$	$6\cdot10^{-01}$
Y-91m		$2{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Y-92		$4{,}4\cdot10^{+00}$	$2{,}2\cdot10^{-01}$	$2{,}5\cdot10^{+02}$	$5{,}6\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{-01}$
Y-93		$1{,}3\cdot10^{+01}$	$2{,}6\cdot10^{-01}$	$1{,}2\cdot10^{+02}$	$5{,}8\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{-01}$
Yb-169		$3{,}5\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}8\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+00}$	$4\cdot10^{+00}$	$1\cdot10^{+00}$
Yb-175		$2{,}7\cdot10^{+01}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$7{,}1\cdot10^{+01}$	$4{,}2\cdot10^{+01}$	$2\cdot10^{+00}$	$2\cdot10^{+00}$
Zn-69		$1{,}0\cdot10^{+03}$	$3{,}2\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$6{,}2\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Zn-69m		$3{,}4\cdot10^{+00}$	$4{,}0\cdot10^{+00}$	$1{,}7\cdot10^{+02}$	$5{,}9\cdot10^{-01}$	$3\cdot10^{+00}$	$6\cdot10^{-01}$
Zr-88		$2{,}6\cdot10^{+00}$	$1{,}0\cdot10^{+03}$	$1{,}4\cdot10^{+01}$	$2{,}1\cdot10^{+01}$	$3\cdot10^{+00}$	$3\cdot10^{+00}$
Zr-93		—	$1{,}0\cdot10^{+03}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Zr-95		$1{,}8\cdot10^{+00}$	$4{,}5\cdot10^{+02}$	$9{,}1\cdot10^{+00}$	$8{,}5\cdot10^{-01}$	$2\cdot10^{+00}$	$8\cdot10^{-01}$
Zr-97		$9{,}2\cdot10^{-01}$	$3{,}7\cdot10^{-01}$	$5{,}0\cdot10^{+01}$	$5{,}6\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$	$4\cdot10^{-01}$

Рассмотрение физических и химических свойств

I.82. Еще одним фактором, рассмотренным на совещании Специальной рабочей группы, была необходимость применения дополнительных пределов для материалов, физические свойства которых могут сделать неприменимыми предположения, использованные при выводе значений Q, обсуждавшихся выше. Такие соображения характерны для материалов, которые могут стать летучими при повышенных температурах, возможных при пожаре, либо которые могут перевозиться в виде очень тонко измельченных порошков, особенно для моделей, использованных при определении значений Q_C. Однако в итоге был сделан вывод, что только в крайне экстремальных обстоятельствах принятый коэффициент поступления 10^{-6} будет превышен и что нет необходимости в специальной модификации модели Q_C для этих материалов.

I.83. Как и в случае Правил МАГАТЭ издания 1985 г., химическая форма или химические свойства радионуклидов не учитываются. Однако при определении значений Q_C используются наиболее ограничивающие дозовые коэффициенты из рекомендованных МКРЗ [I.8].

Облучение несколькими путями

I.84. Следуя Правилам МАГАТЭ издания 1985 г., описанное здесь использование системы Q предполагает определение каждого значения Q и, следовательно, учет каждого потенциального пути облучения по отдельности. В целом это соответствует дозиметрическим критериям, определенным ранее, при условии, что дозы, которые получают индивидуумы вблизи поврежденной упа-

ковки, определяются одним путем. Однако если два или более значений Q близки друг к другу, это условие не выполняется. Например в случае перевозки радионуклида, представляющего собой радиоактивный материал особого вида, для которого $Q_A \approx Q_B$, по расчетам на основе моделей системы Q, эффективная доза и доза на кожу облученного человека могут приблизиться к 50 мЗв и 0,5 Зв соответственно. Анализ табл. I.2 показывает, что это соображение справедливо лишь в отношении относительно небольшого числа радионуклидов, и по этой причине в системе Q сохранено независимое рассмотрение путей облучения.

Смеси радионуклидов

I.85. Наконец, необходимо рассматривать пределы содержимого упаковки для смесей радионуклидов, включая особый случай смеси продуктов деления. Для смесей радионуклидов, название и активность которых известны, необходимо показывать, что:

$$\sum_i \frac{B(i)}{A_1(i)} + \sum_j \frac{C(j)}{A_2(j)} \leq 1,$$

где $B(i)$ – активность радионуклида i материала особого вида;
$A_1(i)$ – значение A_1 для радионуклида i;
$C(j)$ – активность радионуклида j материала не особого вида;
$A_2(j)$ – значение A_2 для радионуклида j.

I.86. Альтернативно значения для смеси могут быть определены как:

$$X_m \text{для смеси} = \frac{1}{\sum_i \frac{f(i)}{X(i)}},$$

где $f(i)$ – доля активности радионуклида i в смеси;
$X(i)$ – соответствующее значение A_1 или A_2 для радионуклида;
X_m – полученное значение A_1 или A_2 для смеси.

ЦЕПОЧКИ РАСПАДА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМЕ Q

I.87. В табл. I.3 приведены цепочки распада, использованные при определении значений A_1 и A_2 в рамках системы Q, как описано в пп. I.54–I.56.

ВЫВОДЫ

I.88. Описанная здесь система Q представляет собой модернизацию первоначальной системы A_1/A_2, использованной для Правил МАГАТЭ издания 1985 г. при определении пределов содержимого упаковок типа А и других пределов. Она учитывает последние рекомендации МКРЗ и благодаря детальному определению дозиметрических соображений, лежащих в основе этих пределов, обеспечивает прочную и авторитетную основу для Правил.

I.89. Сейчас система Q имеет следующие отличительные черты:

(1) Радиологические критерии и предположения по облучению, использованные в Правилах издания 1985 г. рассмотрены повторно и сохранены;

(2) Приняты значения эффективной дозы из Публикации 60 МКРЗ [I.8];

(3) Расчет дозы внешнего облучения от фотонов и бета-частиц досконально пересмотрен;

(4) Расчет поступления ингаляционным путем выполняется теперь по эффективной дозе и основан на дозовых коэффициентах из Основных норм безопасности (BSS) [I.10] и Публикации 68 МКРЗ [I.9].

Дальнейший пересмотр на основе будущих исследований не исключается.

Таблица I.3

Цепочки распада, используемые в системе Q

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
12 Mg 28(*)	13 Al 28
18 Ar 42(*)	19 K 42
20 Ca 47	21 Sc 47
22 Ti 44(*)	21 Sc44
26 Fe 52(*)	25 Mn 52m

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
6 Fe 60	27 Co 60m
30 Zn 69m(*)	30 Zn 69
32 Ge 68(*)	31 Ga68
37 Rb 83	36 Kr 83m
38 Sr 82(*)	37 Rb 82
38 Sr 90(*)	39 Y90
38 Sr91	39 Y 91m
38 Sr92(*)	39 Y92
39 Y87	38 Sr 87m
40 Zr 95	41 Nb 95m
40 Zr 97	41 Nb 97m, 41 Nb 97
42 Mo 99	43 Tc 99m
43 Tc 95m	43 Tc 95
43 Tc 96m(*)	43 Tc 96
44 Ru 103	45 Rh 103m
44 Ru 106(*)	45 Rh 106
46 Pd 103	45 Rh 103m
47 Ag 108m	47 Ag 108
47 Ag 110m	47 Ag 110
48 Cd 115	49 In 115m
49 Inll4m(*)	49 In1 14
50 Snll3	49 In 113m
50 Sn 121m	50 Sn 121
50 Sn 126	51 Sb 126m
52 Te 118	51 Sb 118
52 Te 127m	52 Te 127
52 Te 129m	52 Te 129
52 Te 131m	52 Te 131
52 Te 132	53 I 132
53 I 135	51 Xe 135m
54 Xe 122	53 I 122
55 Cs 137	56 Ba 137m
56 Ba 131	55 Cs 131
56 Ba 140	57 La 140
58 Ce 144	Pr 144m, 59 Pr 144
61 Pm 148m	61 Pm 148
64 Gd 146	63 Eu 148
66 Dy 166	67 Ho 166
72 Hf 172	71 Lu 172
74 W 178	73 Ta 178
74 W 188	75 Re 188
75 Re 189	76 Os 189m

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
76 Os 194	77 Os 194
77 Ir 189	76 Os 189m
78 Pt 188	77 Ir 188
80 Hg 194	79 Au 194
80 Hg 195m	80 Hg 195
82 Pb 210	83 Bi 210
82 Pb 212	83 Bi 212, 81 Tl 208, 84 Po 212
83 Bi 210m	81 Tl 206
83 Bi 212	81 Tl 208, 84 Po 212
85 At 211	84 Po 211
86 Rn 222	84 Po 218, 82 Pb 214, 85 At 218, 83 Bi 214, 84 Po 214
88 Ra 223	86 Rn 219, 84 Po 215, 82 Pb 211, 83 Bi 211, 84 Po 211, 81 Tl 207
88 Ra 224	86 Rn 220, 84 Po 216, 82 Pb 212, 83 Bi 212, 81 Tl 208, 84 Po 212
88 Ra 225	89 Ac 225, 87 Fr 221, 85 At 217, 83 Bi 213, 81 Tl 209, 84 Po 213, 82 Pb 209
88 Ra 226	86 Rn 222, 84 Po 218, 82 Pb 214, 85 At 218, 83 Bi 214, 84 Po 214
88 Ra 228	89 Ac 228
89 Ac 225	87 Fr 221, 85 At 217, 83 Bi 213, 81 Tl 209, 84 Po 213, 82 Pb 209
89 Ac 227	87 Fr 223
90 Th 228	88 Ra 224, 86 Rn 220, 84 Po 216, 82 Pb 212, 83 Bi 212, 81 Tl 208, 84 Po 212
90 Th 234	91 Pa 234m, 91 Pa 234
91 Pa 230	89 Ac 226, 90 Th 226, 87 Fr 222, 88 Ra 222, 86 Rn 218, 84 Po 214
92 U 230	90 Th 226, 88 Ra 222, 86 Rn 218, 84 Po 214
92 U 235	90 Th 231
94 Pu 241	92 U 237
94 Pu 244	92 U 240, 93 Np 240m
95 Am 242m	95 Am 242, 93 Np 238
95 Am 243	93 Np 239
96 Cm 247	94 Pu 243
97 Bk 249	95 Am 245
98 Cf 253	96 Cm 249

Литература к приложению I

[I.8] Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60 МКРЗ, ч.1,2: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994.

[I.9] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication No. 68, Pergamon Press, Oxford and New York (1995).

[I.10] Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности № 115.: Пер. с англ. – МАГАТЭ, Вена, 1997.

[I.11] Схема распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения. Публикация 38 МКРЗ, в 2-х ч.: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

[I.12] Данные для использования при защите от внешнего излучения. Защита пациента в ядерной медицине. Публикации 51, 52 МКРЗ: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

[I.14] CROSS, W.G., ING, H., FREEDMAN, N.O., WONG, P.J., Table of beta-ray dose distributions in

an infinite water medium, Health Phys. 63 (1992) 2.
[I.15] CROSS, W.G., ING , H., FREEDMAN, N.O., MAINVILLE, J., Tables of Beta-Ray Dose Distributions in Water, Air, and Other Media, Rep. AECL-7617, Atomic Energy of Canada Ltd., Chalk River, Ontario (1982).
[I.16] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford and New York (1977).
[I.19] Пределы поступления радионуклидов для работающих с ионизирующим излучением. Публикация 30 МКРЗ, ч. 1,2,3: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1982, 1983, 1984.
[I.21] HADJIANTONION, A., ARMIRIOTIS, J., ZANNOS, A., "The performance of Type A packaging under air crash and fire accident conditions", там же.
[I.22] TAYLOR, C.B.G., "Radioisotope packages in crush and fire", PATRAM 80 (Proc. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt fur Materialprufung, Berlin (1980).
[I.24] WEHNER, G., "The importance of reportable events in public acceptance", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 83 (Proc. Symp. New Orleans, 1983), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1983).
[I.25] BRYANT, P.M., Methods of Estimation of the Dispersion of Windborne Material and Data to Assist in their Application, Rep. AHSB(RP)R42, UKAEA, Berkeley, UK (1964).
[I.27] CROSS,W.G., FREEDMAN, N.O.,WONG, P.Y., Beta ray dose distributions from skin contamination, Radiat. Prot. Dosim. 40 3 (1992) 149–168.
[I.29] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15, ICRP Publication 21, Pergamon Press, Oxford and New York (1973).
[I.31] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers, ICRP Publication 32, Pergamon Press, Oxford and New York (1981).
[I.33] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (as amended 1959 and revised 1962), ICRP Publication 6, Pergamon Press, Oxford and New York (1964).
[I.35] MACDONALD, H.F., "Individual and collective doses arising in the transport of irradiated nuclear fuels", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt fur Materialprufung, Berlin (1980).

Приложение II

УКЛАДКА И КРЕПЛЕНИЕ УПАКОВОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ

(цитируется по приложению V руководства МАГАТЭ TS-G-1.1)

ВВЕДЕНИЕ

V.1. Для безопасной перевозки радиоактивных упаковок их следует удерживать от перемещения внутри или на поверхности транспортного средства во время транспортных операций, как требуется Правилами. Подробные требования соответствующих пунктов Правил применяются следующим образом:

п. 5.1.13 (п. 564 Правил МАГАТЭ-96): надежная укладка груза – это можно обеспечить различными системами удержания (см. ниже);

п. 2.4.1 (п. 606 Правил МАГАТЭ-96): каждая упаковка должна конструироваться с уделением надлежащего внимания системе ее крепления, подходящей для каждого вида предполагаемого транспорта;

п. 2.4.6 (п. 612 Правил МАГАТЭ-96): компоненты упаковки и системы ее крепления должны конструироваться так, чтобы их целостность не нарушалась в ходе обычных операций по перевозке;

п. 2.8.4 (п. 636 Правил МАГАТЭ-96): целостность упаковок (от ПУ-3 до типа С) не должна нарушаться усилиями от швартовочных тросов или иных систем крепления, прикладываемыми к упаковке или точкам ее крепления, как в нормальных, так и в аварийных условиях перевозки.

V.2. Некоторые аспекты, относящиеся к этим пунктам Правил, представлены в соответствующих пунктах рекомендаций в основном тексте данной публикации, а дополнительные детали содержатся в этом приложении и в документах [V.1–V.27]. Системы крепления упаковок должны конструироваться так, чтобы выдерживать только обычные условия перевозки. Поэтому в нормальных или аварийных условиях перевозки допускается, и это может быть заложено в конструкции, отделение упаковки от транспортного средства за счет разрушения или конструктивного разъединения ее креплений с целью сохранения целостности упаковки. Инерционные силы, действующие на упаковку, могут возникать из-за неровностей дороги или трассы, вибраций, линейного ускорения

или торможения, изменения направления, заносов на дороге при ненастной погоде, не приводящих к столкновению, железнодорожных стрелок, неспокойного моря, зон турбулентности и жестких приземлений на воздушном транспорте.

ТИПЫ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ

V.3. Что способ крепления предполагает использование стяжек, но существует набор приемлемых способов удержания, которые могут применяться, как показано ниже:

- натянутые стяжки или ремни (стропы, веревки, цепи и т.п.), связывающие точки крепления на упаковке и местоположения анкеров на транспортном средстве;
- натянутые стяжки, сети или ремни, перекинутые через верх упаковки и прикрепленные только к транспортному средству (т.е. нет точек крепления на упаковке);
- цапфы на упаковке, крепящиеся к опорам, находящимся на транспортной раме либо образующей чти транспортного средства;
- фланцы на опоре или основании, являющиеся неотъемлемой чтью упаковки, и прикрепляемые болтами к транспортной раме или прямо к транспортному средству;
- поворотные замки по стандарту ISO нормальной или повышенной прочности;
- башмаки, прикрепленные к транспортному средству, либо стеллаж, прикрепленный к транспортному средству, либо углубление (например, колодец), выполненное в транспортном средстве, посредством которого упаковка удерживается за счет собственной массы.

V.4. Если требуется, некоторые из этих способов крепления могут комбинироваться таким образом, как рекомендуется, чтобы упаковки были одновременно и подперты и привязаны. Способы крепления следует выбирать так, чтобы они не вызывали повреждений упаковок и даже не создавали в упаковке и системе ее крепления напряжений, превышающих предел текучести, в обычных условиях перевозки. Требование о том, что целостность упаковки не должна нарушаться из-за превышения нагрузок в нормальных или аварийных условиях перевозки, может быть удовлетворено конструктором путем использования соединений заданной ограниченной прочности в точках крепления упаковки либо в стяжках, предназначенных для удержания.

V.5. Что большие и тяжелые упаковки крепятся к транспортному средству специализированным способом. Легкие и маленькие упаковки обычно перевозятся в закрытых транспортных средствах и блокируются, расчаливаются, раскрепляются с помощью стяжек или крепятся иным способом для перевозки. Специализированное оборудование для крепления упаковок следует определять и специфицировать при их конструировании, а для использования упаковки и системы ее крепления следует составлять эксплуатационные и рабочие инструкции. При отсутствии такого специализированного оборудования грузоотправитель и перевозчик отвечают за обеспечение того, что перемещение упаковки производится в соответствии с нормативными и транспортными требованиями на соответствующем виде транспорта, например, с использованием стяжек или грузовых сетей общего назначения.

V.6. Натянутые стяжки представляют собой широко используемый способ крепления упаковок, и следует отметить следующие практические аспекты их применения:

- Башмаки, прикрепленные к транспортному средству и упирающиеся в основание упаковки для ограничения ее горизонтального перемещения, сильно уменьшают нагрузки на натянутые стяжки, а также улучшают мгновенные динамические нагрузки, давая тем самым стяжкам критическое дополнительное время, чтобы растягиваться равномерно, а не резким рывком.
- Угол, образуемый элементами стяжки и транспортным средством при взгляде сбоку и сверху, следует делать близким к 45°, чтобы эффективно противостоять усилиям во всех трех направлениях (продольном, поперечном и вертикальном). Если упаковка велика по отношению к размерам транспортного средства, стяжки могут пересекаться для достижения номинальных углов крепления 45°. Следует предотвращать трение швартовочных тросов друг о друга или о части упаковки или транспортного средства. Для несимметричной упаковки углы натяжения стяжек следует изменять, принимая во внимание геометрические параметры упаковки.
- Стяжки следует крепить в натянутом положении во избежание их ослабления в пути, проверять и обслуживать в процессе перевозки. Возможное ослабление в результате вибрации следует исключать путем использования виброустойчивых соединений.
- Анкеры (и башмаки) следует крепить непосредственно к раме транспортного средства, а не к платформе, если платформа не способна противостоять конструкционным нагрузкам.

РАССМОТРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗОК УПАКОВКИ

V.7. Из-за различий в транспортных инфраструктурах и с учетом мировой практики в мире необходимо обращаться к национальным компетентным органам, национальным и международным транспортным отраслевым нормам и правилам для подтверждения обязательных или рекомендованных коэффициентов перегрузок упаковки вместе со специальными условиями перевозки, которые следует использовать при конструировании упаковок и систем их крепления. Эти коэффициенты перегрузок представляют инерционное воздействие упаковки и прикладываются в центре массы упаковки как эквивалентные статические силы, для противостояния которым следует конструировать систему крепления. Поскольку многие упаковки предназначены для использования более чем в одной стране и более чем для одного вида транспорта, следует применять самые большие коэффициенты перегрузок из принятых в соответствующих странах и для используемых видов транспорта.

V.8. При конструировании и анализе упаковок и систем их крепления необходимо использовать коэффициенты перегрузок. В табл. V.1 даны значения коэффициентов перегрузок, которые могли бы использоваться при конструировании упаковок и систем их крепления для обычных условий перевозки. Значения, приведенные для каждого вида транспорта, могут соответствовать большей чти национальных и международных правил. На проектировщика и пользователя упаковки возлагается обеспечение того, чтобы система крепления упаковки была сконструирована в соответствии со значениями этих величин, определенных компетентными органами и транспортными организациями на отдельных видах транспорта.

V.9. В дополнение к учету этих квазистатических сил проектировщик упаковки должен также учитывать влияние колебательных нагрузок, способных приводить к усталостному разрушению компонентов упаковки и системы ее крепления. Следует учитывать то, что упаковки и системы их крепления должны противостоять износу, коррозии и т.п. в течение предполагаемого срока службы. Все конструкционные критерии, включая пределы прочности и усталостных напряжений, используемые при конструировании упаковки и системы ее крепления, следует согласовывать с соответствующим компетентным органом. В частности, перегрузки, определенные для обычных условий перевозки, не должны приводить к появлению текучести материала в каком-либо компоненте упаковки или системы его крепления, иначе при его повторном использовании в перевозках повреждение может увеличиться и вызвать преждевременный отказ.

Таблица V.1

Коэффициенты перегрузок для конструкций систем крепления упаковок

Вид транспорта	Коэффициенты перегрузки		
	Продольный	Поперечный	Вертикальный
Автотранспорт	2*g*	1*g*	2*g* вверх, 3*g* вниз
Железнодорожный	5*g*	2*g*	2*g* вверх, 2*g* вниз
Морской (речной)	2*g*	2*g*	2*g* вверх, 2*g* вниз
Воздушный[a]	1,5*g* (9*g* вперед)	1,5*g*	2*g* вверх, 6*g* вниз

[a] Коэффициент вертикальной перегрузки для воздушных перевозок зависит от ускорения при изменении угла тангажа самолета данного типа в условиях максимального порыва ветра и положения груза по отношению к центру тяжести самолета. Приведенные значения максимальны для большинства современных самолетов. Продольное ускорение 9*g* по направлению вперед необходимо только, если отсутствует укрепленная переборка между грузовым отсеком и экипажем самолета.

V.10. Силы, прилагаемые к упаковке, можно определять, умножив коэффициенты перегрузок на массу упаковки. Для вертикальных перегрузок коэффициент не учитывает гравитацию.

V.11. Для некоторых упаковок уже имеются соглашения со многими компетентными органами и транспортными организациями о том, что могут использоваться отличающиеся коэффициенты перегрузок. В табл. V.2 приведено ограниченное количество таких упаковок, остальные примеры можно найти в документах [V.1–V.27], см., в частности документы [V.10–V.12]. Значения перегрузок, в табл. V.2 представлены так же, как и в соответствующих справочных документах, и могут не являться абсолютными перегрузками. Для пояснений следует обращаться к исходным документам. На конструктора и пользователя упаковки возложена обязанность связываться с компетентным органом за пределами этих соглашений для подтверждения, что эти коэффициенты будут приемлемы для предполагаемых транспортных операций.

ДЕМОНСТРАЦИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПУТЕМ ИСПЫТАНИЙ

V.12. Может быть желательным продемонстрировать путем испытаний, что упаковка и система ее крепления соответствуют требованиям к коэффициентам перегрузок. Если для оценки поведения системы крепления используются датчики ускорения, то при определении эквивалентных квазистатических нагрузок следует учитывать верхнюю граничную частоту. Верхнюю граничную частоту следует выбирать соответственно массе, форме и размерам рассматриваемых упаковок и транспортного средства. Опыт показывает, что для упаковок массой 100 т граничная частота должна быть порядка 10 ÷ 20 Гц [V.8]. Для меньших упаковок массой m т, граничную частоту следует подбирать путем умножения на коэффициент $(100/m)^{1/3}$.

Таблица V.2

Коэффициенты перегрузок для конструкций систем крепления отдельных упаковок

Тип упаковки	Вид транспорта	Коэффициент перегрузок		
		продольный	поперечный	вертикальный
Сертифицированные упаковки для делящихся материалов и упаковки типа В в США [V.7]	Все	10g	5g	2g
Упаковки с РМ в Европе по железной дороге(UIC) [V.8]	Ж/д	4g (1g[a])	0,5g[a]	1g ± 0.3g[a]
Перевозка облученного ядерного топлива, плутония и высокоактивных отходов на судах [V.9]	Морской	1,5g	1,5g	1g вверх, 2g вниз
Перевозка РМ на баржах в пределах страны [V.6]	Морской (речной)	1,5g	1,6g	2g
Упаковки с гексафторидом урана [V.1]	Автотранспорт и ж/д	2g	1g	±1g
	Морской	2g	1g	±2g
	Воздушный	3g	1,5g	±3g

[a] Меньшие коэффициенты перегрузок допустимы, если совершаются специальные перемещения в специализированных железнодорожных вагонах. Большие коэффициенты ускорения требуются, если вероятны подъемы рывком за точки крепления либо железнодорожные вагоны должны перевозиться на трейлерных паромах [V.8].

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ КРЕПЛЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКИ

V.13. Множество конструкций используется для крепления упаковок в или на транспортном средстве, две из них проиллюстрированы здесь:

(1) использование стяжек с башмаками;

(2) жесткое основание (фланец), крепящийся болтами к транспортному средству.

V.14. Они основаны на рассчитанных примерах, данных различных ссылочных документов в конце приложения, см., в частности, документы [V.3, V.11, V.17]. Трение между упаковкой и платформой транспортного средства учитываться не должно и может рассматриваться только как выигрыш, дающий дополнительный, но не рассчитываемый количественно запас по безопасности.

V.15. Точные расчеты нагрузок, возникающих от и внутри систем крепления и обусловленных перегрузками, которые, как предполагается, действуют одновременно в разных направлениях, аналитически сложны, их анализ еще более усложняется в случае избыточных систем крепления. Тем не менее от конструктора требуется количественно определять нагрузки, передаваемые от системы крепления к упаковке и транспортному средству (за счет реакции). Такое количественное определение необходимо в различных расчетах:

(i) для определения максимальных усилий крепления упаковки;

(ii) для обеспечения того, что при определенных условиях перегрузок, система крепления должным образом определена и фиксация упаковки должным образом обеспечена;

(iii) для определения максимальных усилий на анкера на перевозочном средстве;

(iv) для демонстрации компетентному органу, что целостность упаковки обеспечивается в соответствии с требованиями НП-053-04 и (или) документа Серия норм безопасности № ST-1;

(v) для обеспечения должных спецификаций в инструкциях по укладке (для перевозчика);

(vi) для четкого определения критериев, обеспечивающих соответствие компонентов и оснастки системы крепления приведенным выше соображениям.

V.16. Чтобы показывать уровень рассуждений, требуемых даже для простой статически определенной системы крепления, приводятся два следующих примера с упрощающими предположениями.

Система натянутых стяжек с башмаками

V.17. Рассмотрим жесткую упаковку, закрепленную с помощью четырех симметрично расположенных натянутых стяжек. Чтобы рассчитать верхний предел сил, действующих в стяжках и, следовательно, реактивных сил, воздействующих в местах креплений на упаковке и перевозочном средстве, необходим упрощенный метод. Этот метод применим только к статически определенным системам; для получения верхнего предела сил относительно поведения системы сделаны простые итеративные предположения.

V.18. На рис. V.1 изображена кубическая упаковка массы M. Все размеры, X, Y, и Z, равны и центр тяжести находится в точке $X/2$, $Y/2$, $Z/2$. Углы φ равны и находятся в вертикальных плоскостях стяжек. Аналогично равны углы α в горизонтальной плоскости. Упаковка закреплена симметрично четырьмя стяжками 1, 2, 3, и 4, как показано на рис. V.1. Натяжение в стяжках соответственно, P_1, P_2, P_3 и P_4. Ускорения упаковки равны a_x, a_y и a_z.

V.19. Под действием абсолютных ускорений a_x, a_y и a_z упаковка подвергается воздействию сил F_x, F_y, F_z (равных Ma_x, Ma_y, Ma_z, соответственно) и силы F_g (равной Mg), приложенных к центру тяжести. В данном примере предполагается, что в момент, предшествующий возникновению сил, предварительное натяжение во всех стяжках (P_1, P_2, P_3 и P_4) близко к нулю, т.е. стяжки просто "натянуты" (без провисания).

V.20. Рассмотрим силу F_x, действующую отдельно: только стяжки P_1 и P_4 сопротивляются этой силе через натяжение, поскольку стяжки P_2 и P_3 не действуют на сжатие. Рассмотрим силу F_y, действующую отдельно: с теми же самыми аргументами, что и выше, только стяжки P_1 и P_2 сопротивляются этой силе через натяжение.

V.21. Рассмотрим силы F_x и F_z, действующие совместно: жесткая упаковка стремится опрокинуться через край днища, а стяжки P_1 и P_4 сопротивляются этому за счет натяжения. Рассмотрим также силы F_y и F_z, действующие совместно: стяжки P_1 и P_2 сопротивляются опрокидыванию за счет натяжения. Симметрия этого примера обеспечивает то, что определенные выше пары стяжек несут равную нагрузку.

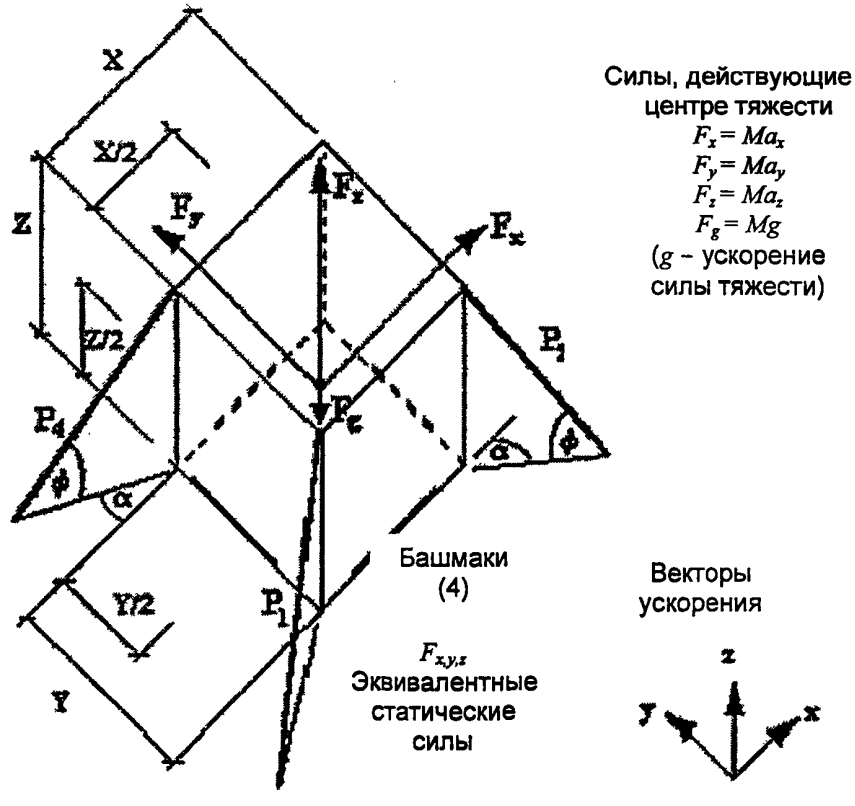


Рис. V.1. Графическое представление системы натянутых стяжек с башмаками

V.22. Для расчета верхнего предела натяжения стяжек рассмотрим силы F_x и F_z, действующие совместно, и упаковку в точке опрокидывания через край днища. Беря моменты сил относительно этого края, получим следующее:

$$F_x (Z/2) + F_z (X/2) = F_g (X/2) + 2ZP_{1x} (\cos \varphi \cos \alpha) + 2XP_{1x} \sin \varphi.$$

V.23. Поскольку $Z = X$, $F_x = Ma_x$, $F_z = Ma_z$ и $Fg = Mg$, P_{1x} определяется как:

$$P_{1x} = [M(a_x + a_z - g)]/[4(\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi)].$$

V.24. Аналогично для сил F_y и F_z, действующих совместно, и упаковки в точке опрокидывания через край днища имеем следующее:

$$P_{1y} = [M(a_y + a_z - g)]/[4(\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi)].$$

V.25. Максимальные усилия в стяжках для автомобильного транспорта можно рассчитать, предполагая, что $P_1 = P_{1x} + P_{1y}$ и что $a_x = 2g$; $a_y = 1g$; $a_z = 2g$ и $\alpha = \varphi = 45°$. Следовательно:

$$P_1 = 0{,}621\ Mg + 0{,}414\ Mg = 1{,}035\ Mg.$$

V.26. Следует отметить, что комбинирование P_{1x} и P_{1y}, как это сделано, является консервативно, поскольку при определении P_{1x} и P_{1y} каждый раз в уравнение равновесия моментов для системы включался член $(a_z - g)$.

V.27. В общем случае геометрия упаковки или асимметрия горизонтальных коэффициентов перегрузок, которые должны использоваться, будут определять, через какой край упаковка будет стремиться опрокинуться, и в расчете можно игнорировать наложение двух горизонтальных сил при определении требований к системе крепления.

V.28. При расчете максимальных нагрузок на башмаки рассчитанные горизонтальные силы, приложенные к башмакам, будут максимальны, если пренебречь трением между дном упаковки и полом транспортного средства. Сила трения трудно определяется количественно и может равняться нулю, если действующее вертикальное ускорение будет достаточным для преодоления влияния гравитации.

V.29. Для оценки максимальных горизонтальных сил, действующих на башмаки, можно исследовать каждое направление, предполагая наличие только сил ускорения в горизонтальной плоскости. Рассмотрим F_x, действующую при $F_z = F_g$. Упаковка удерживается от соскальзывания стяжками 1 и 4 и башмаком на противоположной стороне. Из соображений симметрии $P_{1x} = P_{4x}$, и в момент скольжения и опрокидывания для горизонтального равновесия получается следующее:

$$F_x = 2P_{1x}(\cos \varphi \cos \alpha) + F_{cx},$$

где F_{cx} – сила, действующая на башмак, которая при подстановке Ma_x вместо F_x равна

$$F_{cx} = Ma_x - 2P_{1x}(\cos \varphi \cos \alpha).$$

V.30. Однако из приведенного выше

$$P_{1x} = [M(a_x + a_z - g)]/[4(\cos \varphi \cos \alpha + \sin \varphi)].$$

Таким образом, для $a_x = 2g$, $a_z = 1g$, при отсутствии трения и $\varphi = \alpha = 45°$ получаем:

$$F_{cx} = 1{,}586\ Mg.$$

V.31. Аналогично, для силы F_{cy}, действующей на башмак, при $a_y = 1g$; $a_z = 1g$ и $\varphi = \alpha = 45°$,

$$F_{cy} = 0{,}793\ Mg.$$

V.32. Следует отметить, что может потребоваться рассмотрение различных комбинаций перегрузок для получения максимального нагружения стяжек и башмаков, т.е. для получения окончательного решения необходим итеративный подход.

V.33. Из приведенного выше примера видно, что башмаки воспринимают значительные силы. При отсутствии таких башмаков единственным средством крепления упаковки остается ее удержание стяжками, и эти стяжки при достаточно небольших перегрузках должны предварительно натягиваться и противостоять силам, значительно большим, чем те, которые имеют место при наличии башмаков. Во многих ссылочных документах [V.1–V.27] настоятельно рекомендуется установка башмаков, как наилучшая практика, с целью избежания таких завышенных требований по прочности стяжек.

Прямоугольная упаковка с фланцем на днище, крепящимся болтами к транспортному средству

V.34. На рис. V.2 показан общий вид прямоугольной упаковки с фланцем на днище, крепящимся болтами к транспортному средству, на рис. V.3 изображена диаграмма сил, используемая в анализе, а символы, применяемые в этом анализе, приведены в табл. V.3. Предполагается, что:

(i) болты, расположенные вдоль сторон, параллельных главной силе, не вносят вклада, и опрокидывающей силе оказывают сопротивление только болты на стороне фланца, противоположной O;

(ii) фланец является недеформируемым.

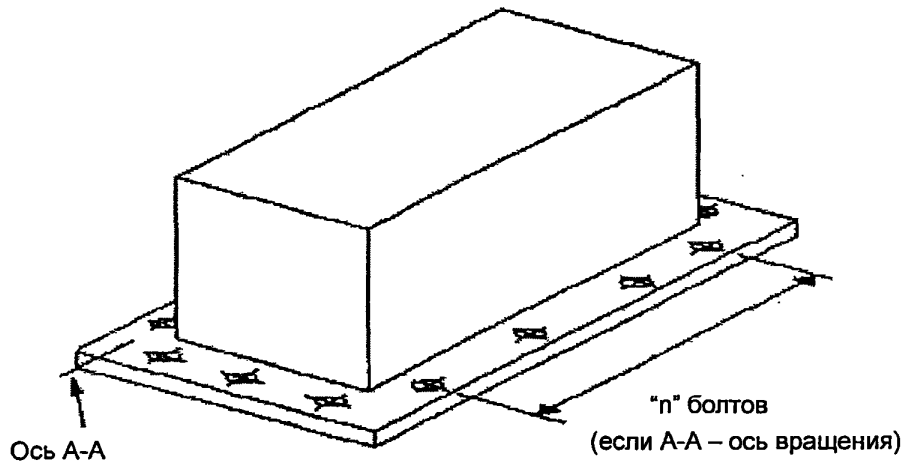


Рис. V.2. Общий вид упаковки

Равновесие вертикальных сил:

$$Ma_z + R_z = Mg + F.$$

Равновесие горизонтальных сил:

$$Ma = R.$$

Равновесие моментов сил относительно О дает

$$R_z k + Ma_z Hg + MaZ_g = MgH_g + FH.$$

При отрыве k стремится к нулю, и уравнение упрощается до

$$Ma_z H_g + MaZ_g = MgH_g + FH.$$

Собирая члены, направленные вверх, и преобразуя, получаем

$$F = [M\{H_g(a_z - g) + Z_g a\}]/H.$$

Следовательно, максимальная нагрузка на каждый болт на стороне, противоположной О (ось вращения А – А), равна

$$T = F/n \text{ или } T = [M\{H_g(a_z - g) + Z_g a\}]/Hn.$$

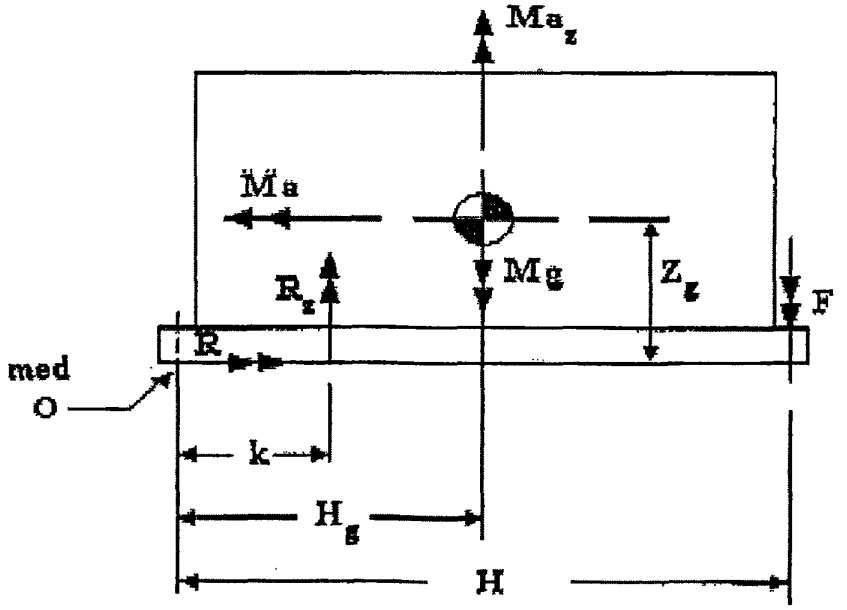


Рис. V.3. Диаграмма сил, используемых в анализе

Таблица V.3

Символы, используемые при расчете прямоугольной упаковки с фланцем на днище, крепящимся болтами к транспортному средству

a	Ускорение в горизонтальной плоскости (м/с^2)
a_x	Ускорение вдоль горизонтальной продольной оси x (м/с^2)
a_y	Ускорение вдоль горизонтальной поперечной оси y (м/с^2)
g	Гравитационная постоянная (м/с^2)
F	Общая сила, действующая на болты, расположенные вдоль стороны, противоположной О (H)
H	Длина упаковки (м)
a_z	Ускорение вдоль вертикальной оси z (м/с^2)
H_g	Расстояние от оси вращения до центра тяжести (м)
k	Расстояние от оси вращения до точки приложения силы Rz (м)
M	Масса упаковки (кг)
n	Количество болтов на стороне, противоположной О
R	Реакция опоры в горизонтальном направлении (H)
R_z	Реакция в вертикальном направлении между упаковкой и транспортным средством (H)
T	Максимальное растягивающее усилие в каждом болте (H)
Z_g	Вертикальное расстояние от днища до центра тяжести (м)

V.35. Горизонтальная сила в плоскости днища равна R. Поскольку упаковочный комплект эффективно и полностью зафиксирован болтами, сдвигающие усилия, которым должны противостоять болты, равны Ma_x и Ma_y соответственно. Для восприятия силы R должны использоваться "болты на срез".

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ

V.36. В данном приложении использованы следующие определения:

Узел крепления – арматура на упаковке, к которой прикрепляются связки, элементы или другие крепежные приспособления.

Анкерный болт – арматура на транспортном средстве, к которой прикрепляются стяжки или другие крепежные приспособления.

Башмак – арматура, прикрепленная к транспортному средству для восприятия горизонтальных сил от упаковки.

Подставка – сыпучий материал, используемый для защиты груза в корабельном трюме или подставка в перевозимой упаковке.

Крепление – Использование подстилок, скобок, колодок, стяжек, сетей, фланцев, стеллажей и т. п. для предотвращения перемещений упаковки в или на перевозочном средстве в ходе перевозки.

Стеллаж – каркас, смонтированный на транспортном средстве для перевозки незакрепленных упаковок. (Примечание: Углубление или колодец представляют собой вариацию концепции *стеллажа, если они выполнены в транспортным средстве.*)

Укладка – место расположения упаковок с радиоактивными материалами в или на транспортным средстве по отношению к другому грузу (как радиоактивному, так и нерадиоактивному).

Элемент стяжки (стяжка) – связывающий компонент (например, проволочный канат, цепь, стяжка-стержень) между узлом крепления и анкерным болтом.

Система стяжек – комплект из узла крепления, анкерного болта и стяжки.

Литература к приложению II

[V.1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Packaging of Uranium Hexafluoride (UF6) for Transport, Rep. ISO 7195:1993(E), ISO, Geneva (1993).

[V.2] CHEVALIER, G., et. al., "L'arrimage de colis de matieres radioactives en conditions accidentelles", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc.

Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
[V.3] UNITED KINGDOM ATOMIC ENERGY AUTHORITY, Securing Radioactive Materials Packages to Conveyances, Rep. AECP 1006, UKAEA, Risley (1986).
[V.4] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Fuel Shipping Containers Tie-Down for Truck Transport, RTD Standard F8-11T, USDOE, Washington, DC (1975).
[V.5] OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Cask Tiedown Design Manual, Analysis of Shipping Casks, Vol. 7.J.T1, Rev. ORNL TM 1312, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1969).
[V.6] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Highway Route Controlled Quantities of Radioactive Materials – Domestic Barge Transport, ANSI N14.24-1985, ANSI, New York (1993).
[V.7] UNITED STATES OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER, Title 10, US Code of Federal Regulations, Part 71.45, U.S. Government Printing Office, Washington, DC (1995).
[V.8] UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER, Agreement Governing the Exchange and Use of Waggons between Railway Undertakings (RIV 1982), Appendix II, Vol. 1 — Loading Guidelines, UIC, Paris (1982).
[V.9] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Code for the Safe Carriage of Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High Level Radioactive Wastes in Flasks on Board Ships (INF code), International Maritime Dangerous Goods Code, Supplement 1994, IMO, London (1994).
[V.10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Series 1 Containers — Specification and Testing — Part 3: Tank Containers for Liquids, Gases, and Pressurized Dry Bulk, ISO 1496-3, 4th ed., ISO, Geneva (1995).
[V.11] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Ladungssicherung auf Stra.enfahrzeugen; Zurrkrafte, VDI 2702, Beuth Verlag, Berlin (1990).
[V.12] UNITED STATES OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER, Title 49, US Code of Federal Regulations, Part 393.100-102, U.S. Government Princting Office, Washington, DC (1994).
[V.13] UK DEPARTMENT OF TRANSPORT, Guide to Applications for Competent Authority Approval, DTp/RMTD/0001/Issue 1, HMSO, London (1992).
[V.14] ANDERSON, G.P., McCARTHY, J.C., Prediction of the Acceleration of RAM Packagings during Rail Wagon Collisions, AEA-ESD-0367, AEA Technology, UK (1995).
[V.15] SHAPPERT, L.B., RATLEDGE, J.E., MOORE, R.S., DORSEY, E.A., "Computed calculation of wire rope tiedown designs for radioactive material packages", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 95 (Proc. Symp. Las Vegas, 1995), USDOE, Washington, DC (1995).
[V.16] GWINN, K.W., GLASS, R.E., EDWARDS, K.R., Over-the-Road Tests of Nuclear Materials Package Response to Normal Environments, Rep. SAND 91-0079, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1991).
[V.17] DIXON, P., "Tie down systems — Proofs of design calculations", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, TCSP(93)P1072, United Kingdom Transport Container Standardisation Committee (1994).
[V.18] JOHNSON, R., Packaging tie-down design — Comments and recommendations on Safety Series 37", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, TCSP(95), United Kingdom Transport Container Standardisation Committee (1995).
[V.19] CORY, A.R., Flask tie-down design and experience of monitoring forces, Int. J. Radioact. Mater. Transp. 2 1–3 (1991) 15–22.
[V.20] GYENES, L., JACKLIN, D.J., Monitoring the Accelerations of Restrained Packages during Transit by Road and Sea, Rep. PR/ENV/067/94, TRL on behalf of AEA Technology, UK (1994).
[V.21] BRITISH RAILWAYS BOARD, Requirements and Recommendations for the Design of Wagons Running on BR Lines, MT235 Rev. 4, British Railways Board, London (1989).
[V.22] UNITED KINGDOM DEPARTMENT OF TRANSPORT, Safety of Loads on Vehicles, HMSO, London (1984).
[V.23] DIXON, P., "Package tie-downs — A report on a programme of tests and suggestions for changes to design criteria", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, TCSC(96)P99, United Kingdom Transport Container Standardisation Committee (1996).
[V.24] GILLES, P., et al., Stowing of Packages Containing Radioactive Materials during their Road Transportation with Trucks for Loads up to 38 Tons, Rep. TNB 8601-02, Transnubel SA, Brussels (1985).
[V.25] DRAULANS, J., et al., Stowing of Packages Containing Radioactive Materials on Conveyances, N/Ref:23.906/85D-JoD/IP, Transnubel SA, Brussels (1985).
[V.26] KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS, Load Attaching Points on Loads in Nuclear Power

Plants, Safety Standard KTA 3905, KTA Geschaftsstelle, Bundesamt fur Strahlenschutz, Salzgitter (1994).

[V.27] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Freight Containers, Part 2: Specification and Testing of Series 1 Freight Containers, Section 2.1, General Cargo Containers for General Purposes, BS 3951:Part2:Section 2.1:1991/ISO 1496-1: British Standards, ISO, Geneva (1991).

Приложение III

Руководство по безопасной конструкции транспортных упаковок в отношении хрупкого разрушения

(цитируется по приложению VI руководства МАГАТЭ TS-G-1.1)

ВВЕДЕНИЕ

VI.1. Это приложение основано на тексте, опубликованном как глава 2 документа IAEA-TECDOC-717 [VI.1], который был пересмотрен на серии консультативных совещаний. Эта публикация содержит дополнительную информацию об оценке сопротивления хрупкому разрушению на основе оценки конструкции с использованием механики разрушения.

VI.2. Упаковки для перевозки РМ должны отвечать Правилам МАГАТЭ, согласованным всеми государствами-членами МАГАТЭ. Упаковки должны отвечать строгим требованиям к ограничению внешнего излучения, обеспечению удержания радиоактивных материалов и предотвращению критичности. Соответствие этим требованиям должно иметь место в условиях тяжелой аварии. Таким образом, в конструкции упаковок должно уделяться внимание предотвращению всех видов разрушения упаковки, которые могут приводить к нарушению этих требований. Следует отметить, что при использовании этого руководства всегда применимы требования пункта 701.d) Правил МАГАТЭ-96 (п. 3.1.1 г) НП-053-04) т.е. расчетные процедуры и параметры должны быть надежны и консервативны.

VI.3. Это приложение содержит руководство по оценке конструкции с целью предотвращения одного из возможных видов разрушения, а именно хрупкого разрушения элементов конструкции упаковки для перевозки РМ. Обсуждаются три метода:

(1) Оценка и использование материалов, остающихся пластичными и прочными во всем диапазоне эксплуатационных температур, включая ее снижение до -40°C;

(2) Оценка ферритных сталей с использованием измерения температуры перехода нулевой пластичности, коррелированной с сопротивлением разрушению;

(3) Оценка сопротивления разрушению на основе оценки конструкции с использованием механики разрушения.

VI.4. Первый метод включен, чтобы охватывать подход, при котором стремятся гарантировать, что при любых условиях нагружения, создаваемых для появления разрушения, такое разрушение всегда будет в виде обширного пластического и(или) вязкого разрыва, а нестабильное хрупкое разрушение не возникает ни при каких обстоятельствах. Второй направлен на обеспечение соответствия с общепринятой практикой оценки ферритных сталей. Третий метод обеспечивает оценку хрупкого разрушения, пригодную для широкого круга материалов. Следует подчеркнуть, что данное руководство не исключает применения альтернативных методов, надлежащим образом обоснованных конструктором упаковок и принятых компетентным органом.

ОБЩЕЕ РАССМОТРЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ

VI.5. Многие материалы менее вязки при низких температурах или высоких скоростях нагружения, чем при умеренных температурах и в условиях статического нагружения. Например, способность ферритных сталей поглощать энергию при растягивающем напряжении при наличии дефектов в виде трещин претерпевает заметные изменения в узком диапазоне температур. Вязкость разрушения ферритных сталей заметно изменяется в пределах диапазона переходной температуры. Вязкость разрушения быстро увеличивается с ростом температуры в узком диапазоне от «нижней полки» или области хрупких плоских деформаций с разрушением типа расслоения по плоскостям спайности, проходя через упругопластичную область, до «верхней полки» или области вязкого разрушения при разрыве и пластичности, где вязкость разрушения достаточно велика для предотвращения хрупкого разрушения. Температура, при которой вязкость разрушения начинает быстро расти с увеличением температуры, соответствует температуре перехода нулевой пластичности (ТПНП) [NDTT – nil ductility transition temperature]. Этот тип температурного перехода наблюдается только при наличии трещинообразных дефектов, создающих объемное (трехосное) напряженное состояние, и когда материал демонстрирует увеличение предела текучести с понижением температуры. Те же самые материалы, что демонстрируют увеличение предела текучести с ростом скоро-

сти нагружения, поэтому температура перехода может зависеть также и от скорости нагружения. Во всех этих случаях, когда материал действительно находится в хрупком состоянии, растягивающее нагружение его может приводить к нестабильному росту трещины с последующим хрупким разрушением, даже если номинальные напряжения меньше, чем предел текучести материала. Маленьких трещинообразных дефектов в материале может оказаться достаточно для инициирования такого нестабильного роста.

VI.6. Критерии для предотвращения трещинообразования и развития потенциально нестабильных трещин в изделиях из ферритных сталей, таких как сосуды, работающие под давлением, и трубопроводы, используемые в энергетической, нефтяной и химической промышленности, хорошо разработаны и введены в обычную практику многими национальными и международными органами, издающими стандарты. Эти критерии могут быть отнесены к одному из двух основных типов:

(1) Критерии, основанные исключительно на требованиях к испытанию материалов. Они обычно предназначены для демонстрации того, что какое-либо свойство материала (например, ударная динамическая прочность) было продемонстрировано предыдущим опытом или полномасштабными демонстрационными испытаниями прототипа на работоспособность либо может быть скоррелировано с вязкостью разрушения для обеспечения необходимого запаса по условиям хрупкого разрушения.

(2) Критерии, основанные на сочетании испытаний материала, расчетов прилагаемых напряжений и стандартов качества изготовления(освидетельствования). Они предназначены для демонстрации того, что существует достаточный запас между рассчитанным состоянием конструкции и измеренным состоянием реакции материала.

VI.7. Методы 1 и 2 основаны на критериях первого из указанных выше подходов, в то время как метод 3 следует основному подходу механики разрушения либо расширенным подходам механики упругопластического разрушения, описанным ниже. Следует отметить, что линейная механика упругого разрушения может использоваться, пока преобладают пределы текучести небольшого масштаба; если же имеет место большая текучесть, то следует использовать методы механики упругопластического разрушения. Возможны иные методы оценки. Любой подход, предложенный конструктором упаковок, служит предметом утверждения компетентного органа.

Метод 1

VI.8. Хрупкое разрушение может произойти внезапно, без предупреждения и иметь катастрофические последствия для упаковочного комплекта. Поэтому подход в рамках метода 1 таков, что упаковка должна быть сконструирована из материалов, не подверженных хрупкому разрушению до появления пластического разрушения в нормальных и аварийных условиях, определенных в Правилах.

VI.9. Пример первого метода – использование в качестве материала для упаковок аустенитных нержавеющих сталей. Эти материалы не демонстрируют в характерном для конструкций упаковок диапазоне, зависимости вязкости разрушения от температуры и имеют хорошую прочность и способность к податливости. Однако литые аустенитные стали не всегда имеют хорошие свойства, и могут потребоваться некоторые механические испытания для подтверждения их эластичного поведения и высокой вязкости разрушения.

VI.10. Преимущество метода 1 состоит также и в том, что для сопротивления хрупкому разрушению он не рассматривает предельные уровни напряжений, размер дефектов и вязкость разрушения, хотя для вязкого или иных видов разрушения должны применяться обычные конструкторские процедуры.

Метод 2

VI.11. Основа для определения ТПНП – наивысшая температура, при которой в стандартном испытании на удар (падающим грузом) в исходном материале не распространяется хрупкое разрушение от хрупкого наваренного буртика [VI.2]. Она может считаться дном кривой температуры перехода либо для прекращения распространения(образования) трещин, либо для нестабильного роста маленьких изначальных трещин.

VI.12. Примеры использования подхода ТПНП в рамках метода 2 включены в документы BS 5500 [VI.3] Британского института стандартов, документы [VI.4] и [VI.5] Секций III и VIII Американского общества инженеров механиков (ASME) и документы RCC-M, приложение ZG [VI.6] Французских норм ядерного конструирования. Эти методы касаются, например, ферритных сталей, для которых имеются достаточные базы данных о зависимости ударной прочности (удельной работы образца с трещиной) (испытание по Шарпи) от вязкости разрушения. В таких случаях ударная прочность (энергия) по Шарпи может служить косвенным индикатором прочности (вязкой) материала. Этот подход можно использовать для множества высококачественных углеродистых и углеродисто-марганцевых ферритных сталей. Основным приемочным критерием в документах BS 5500 и ASME является требование о минимальности ударной прочности (или расширения в поперечном направлении) при испытании по Шарпи образца с V-образным надрезом при предписанной температуре,

хотя лежащее в основе обоснование основано на подходе по ТПНП*.

VI.13. Другой пример второго метода – регулирующие руководства Комиссии ядерного регулирования США (USNRC): Критерий по вязкости разрушения для герметичных сосудов из ферритных сталей транспортных контейнеров с толщиной стенки более 4 дюймов (0,1 м), Регулирующее руководство 7.12 [VI.7], и Критерий по вязкости разрушения основного материала герметичных сосудов из ферритных сталей транспортных контейнеров при максимальной толщине стенки четыре дюйма (0,1 м), Регулирующее руководство 7.11 [VI.8]. Эти критерии предписывают уровни ТПНП, которые должны быть достигнуты для ферритных сталей в зависимости от толщины образцов и температуры. Они определяют требования к минимально допустимой разности температур между ТПНП материала и наименьшей температурой, учитываемой для аварийных условий (принимается равной -29°С), в зависимости от толщины образца. Эта разность температур основана на корреляции между ТПНП и вязкостью разрушения. Хотя эти нормативные руководства специально касаются ферритных сталей, тот же подход можно применять и к другим материалам, которым свойственно подобное поведение при переходных температурах и для которых можно продемонстрировать корреляцию между ТПНП и сопротивляемостью разрушению. Стандартизованная процедура испытаний по документу ASTM A208 применима только к ферритным сталям. Для измерения ТПНП других материалов там не имеется стандартизированных методов. Однако есть возможность использования динамических испытаний на разрыв, чтобы получать ТПНП или, по крайней мере, оценку сопротивления разрыву для других материалов [VI.9]. Это даст более тяжелые (консервативные) значения, чем получаемые при испытаниях по Шарпи.

VI.14. Следует отметить, что в документах USNRC даны различные запасы по безопасности для различных типов упаковок и их содержимого, а также учитывается остановка трещин в материале [VI.7, VI.8]. Это достигается путем задания максимально допустимой ТПНП на основе технических отчетов Национальной Ливерморской лаборатории Лоуренса [VI.10, VI.11] и следующего уравнения:

$$\beta = \frac{1}{B}\left(\frac{K_{ID}}{\sigma_{yd}}\right)^2, \qquad \text{(VI.1)}$$

где σ_{yd} – динамический предел текучести;

K_{ID} – динамический коэффициент интенсивности напряжений при хрупком разрушении;

B – толщина образца – все в соответствующих единицах.

VI.15. Для упаковок с отработавшим топливом, высокоактивными отходами и плутонием в рамках подхода USNRC ведется поиск вязкости разрушения, достаточной для предотвращения появления сквозной трещины на уровне динамического предела текучести, что равно философии остановки развития трещины, требующей значения β не менее 1,0. Это эквивалентно требованию такого размера номинальной зоны пластичности, при котором ожидается, что условия плоской деформации будут поддерживаться так, чтобы вязкость разрушения не оказывалась в области верхней полки и пластичность сохранялась. Для других упаковок типа В требуемое значение β не должно быть меньше 0,6. Это эквивалентно требованию, что вязкость разрушения должна быть не на нижней полке, а в переходной области с ожидаемым преобладанием упругопластичного разрушения. Для упаковок, содержащих только материалы с низкой удельной активностью, или содержимое которых не превышает $30A_1$ или $30A_2$, USNRC готова рассматривать использование линейных подходов механики упругого разрушения для предотвращения начала разрушения. Этого можно достичь, установив значение β не менее 0,4. В этих случаях при толщинах менее 4 дюймов (0,1 м) может быть обоснованным использование мелкозернистых нормализованных сталей без дальнейшего анализа и испытаний. Для всех таких подходов требуемая вязкость разрушения может быть определена с использованием максимальной температуры перехода нулевой пластичности. Преимущество этих подходов – они не используют предельные уровни напряжений и размеры дефектов. Однако заметим, что пластический или иной механизм разрушения должен учитываться в нормальной процедуре конструирования.

Метод 3

VI.16. При перевозке радиоактивных материалов методы 1 и 2 не используют возможности конструктора ограничивать напряжения за счет применения ограничителей удара и неразрушающего контроля (НРК), достаточного для выявления и определения размеров постулируемых дефектов. Кроме того, корреляция вязкости разрушения и ударной прочности может быть неприменима к ши-

---

* Этот же подход использован в российских Нормах расчета на прочность транспортных упаковочных комплектов для перевозки ядерных делящихся материалов. НРП-93 [VI.31], которые содержат требования к материалам, а также перечень марок сталей и их прочностных и вязких характеристик, в том числе и значения ТНП, рекомендуемые для использования при изготовлении ТУК (Примечание разработчиков настоящего Руководства).

рокому кругу материалов, ограничивая тем самым использование конструктором альтернативных материалов герметичной оболочки.

VI.17. Можно найти множество примеров метода 3, применимых к элементам атомной электростанции. Такие примеры, хотя и неприменимы непосредственно к оценке конструкции транспортных упаковок, могут быть поучительными в отношении использования принципов механики разрушения. Они включены в документы: приложение *G* раздела III ASME [VI.12]; RCC-MR Французских Норм ядерного конструирования [VI.13]; Извещение 501 MITI Японии [VI.14]; Немецкие нормы ядерного конструирования KTA 3201.2 [VI.15]; документ PD 6493:1991 Британского института стандартизации [VI.16]; и документ [VI.17] Содружества Независимых Государств (СНГ)*. Эти примеры дают конструктору свободу выбора материала одновременно с возможностью определять напряжения и требования к НРК так, чтобы предотвращать неустойчивый рост трещин и хрупкое разрушение. Фундаментальный подход линейной механики упругого разрушения применим во всех этих случаях, хотя имеются различия в использовании коэффициентов безопасности. Эти примеры главным образом касаются медленно прикладываемых нагрузок, которые могут изменяться. Для применения этих принципов к нагрузкам, встречающимся в испытаниях на падение или на проникновение, необходимо учитывать как величину результирующих напряжений, так и реакцию материала на скорость нагружения.

РАССМОТРЕНИЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

VI.18. Механическое свойство материала, характеризующее его сопротивляемость неустойчивому росту трещин из существующих трещинообразных дефектов, называется его начальной вязкостью разрушения. Измерение этого свойства в зависимости от температуры и скорости нагружения позволяет проследить переход от хрупкого к пластичному поведению для тех материалов, у которых есть подобие температуры перехода нулевой пластичности. В зависимости от локального состояния напряжений вокруг дефекта и степени пластичности вязкость разрушения определяется по критическому уровню коэффициента интенсивности напряжений K_I, если условия напряжение-деформация являются линейно-упругими; или, если условия напряжение-деформация являются упругопластическими, прочность может быть представлена критическим уровнем /линейного/ контурного интеграла энергии J_I, либо критическим уровнем раскрытия в вершине трещины (УРВТ) δ. Согласно фундаментальной теории механики разрушения, для того, чтобы предотвратить неустойчивый рост трещин и последующее хрупкое разрушение, уровень движущей силы, приложенной к вершине трещины, представляемый через коэффициент интенсивности напряжений K_I, контурный интеграл J_I (удельную работу образца с трещиной КСТ) или уровень раскрытия вершины трещины δ_I (УРВТ), должен быть меньше, чем критическое значение хрупкой прочности материала в той же форме, $K_{I(mat)}$, $J_{I(mat)}$ или $\delta_{I(mat)}$. Стандартные методы испытаний для критических значений K_I даны в ASTM E399 [VI.18] и JSME S001 [VI.19]; для критических значений J_I в ASTM E813 [VI.20] и JSME S001 [VI.19]; и для критических значений УРВТ в BS 7448-2 [VI.21], ASTM E1290 [VI.22] и JWES 2805 [VI.23]. Ведутся дискуссии, чтобы выработать единые рекомендации, охватывающие различные параметры вязкости разрушения [VI.24]**. Следовательно, конкретные значения $K_{I(mat)}$, $J_{I(mat)}$ или $\delta_{I(mat)}$, требуемые для предотвращения неустойчивого роста трещин, зависят от условий нагружения и комбинации условий интересующей окружающей среды. В условиях плоских напряжений, характерных для больших толщин и что необходимых для упаковок типа B, критическая вязкость разрушения при статических нагрузках демонстрирует минимальное значение в параметрах K_{Ic}, J_{Ic} или δ_{Ic}. Кроме того, при повышенной скорости нагружения или при ударных нагрузках, вязкость разрушения, обозначаемая для случая динамического нагружения K_{Id}, для некоторых материалов, может быть значительно ниже, чем соответствующее статическое значение K_{Ic} при той же температуре. Если первоначальная глубина дефекта в сочетании с приложенной нагрузкой даст коэффициент интенсивности приложенного напряжения, равный прочности материала, то будет иметь место инициирование трещины, а данная глубина дефекта будет называться критической. В этих условиях возможно непрерывное распространение трещин, ведущее к потере устойчивости и разрушению.

VI.19. Для некоторых материалов результаты испытаний на вязкость разрушения, приемлемые в соответствии с ASTM E399 [VI.18], не могут быть получены в стандартных испытаниях из-за избыточной пластичности. Кроме того, некоторые материалы могут не демонстрировать неус-

---

* Методики определения характеристик вязкости разрушения также представлены в российских стандартах и других документах: Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86 [VI.32]; Методические указания. Расчеты на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении. РД 50-260-81 [VI.33]. (Примечание разработчиков настоящего Руководства).

** Стандартные методы испытаний на вязкость разрушения, также представлены в российском ГОСТ 25.506-85 [VI.17]. (Примечание разработчиков настоящего Руководства).

тойчивый рост трещин после начала их распространения, а для дальнейшего увеличения трещин им требуется увеличение движущей силы трещинообразования, т.е. на ранних стадиях для дальнейшего роста трещин необходимо увеличение нагрузки. Оба этих процесса, а именно пластическая деформация и вязкий разрыв, поглощают энергию и служат очень желательными атрибутами материалов, от которых необходимо соответствие требованиям к конструкции транспортных упаковок. Следует отметить, что геометрическое и металлургическое влияние элементов большой толщины, что применяемых в конструкциях упаковок, затрудняет достижение уверенности в том, что в условиях эксплуатации поведение материала в отношении вязкого разрыва будет сравнимо с результатами испытаний при стандартной геометрии.

VI.20. Рекомендованный подход к оценке механики разрушения конструкций транспортных упаковок основан на "предотвращении начала разрушения" и, следовательно, неустойчивого распространения (роста) трещин при наличии трещинообразных дефектов. Иногда могут быть достаточны принципы линейно-упругой механики разрушения. В определенных условиях, при наличии обоснования конструктора упаковки и утверждения со стороны компетентного органа, принципы механики упругопластичного разрушения могут быть подходящими. В таких случаях предотвращение образования трещин остается главным критерием, и на ожидаемое сопротивление вязкому разрыву никакой опоры в конструкции не возлагается. В следующих пунктах даются рекомендации по мерам предотвращения неустойчивого роста трещин в упаковках, подверженных механическим испытаниям, предписанным в пп. 722, 725 и 727 Правил (пп. 3.4.2.4, 3.4.3.1 и 3.4.4.2 НП-053-04).

VI.21. Следствие принятия подхода, основанного на механике разрушения – необходимость выполнения количественного анализа. Анализом следует охватывать взаимодействие между постулированными дефектами в упаковке, уровнями напряжений, которые могут наблюдаться, и свойствами материалов, в частности, вязкостью разрушения и пределом текучести. Таким образом, следует уделять внимание возможному наличию дефектов на стадии изготовления, а метод проектирования должен устанавливать максимальные размеры дефектов, которые могли бы возникнуть и остаться после любого осмотра и восстановительных мероприятий. Это, в свою очередь, означает, что должны быть найдены методы осмотра и их возможности по выявлению и определению размера таких дефектов в критических местах конструкции. В данном приложении это служит основой описанной концепции дефектов. Вероятно, еще потребуется сочетание методов неразрушающего контроля. В соответствующее сочетание, подлежащее определению силами конструктора, следует включать места, подлежащие контролю каждым методом, и критерии приемлемости для каждого из обнаруживаемых дефектов. Контролируемость изделия в отношении размера и расположения дефектов, которые могут быть пропущены, представляет собой важный элемент любого подхода к конструкции с использованием принципов механики разрушения. Обсуждение этих аспектов содержится далее в этом приложении. Кроме того, должно быть возможно определять уровни напряжений, которые могут возникать в различных частях упаковки в различных условиях проектных аварий, и знать некоторые оценки погрешностей такого определения. И, наконец, должны быть сведения о вязкости разрушения материала, используемого для упаковки, во всем диапазоне температур эксплуатации, основанные на результатах испытаний, оценках нижней границы или справочных кривых, включая влияние повышенных скоростей нагружения, которые будут иметь место при авариях с соударениями.

VI.22. Фундаментальное уравнение линейно-упругой механики разрушения, описывающее поведение конструкции в виде зависимости движущей силы в вершине трещины от приложенного напряжения и глубины дефекта, выглядит следующим образом:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a}\,, \qquad \text{(VI.2)}$$

где K_I – приложенный коэффициент интенсивности напряжений, МПа·м$^{1/2}$;

Y – константа, зависящая от размера, ориентации и геометрии дефекта и конструкции;

σ – прилагаемое номинальное напряжение, МПа;

a – глубина (по российским справочным данным – ½ длины (*прим. редактора русского перевода*)) дефекта, м.

VI.23. Далее для предотвращения хрупкого разрушения приложенный коэффициент интенсивности напряжений должен удовлетворять соотношению

$$K_I < K_{I(mat)}, \qquad \text{(VI.3)}$$

где $K_{I(mat)}$ определяет вязкость разрушения.

VI.24. Это должно быть получено из испытаний при скорости нагружения, соответствующей той, при которой будут испытывать упаковку с учетом влияния ограничителей удара, предусмотренных в конструкции.

VI.25. Для

$$K_I = K_{I(mat)} \qquad \text{(VI.4)}$$

уравнение (VI.2) можно объединить с уравнением (VI.4), чтобы получить следующее выражение для критической глубины дефекта a_{cr}:

$$a_{cr} = \frac{1}{\pi}\left(\frac{K_{I(mat)}}{Y\sigma}\right)^2 . \qquad \text{(VI.5)}$$

VI.26. Цель процесса оценки хрупкого разрушения – обеспечение того, что три параметра, характеризующих это явление (вязкость разрушения материала, приложенные напряжения и размер дефектов), удовлетворяют уравнениям (VI.2) и (VI.3) или соответствующим упругопластическим условиям, предотвращая тем самым неустойчивый рост трещин.

VI.27. Влияние пластичности и локальной текучести в вершине трещины должно увеличивать прочность вершины трещины по сравнению с той, которая обусловлена трещиной того же размера при том же уровне напряжений в условиях исключительно линейно-упругих условий нагружения. В рамках упругопластической механики разрушения существует несколько путей учета взаимосвязи между пластичностью и напряжениями в вершине трещины. Например, два таких подхода внесены в национальные нормативные документы – приложенный J-интеграл [VI.25] и диаграмма оценки разрушения [VI.16, VI.26] – и их использование может быть обосновано при оценке упаковочных комплектов. Критерии приемлемости для этих упругопластических методов обычно более сложны, чем простой предел, определенный уравнением (VI.3). В случае метода приложенного J-интеграла такой критерий должен включать предел самого приложенного J-интеграла при заданном определении начала разрушения. В рамках метода диаграммы оценки разрушения можно рассчитать координаты L_r и K_r оценки обрыва пластики и хрупкого разрушения для напряжений и заданной глубины дефектов, при условии, что точки такой оценки лежат в пределах поверхности FAD (см. рис. VI.1). Важно осознавать, что если имеет место значительная текучесть и коэффициент интенсивности напряжений определен только по уровню напряжений и размеру трещин без учета текучести, то применение методов линейно-упругой механики разрушения может оказаться неконсервативным. Полное описание этих подходов для более детального ознакомления можно найти в [VI.17, VI.25, VI.26]*.

VI.28. Следует отметить, что текучесть элементов за пределами системы герметизации, которые специально предусмотрены для поглощения энергии за счет пластической деформации, не следует считать недопустимой.

КОЭФФИЦИЕНТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ МЕТОДА 3

VI.29. Любые коэффициенты безопасности, которые можно применять к уравнению (VI.3) или к параметрам, входящим в него и упругопластические расширения этого уравнения (VI.3), должны учитывать погрешности расчетов или измерения этих параметров. В них могут входить погрешности, связанные с расчетом напряжений в упаковке, с контролем упаковок на наличие дефектов и с определением вязкости разрушения материала. Таким образом, требуемый общий коэффициент безопасности зависит от того, являются ли значения различных входных параметров результатом наилучшей оценки (средними) или они определены для верхней границы диапазона параметров нагружения, заданного размера дефектов и нижней границы вязкости разрушения. В частности, проблема погрешности НРК может быть решена за счет соответствующего консерватизма при выборе опорного дефекта.

VI.30. Для предотвращения неустойчивого роста трещин в материалах упаковки коэффициенты безопасности для нормальных условий перевозки и гипотетических аварийных условий следует в целом согласовывать с коэффициентами безопасности, разработанными для сходных условий нагружения в упомянутых применениях подхода линейно-упругой механики разрушения. Например, для условий нагружения, ожидаемых в условиях нормальной эксплуатации в течение срока службы, в разделе XI Норм ASME для эксплуатационного контроля элементов атомной электростанции приведен общий минимальный коэффициент безопасности по вязкости разрушения, входящий в уравнение (VI.3), равный $\sqrt{10}$ (приблизительно 3). Для неожиданных (но проектных) условий нагружения, таких как условия гипотетической аварии, там же приведен общий минимальный коэффициент безопасности для вязкости разрушения, входящий в уравнение (VI.3), равный $\sqrt{2}$ (приблизительно 1,4). Следует заметить, что подобный минимальный коэффициент безопасно-

* Методики определения характеристик вязкости разрушения также представлены в российских стандартах и других документах: Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86 [VI.32]; Методические указания. Расчеты на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении. РД 50-260-81 [VI.33]. (Примечание разработчиков настоящего Руководства.)

сти для уравнения (VI.3) следует использовать для верхней границы параметров нагружения и заданного размера дефектов и нижней границы вязкости разрушения, привлекая, если необходимо, статистические оценки. Конструктору упаковки следует выбирать и обосновывать коэффициенты безопасности и согласовывать их с компетентным органом, принимая во внимание результаты валидации методов, используемых для анализа напряжений (например, норм анализа методом конечных элементов), разброс свойств материала и погрешность выявления и определения размера дефектов при НРК.

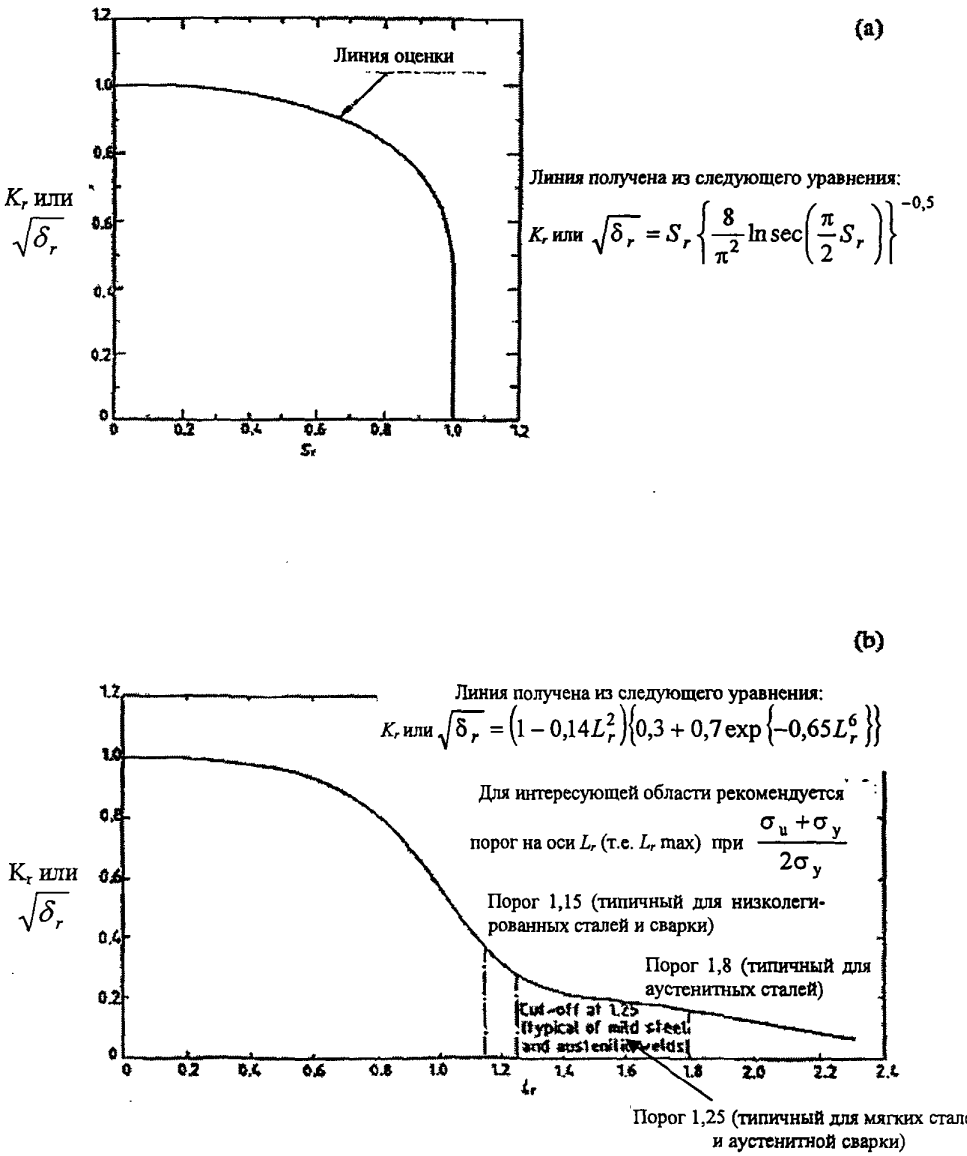


Рис. VI.1. Диаграммы оценки разрушения для трактовки упругопластической механики разрушения [VI.16].
(a) Диаграмма оценки уровня 2, (b) Диаграмма оценки уровня 3

Процедура оценки для метода 3

VI.31. Для применения рекомендованного подхода необходимы следующие общие шаги:
(1) задание опорного, или базисного для конструкции, дефекта в наиболее критической точке упаковки и с наиболее критической ориентацией;

(2) расчет напряжений при механических испытаниях, описанных в пп. 722, 725 и 727 Правил (пп. 3.4.2.4, 3.4.3.1 и 3.4.4.2 НП-053-04), гарантирующий учет всех требуемых сочетаний нагрузок;

(3) расчет приложенного коэффициента интенсивности напряжений в вершине базисного для конструкции дефекта;

(4) расчет или оценка нижней границы вязкости разрушения материала для скоростей нагружения, которым может подвергаться упаковка;

(5) расчет отношения прилагаемых чистых напряжений в сечении к пределу текучести в соответствующих условиях нагружения;

(6) удовлетворение запаса по безопасности между приложенным коэффициентом интенсивности чистых напряжений и принятым значением вязкости разрушения материала, а также между приложенным напряжением и пределом текучести.

Это будет гарантировать, что в результате механических испытаний, определенных в Правилах, трещина не возникнет либо не вырастет, и поэтому неустойчивый рост трещин и(или) хрупкое разрушение не возникнет. Чистое напряжение – это напряжение, рассчитанное для сечения, уменьшенного из-за наличия трещины.

VI.32. Эта последовательность шагов изменяется, если для демонстрации сопротивляемости хрупкому разрушению напрямую используются механические испытания. В этом случае результаты измерений при испытаниях могут использоваться для одной из двух или для обеих целей, а именно давать заключение о поле напряжений для расчета применяемого коэффициента интенсивности напряжений или обеспечивать прямое подтверждение рекомендованного запаса в отношении инициации разрушения. Во втором случае трещина размещается в таком месте испытываемого прототипа упаковки, которое наиболее уязвимо к возникновению и росту дефекта при испытательных механических нагрузках с учетом минимальной температуры -40°С. Опорному дефекту следует придавать полуэллиптическую форму с соотношением сторон (длины к глубине) 6:1 или более. Вершину этого искусственного дефекта следует делать как можно более трещиноподобной при остроте опорного дефекта, обоснованной конструктором упаковки и приемлемой для компетентного органа. Для ковкого железа был предложен радиус скругления дефекта в вершине, не превышающий 0,1 мм [VI.27]. Глубина этого дефекта определяется по предварительно рассчитанным напряжениям или по измеренным деформациям; при расчете глубины искусственного дефекта следует также учитывать соответствующий коэффициент безопасности.

VI.33. В последующих пунктах приведены рекомендации по каждому из указанных шагов.

Рассмотрение дефектов

VI.34. В данном приложении упоминаются три различных размера дефекта. "Опорный размер дефекта" – это заданный размер дефекта, используемый в аналитических целях. "Выбраковываемый размер дефекта" – это размер дефекта, при обнаружении которого в ходе предэксплуатационного контроля констатируется нарушение требований обеспечения качества. "Критический размер дефекта" – это размер, который потенциально неустойчив в базисных условиях нагружения конструкции.

VI.35. Для демонстрации аналитическим способом либо результатами испытаний опорный дефект следует помещать на поверхности стенки упакованного содержимого в место с наибольшими приложенными напряжениями. Если упаковка подвергается циклическим или колебательным нагрузкам, следует учитывать возможность развития усталостных трещин в процессе эксплуатации. Если место возникновения наибольших прикладываемых напряжений неопределенно, может потребоваться многократная демонстрация. Ориентацию опорного дефекта следует выбирать так, чтобы наибольшая компонента поверхностных напряжений, определенных из расчета или измерений, была перпендикулярна к плоскости дефекта. При этом следует учитывать наличие областей концентрации напряжений. Глубину опорного дефекта следует выбирать так, чтобы была обоснована ее связь с объемной чувствительностью контроля, погрешностью детектирования, выбраковываемым и критическим размером дефекта. Опорную глубину дефекта следует выбирать так, чтобы согласно результатам обоснования, выполненного конструктором упаковки, при имеющейся объемной и поверхностной чувствительности контроля вероятность его пропуска была достаточно мала. В качестве наименьшей может быть выбрана глубина при размере, для которого может быть продемонстрировано, что вероятность его пропуска статистически незначима при соответствующем учете погрешности метода контроля.

VI.36. Опорный дефект с соотношением сторон 6:1 следует ориентировать так, чтобы его площадь в плоскости, нормальной к направлению максимального напряжения, была больше, чем типичные результаты предэксплуатационного контроля, которые могут быть причиной изъятия или ремонта изготовленной стенки защитной оболочки упаковки. Однако поскольку опорный дефект – это поверхностный трещиноподобный дефект, а не реальный дефект металла (например, порис-

тость или включение шлака под поверхностью), выбор этого размера дефекта крайне консервативен по отношению к стандартам качества изготовления.

Рассмотрение обеспечения качества и неразрушающего контроля

VI.37. Чтобы транспортная упаковка выполняла свои функции удовлетворительно, ее следует конструировать и изготавливать по соответствующим стандартам, из подходящих материалов и без больших дефектов, независимо от того, использовался ли подход к конструкции, основанный на механике разрушения или нет. Имеется в виду, что на стадии конструирования и изготовления следует реализовывать принципы обеспечения качества, а материалы следует подвергать контролю качества, чтобы гарантировать их соответствие установленным требованиям технических условий. В случае металлических упаковок для проверки того, что химический состав, термообработка и микроструктура материала удовлетворительны и нет внутренних дефектов, следует брать образцы. Металлические упаковки следует подвергать неразрушающему контролю, сочетая выявление поверхностных трещин и объемный контроль. Выявление поверхностных трещин следует выполнять соответствующими методами, такими как магнитная дефектоскопия, применение проникающих красителей или метода вихревых токов в соответствии со стандартными процедурами.

VI.38. Для объемного контроля обычно рекомендуется применять радиографический или ультразвуковой метод в соответствии со стандартными процедурами. Конструкцию упаковки следует делать пригодной для проведения неразрушающего контроля. Если используется подход, основанный на механике разрушения с применением концепции опорного дефекта, то конструктор упаковки должен продемонстрировать, что предусмотренные методы НРК способны выявить любые подобные дефекты и эти методы НРК применяются на практике.

VI.39. Конструктору следует указывать на возможность развития или роста дефектов и на возможное ухудшение свойств материала при эксплуатации. Ему следует определить требования к повторному или периодическому НРК и получать их утверждение от компетентного органа.

Рассмотрение вязкости разрушения

VI.40. Следует показывать, что рассчитанный коэффициент интенсивности приложенных напряжений меньше, чем значение вязкости разрушения материала в уравнении (VI.3) с соответствующим запасом на влияние пластичности и коэффициентов безопасности. Метод определения вязкости разрушения материала следует выбирать из трех вариантов, показанных на рис. VI.2. Каждый из этих вариантов включает обобщение статистически значимой базы данных о величинах вязкости разрушения материала, полученных на формах изделий, представительных в отношении поставщиков материала и пригодных для производства упаковок. В первых двух вариантах следует включать значения вязкости разрушения материала, представительные для скорости деформации, температуры и ограничивающих условий (например, толщины) реальной упаковки. Те же соображения применимы и к измерениям вязкости разрушения материала, используемым при оценке упругопластичного разрушения.

VI.41. Вариант 1 следует основывать на определении минимального значения вязкости разрушения конкретного материала при температуре –40°С. Минимальное значение, показанное на рис. VI.2, представляет статистически значимый массив данных для ограниченного числа образцов от ограниченного количества поставщиков материала, полученных при соответствующей скорости нагружения и геометрических ограничениях. Следует обеспечивать представительность образцов, форм изделий, соответствующих конкретному применению упаковки.

VI.42. Вариант 2 следует основывать на определении значений вязкости разрушения материала $K_{I(mat)} = K_{Ib}$ на нижней границе области изменения или вблизи нее, как показано на рис. VI.2. Этот вариант может охватывать как предельный случай определение вязкости разрушения опорного материала для ферритных сталей по справочной методике, приведенной, например, в разделе III приложения G Норм ASME [VI.4]. Значение на нижней границе области изменения или вблизи нее может основываться на составном массиве данных для вязкости разрушения в статических и динамических условиях и в условиях прекращения роста трещин. Преимущество данного варианта – возможность сокращения программы испытаний для материалов, которые могут быть отнесены к нижней границе кривой или близкой к ней области. Относительно малое, но приемлемое количество точек может быть достаточным для демонстрации применимости кривой к конкретным плавкам, сортам или типам материала.

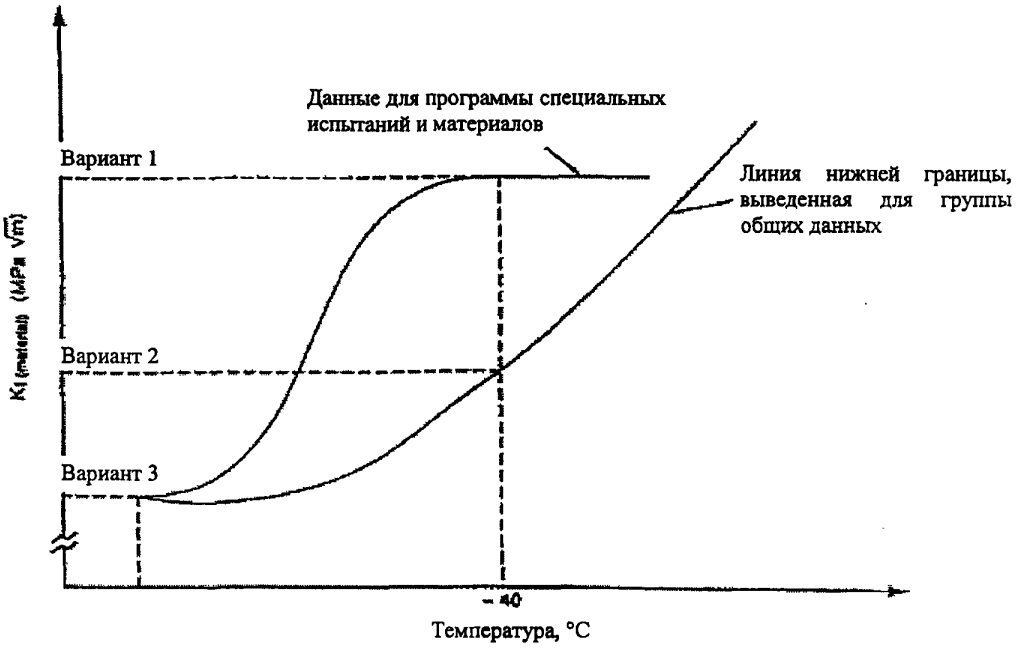


Рис. VI.2. Относительные значения измеренного $K_{J(mat)}$ для вариантов 1, 2 или 3

VI.43. Вариант 3 следует основывать либо на наименьших значениях из статистически значимого массива данных о вязкости разрушения, удовлетворяющих требованиям ASTM E399 [VI.18] по скорости статического нагружения и ограничениям в вершине трещины, либо на упругопластичных методах измерения вязкости разрушения [VI.3, VI.4]. Температуру в испытаниях LEFM по ASTM E399 следует обеспечивать, по крайней мере, не выше -40°С, а может быть и еще ниже, чтобы удовлетворить условия ASTM E399, как показано на рис. VI.2. Испытания на вязкость разрушения с использованием упругопластичных методов следует проводить при наименьшей проектной температуре. Консерватизм этого варианта, в чтности, может быть таков, что если испытания проводились при температурах, меньших -40°С и это обосновано конструктором и приемлемо для компетентного органа, то возможно использование уменьшенного коэффициента безопасности.

Рассмотрение напряжений

VI.44. И при демонстрации путем испытаний, и при выполнении анализа расчет коэффициента интенсивности приложенных напряжений у вершины опорного дефекта следует основывать на максимальных растягивающих напряжениях в элементах, критических в отношении разрушения, выбор которых обосновывается конструктором и согласовывается с компетентным органом. Элементы, критические в отношении разрушения, определяются как элементы, разрушение которых может приводить к прорыву или разрушению системы герметизации. Напряжения могут определяться расчетом для упаковки без дефектов. Широко применяемые методы включают прямые расчеты напряжений специалистом в области норм динамического анализа на основе метода конечных элементов или косвенные расчеты напряжений по результатам испытаний. В рамках анализа методом конечных элементов подход к оценке ударных нагрузок может включать либо попытку моделирования инерционных воздействий, либо квазистатический анализ при условии, что реакции ограничителей удара и корпуса упаковки могут рассматриваться независимо. Применение компьютерных программ на основе конечных элементов следует ограничивать теми программами, которые способны выполнять анализ при ударах, и теми конструкторами, которые продемонстрировали свою квалификацию, удовлетворительную для компетентного органа. Компьютерная модель должна быть настроена так, чтобы давать точные результаты в критических областях для каждой изучаемой точки приложения и пространственной ориентации ударного воздействия. Если поле напряжений выводится по результатам измерения поверхностных напряжений при испытаниях масштабной модели либо натурной упаковки, то это выводимое поле напряжений также следует обосновывать. Следует учитывать возможную погрешность измерения напряжений как за счет ошибок размещения, так и из-за влияния конечной длины датчиков, когда они располагаются в зонах ло-

кальной концентрации напряжений. Применяемый коэффициент интенсивности напряжений может быть рассчитан по результатам анализа напряжений или консервативно по справочным формулам, учитывающим форму дефекта и другие факторы, определяемые геометрией и материалом.

VI.45. Поскольку вычисленные поля напряжений могут зависеть от поведения ограничителей удара, распределения массы и конструктивных характеристик самой упаковки, обоснование напряжений будет, в свою очередь, зависеть от обоснования аналитических моделей. Если функция обеспечения того, что проектный уровень напряжений на опорных дефектах при предполагаемой минимальной вязкости разрушения не превышен, возложена на ограничители удара, то конструктору следует выполнять валидацию анализа для компетентного органа, включая обоснование коэффициентов безопасности, для учета неопределенностей. Опыт выполнения динамического анализа методом конечных элементов показал, что можно получить достаточно надежные или консервативные оценки пиковых напряжений при следующих условиях:

(i) компьютерная программа способна анализировать ударные события;
(ii) используются надежные или консервативные характеристики свойств;
(iii) модель либо точна, либо имеет консервативные упрощения;
(iv) анализ выполняется квалифицированным персоналом.

Обоснование полей напряжений, получаемых по результатам испытаний, будет зависеть от обоснования характеристик испытательного оборудования, положения и интерпретации получаемых данных. Оценка как рассчитанных, так и производных полей напряжений может также потребовать понимания соответствующих динамических характеристик материала и структурных характеристик конструкции.

VI.46. Дополнительные рекомендации по применению метода 3 можно найти в других источниках [VI.28 – VI.30].

Литература к приложению III

[VI.1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidelines for the Safe Design of Shipping Packages against Brittle Fracture, IAEA-TECDOC-717, IAEA, Vienna (1993).

[VI.2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Annual Book of ASTM Standards: Standard Test Method for Drop Weight Test to Determine Nil Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels, Vol. 03.01, ASTM E208-87a, ASTM, Philadelphia, PA (1987).

[VI.3] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Specification for Unfired Fusion Welded Pressure Vessels, BS 5500, BSI, London (1991).

[VI.4] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Rules for the Construction of Nuclear Power Plant Components, ASME, New York (1992).

[VI.5] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Rules for the Construction of Pressure Vessels, ASME, New York (1992).

[VI.6] ASSOCIATION FRANCAISE POUR LES REGLES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION DES MATERIELS DES CHAUDIERES ELECTRONUCLEAIRES (AFCEN), French Nuclear Construction Code; RCCM: Design and Construction Rules For Mechanical Components of PWR Nuclear Facilities, Subsection Z, Appendix ZG, Fast Fracture Resistance, Framatome, Paris (1985).

[VI.7] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Fracture Toughness Criteria for Ferritic Steel Shipping Cask Containment Vessels with a Wall Thickness Greater than Four Inches (0.1 m), Regulatory Guide 7.12, USNRC, Washington, DC (1991).

[VI.8] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Fracture Toughness Criteria of Base Material for Ferritic Steel Shipping Cask Containment Vessels with a Maximum Wall Thickness of Four Inches (0.1 m), Regulatory Guide 7.11, USNRC, Washington, DC (1991).

[VI.9] ROLFE, S.T., BARSOM, J.M., Fracture and fatigue control in structures, Prentice-Hall, Engle wood Cliffs, NJ (1977).

[VI.10] HOLMAN, W.R., LANGLAND, R.T., Recommendations for Protecting Against Failure by Brittle Fracture in Ferritic Steel Shipping Containers up to Four Inches Thick, NUREG/CR-1815, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1981).

[VI.11] SCHWARTZ, M.W., Recommendations for Protecting Against Failure by Brittle Fracture in Ferritic Steel Shipping Containers Greater than Four Inches Thick, NUREG/CR-3826, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1984).

[VI.12] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1 – Appendices, Appendix G: Protection Against Nonductile Failure, ASME, New York (1992).

[VI.13] ASSOCIATION FRANCAISE POUR LES REGLES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION DES MATERIELS DES CHAUDIERES ELECTRONUCLEAIRES (AFCEN), French Nuclear Construction Code, RCC-MR: Design and Construction Rules For Mechanical Components of FBR Nuclear Islands, Framatome, Paris (1985, with addendum 1987).

[VI.14] MINISTRY FOR INTERNATIONAL TRADE AND INDUSTRY, Technical Criteria for Nuclear

Power Structure, Notification No. 501, MITI, Tokyo (1980).
[VI.15] KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS, Sicherheitstechnische Regel des KTA, Komponenten des Primarkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung, KTA 3201.2, Fassung 3/84, KTA Geschaftsstelle, Bundesamt fur Strahlenschutz, Salzgitter (1985).
[VI.16] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Guidance on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Fusion Welded Structures, PD 6493, BSI, London (1991).
[VI.17] ГОСТ 25.506-85. Определение характеристик хрупкой прочности при статических нагрузках. Москва (1985).
[VI.18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Annual Book of ASTM Standards: Standard Test Method for Plane Strain Fracture Toughness of Metallic Materials, Volume 03.01, ASTM E399-83, ASTM, Philadelphia, PA (1983).
[VI.19] THE JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Standard Test Method for CTOD Fracture Toughness Testing, JSME S001, JSME, Tokyo (1981).
[VI.20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard Test Method for J_{Ic}, A Measure of Fracture Toughness, ASTM E813, Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01, ASTM, Philadelphia, PA (1991).
[VI.21] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Fracture Mechanics Toughness Tests, Method for Determination of KIc, Critical CTOD and Critical J Values of Welds in Metallic Materials, BS 7448-2, BSI, London (1997).
[VI.22] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Standard Test Method for Crack Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement, ASTM E1290-93, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia, PA (1993).
[VI.23] THE JAPAN WELDING ENGINEERING SOCIETY, Standard Test Method for CTOD Fracture Toughness Testing, JWES 2805, JWES, Tokyo (1980).
[VI.24] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/TC164/SC4 – Discussions on a Unified Method of Test for Quasi-static Fracture Toughness – N128, ISO, Geneva (1994).
[VI.25] ZAHOOR, A., Ductile Fracture Handbook, Rep. NP 6301-D, EPRI, Palo Alto, CA (1991).
[VI.26] CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD, Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects, Rep. R/H/R6-Rev. 3, CEGB, London (1986).
[VI.27] CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY, Research on Quality Assurance of Ductile Cast Iron Casks, EL 87001, CRIEPI, Tokyo (1988).
[VI.28] DROSTE, B., SORENSON, K. (Eds), Brittle fracture safety assessment, Int. J. Radioact. Mater. Transp. 6 2–3 (1995) 101 – 223.
[VI.29] SHIRAI, K., et al., Integrity of cast iron cask against free drop test – Verification of brittle failure design criterion, Int. J. Radioact. Mater. Transp. 4 1 (1993) 5 –13.
[VI.30] ARAI, T., et al., Determination of lower bound fracture toughness for heavy section ductile cast iron (DCI) and small specimen tests, ASTM STP No. 1207, ASTM, Philadelphia, PA (1995) 355 – 368.
[VI.31] Нормы расчета на прочность транспортных упаковочных комплектов для перевозки ядерных делящихся материалов. НРП-93.
[VI.32] Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-002-86.
[VI.33] Методические указания. Расчеты на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении. РД 50-260-81.

Приложение IV

Период полураспада и удельная активность радионуклидов, дозовые коэффициенты и коэффициенты мощности дозы для радионуклидов и удельная активность урана

(цитируется по приложению II руководства МАГАТЭ TS-G-1.1)

II.1. В табл. II.1 представлены период полураспада и удельная активность радионуклидов, рассчитанные с использованием уравнения, показанного в п. 240.2 (см. [II.1]). Как определено в п. 240 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 34 и 35 НП-053-04), удельная активность радионуклида это "активность на единицу массы данного нуклида", в то время когда удельная активность материала – это "активность на единицу массы или объема материала, в котором радионуклиды в основном распределены равномерно". Значения удельной активности, приведенные в табл. II.1, относятся к радионуклидам, а не к материалам.

II.2. В табл. II.2 представлены дозовые коэффициенты и коэффициенты мощности дозы для каждого радионуклида.

II.3. В табл. II.3 представлена удельная активность урана различной степени обогащения. Эти цифры включают активность U-234, концентрируемого в процессе обогащения.

Таблица II.1

Период полураспада и удельная активность радионуклидов

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Ac-225	Актиний (89)	10 сут	$8{,}640 \cdot 10^{5}$	$2{,}150 \cdot 10^{15}$
Ac-227		21,773 лет	$6{,}866 \cdot 10^{8}$	$2{,}682 \cdot 10^{12}$
Ac-228		6,13 ч	$2{,}207 \cdot 10^{4}$	$8{,}308 \cdot 10^{16}$
Ag-105	Серебро (47)	41 сут	$3{,}542 \cdot 10^{6}$	$1{,}124 \cdot 10^{15}$
Ag–108 m		127 лет	$4{,}05 \cdot 10^{9}$	$9{,}664 \cdot 10^{11}$
Ag-110 m		249,9 сут	$2{,}159 \cdot 10^{7}$	$1{,}760 \cdot 10^{14}$
Ag-111		7,45 сут	$6{,}437 \cdot 10^{5}$	$5{,}850 \cdot 10^{15}$
Al-26	Алюминий (13)	$7{,}16 \cdot 10^{5}$ лет	$2{,}258 \cdot 10^{13}$	$7{,}120 \cdot 10^{8}$
Am-241	Америций (95)	432,2 лет	$1{,}363 \cdot 10^{10}$	$1{,}273 \cdot 10^{11}$
Am-242 m		152 лет	$4{,}793 \cdot 10^{9}$	$3{,}603 \cdot 10^{11}$
Am-243		7380 лет	$2{,}327 \cdot 10^{11}$	$7{,}391 \cdot 10^{9}$
Ar-37	Аргон (18)	35,02 сут	$3{,}026 \cdot 10^{6}$	$3{,}734 \cdot 10^{15}$
Ar-39		269 лет	$8{,}483 \cdot 10^{9}$	$1{,}263 \cdot 10^{12}$
Ar-41		1,827 ч	$6{,}77 \cdot 10^{3}$	$1{,}550 \cdot 10^{18}$
As-72	Мышьяк (33)	26 ч	$9{,}360 \cdot 10^{4}$	$6{,}203 \cdot 10^{16}$
As-73		80,3 сут	$6{,}938 \cdot 10^{6}$	$8{,}253 \cdot 10^{14}$
As-74		17,76 сут	$1{,}534 \cdot 10^{6}$	$3{,}681 \cdot 10^{15}$
As-76		26,32 ч	$9{,}475 \cdot 10^{4}$	$5{,}805 \cdot 10^{16}$
As-77		38,8 ч	$1{,}397 \cdot 10^{5}$	$3{,}886 \cdot 10^{16}$
At-211	Астат (85)	7,214 ч	$2{,}597 \cdot 10^{4}$	$7{,}628 \cdot 10^{16}$
Au-193	Золото (79)	17,65 ч	$6{,}354 \cdot 10^{4}$	$3{,}409 \cdot 10^{16}$
Au-194		39,5 ч	$1{,}422 \cdot 10^{5}$	$1{,}515 \cdot 10^{16}$
Au-195		183 сут	$1{,}581 \cdot 10^{7}$	$1{,}356 \cdot 10^{14}$
Au-198		2,696 сут	$2{,}329 \cdot 10^{5}$	$9{,}063 \cdot 10^{15}$
Au-199		3,139 сут	$2{,}712 \cdot 10^{5}$	$7{,}745 \cdot 10^{15}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Ba-131	Барий (56)	11,8 сут	$1{,}020 \cdot 10^{6}$	$3{,}130 \cdot 10^{15}$
Ba-133		10,74 лет	$3{,}387 \cdot 10^{8}$	$9{,}279 \cdot 10^{12}$
Ba-133 m		38,9 ч	$1{,}400 \cdot 10^{5}$	$2{,}244 \cdot 10^{16}$
Ba-140		12,74 сут	$1{,}101 \cdot 10^{6}$	$2{,}712 \cdot 10^{15}$
Be-7	Бериллий (4)	53,3 сут	$4{,}605 \cdot 10^{6}$	$1{,}297 \cdot 10^{16}$
Be-10		$1.6 \cdot 10^{6}$ лет	$5{,}046 \cdot 10^{13}$	$8{,}284 \cdot 10^{8}$
Bi-205	Висмут (83)	15,31 сут	$1{,}323 \cdot 10^{6}$	$1{,}541 \cdot 10^{15}$
Bi-206		6,243 сут	$5{,}394 \cdot 10^{5}$	$3{,}762 \cdot 10^{15}$
Bi-207		38 лет	$1{,}198 \cdot 10^{9}$	$1{,}685 \cdot 10^{12}$
Bi-210		5,012 сут	$4{,}330 \cdot 10^{5}$	$4{,}597 \cdot 10^{15}$
Bi-210 m		$3.0 \cdot 10^{6}$ лет	$9{,}461 \cdot 10^{13}$	$2{,}104 \cdot 10^{7}$
Bi-212		60,55 мин	$3{,}633 \cdot 10^{3}$	$5{,}427 \cdot 10^{17}$
Bk-247	Берклий (97)	1380 лет	$4{,}352 \cdot 10^{10}$	$3{,}889 \cdot 10^{10}$
Bk-249		320 сут	$2{,}765 \cdot 10^{7}$	$6{,}072 \cdot 10^{13}$
Br-76	Бром (35)	16,2 ч	$5{,}832 \cdot 10^{4}$	$9{,}431 \cdot 10^{16}$
Br-77		56 ч	$2{,}016 \cdot 10^{5}$	$2{,}693 \cdot 10^{16}$
Br-82		35,3 ч	$1{,}271 \cdot 10^{5}$	$4{,}011 \cdot 10^{16}$
C-11	Углерод (6)	20,38 мин	$1{,}223 \cdot 10^{3}$	$3{,}108 \cdot 10^{19}$
C-14		5730 лет	$1{,}807 \cdot 10^{11}$	$1{,}652 \cdot 10^{11}$
Ca-41	Кальций (20)	$1{,}4 \cdot 10^{5}$ лет	$4{,}415 \cdot 10^{12}$	$2{,}309 \cdot 10^{9}$
Ca-45		163 сут	$1{,}408 \cdot 10^{7}$	$6{,}596 \cdot 10^{14}$
Ca-47		4,53 сут	$3{,}914\ 10^{5}$	$2{,}272 \cdot 10^{16}$
Cd-109	Кадмий (48)	464 сут	$4{,}009 \cdot 10^{7}$	$9{,}566 \cdot 10^{13}$
Cd-113 m		13,6 лет	$4{,}289 \cdot 10^{8}$	$8{,}625 \cdot 10^{12}$
Cd-115		53,46 ч	$1{,}925 \cdot 10^{5}$	$1{,}889 \cdot 10^{16}$
Cd-115 m		44,6 сут	$3{,}853 \cdot 10^{6}$	$9{,}433 \cdot 10^{14}$
Ce-139	Церий (58)	137,66 сут	$1{,}189 \cdot 10^{7}$	$2{,}528 \cdot 10^{14}$
Ce-141		32,501 сут	$2{,}808 \cdot 10^{6}$	$1{,}056 \cdot 10^{15}$
Ce-143		33 ч	$1{,}188 \cdot 10^{5}$	$2{,}461 \cdot 10^{16}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Ce-144		284,3 сут	$2{,}456 \cdot 10^{7}$	$1{,}182 \cdot 10^{14}$
Cf-248	Калифорний (98)	333,5 сут	$2{,}881 \cdot 10^{7}$	$5{,}849 \cdot 10^{13}$
Cf-249		350,6 лет	$1{,}106 \cdot 10^{10}$	$1{,}518 \cdot 10^{11}$
Cf-250		13,08 лет	$4{,}125 \cdot 10^{8}$	$4{,}053 \cdot 10^{12}$
Cf-251		898 лет	$2{,}832 \cdot 10^{10}$	$5{,}881 \cdot 10^{10}$
Cf-252		2,638 лет	$8{,}319 \cdot 10^{7}$	$1{,}994 \cdot 10^{13}$
Cf-253		17,81 сут	$1{,}539 \cdot 10^{6}$	$1{,}074 \cdot 10^{15}$
Cf-254		60,5 сут	$5{,}227 \cdot 10^{6}$	$3{,}148 \cdot 10^{14}$
Cl-36	Хлор (17)	$3{,}01 \cdot 10^{5}$ лет	$9{,}492 \cdot 10^{12}$	$1{,}223 \cdot 10^{9}$
Cl-38		37,21 мин	$2{,}233 \cdot 10^{3}$	$4{,}927 \cdot 10^{18}$
Cm-240	Кюрий (96)	27 сут	$2{,}333 \cdot 10^{6}$	$7{,}466 \cdot 10^{14}$
Cm-241		32,8 сут	$2{,}834 \cdot 10^{6}$	$6{,}120 \cdot 10^{14}$
Cm-242		162,8 сут	$1{,}407 \cdot 10^{7}$	$1{,}228 \cdot 10^{14}$
Cm-243		28,5 лет	$8{,}988 \cdot 10^{8}$	$1{,}914 \cdot 10^{12}$
Cm-244		18,11 лет	$5{,}711 \cdot 10^{8}$	$3{,}000 \cdot 10^{12}$
Cm-245		8500 лет	$2{,}681 \cdot 10^{11}$	$6{,}365 \cdot 10^{9}$
Cm-246		4730 лет	$1{,}492 \cdot 10^{11}$	$1{,}139 \cdot 10^{10}$
Cm-247		$1{,}56 \cdot 10^{7}$ лет	$4{,}920 \cdot 10^{14}$	$3{,}440 \cdot 10^{6}$
Cm-248		$3{,}39 \cdot 10^{5}$ лет	$1{,}069 \cdot 10^{13}$	$1{,}577 \cdot 10^{8}$
Co-55	Кобальт (27)	17,54 ч	$6{,}314 \cdot 10^{4}$	$1{,}204 \cdot 10^{17}$
Co-56		78,76 сут	$6{,}805 \cdot 10^{6}$	$1{,}097 \cdot 10^{15}$
Co-57		270,9 сут	$2{,}341 \cdot 10^{7}$	$3{,}133 \cdot 10^{14}$
Co-58		70,8 сут	$6{,}117 \cdot 10^{6}$	$1{,}178 \cdot 10^{15}$
Co-58 m		9,15 ч	$3{,}294 \cdot 10^{4}$	$2{,}188 \cdot 10^{17}$
Co-60		5,271 лет	$1{,}662 \cdot 10^{8}$	$4{,}191 \cdot 10^{13}$
Cr-51	Хром (24)	27,704 сут	$2{,}394 \cdot 10^{6}$	$3{,}424 \cdot 10^{15}$
Cs-129	Цезий (55)	32,06 ч	$1{,}154 \cdot 10^{5}$	$2{,}808 \cdot 10^{16}$
Cs-131		9,69 сут	$8{,}372 \cdot 10^{5}$	$3{,}811 \cdot 10^{15}$
Cs-132		6,475 сут	$5{,}594 \cdot 10^{5}$	$5{,}660 \cdot 10^{15}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Cs-134		2,062 лет	$6,503 \cdot 10^{7}$	$4,797 \cdot 10^{13}$
Cs-134 m		2,9 ч	$1,044 \cdot 10^{4}$	$2,988 \cdot 10^{17}$
Cs-135		$2,3 \cdot 10^{6}$ лет	$7,253 \cdot 10^{13}$	$4,269 \cdot 10^{7}$
Cs-136		13,1 сут	$1,132 \cdot 10^{6}$	$2,716 \cdot 10^{15}$
Cs-137		30 лет	$9,461 \cdot 10^{8}$	$3,225 \cdot 10^{12}$
Cu-64	Медь (29)	12,701 ч	$4,572 \cdot 10^{4}$	$1,428 \cdot 10^{17}$
Cu-67		61,86 ч	$2,227 \cdot 10^{5}$	$2,801 \cdot 10^{16}$
Dy-159	Диспрозий (66)	144,4 сут	$1,248 \cdot 10^{7}$	$2,107 \cdot 10^{14}$
Dy-165		2,334 ч	$8,402 \cdot 10^{3}$	$3,015 \cdot 10^{17}$
Dy-166		81,6 ч	$2,938 \cdot 10^{5}$	$8,572 \cdot 10^{15}$
Er-169	Эрбий (68)	9,3 сут	$8,035 \cdot 10^{5}$	$3,078 \cdot 10^{15}$
Er-171		7,52 ч	$2,707 \cdot 10^{4}$	$9,029 \cdot 10^{16}$
Eu-147	Европий (63)	24 сут	$2,074 \cdot 10^{6}$	$1,371 \cdot 10^{15}$
Eu-148		54,5 сут	$4,709 \cdot 10^{6}$	$5,998 \cdot 10^{14}$
Eu-149		93,1d	$8,044 \cdot 10^{6}$	$3,488 \cdot 10^{14}$
Eu-150 коротк.		12,62 ч	$4,543 \cdot 10^{4}$	$6,134 \cdot 10^{16}$
Eu-150 долгож.		34,2 лет	$1,079 \cdot 10^{9}$	$2,584 \cdot 10^{12}$
Eu-152		13,33 лет	$4,204 \cdot 10^{8}$	$6,542 \cdot 10^{12}$
Eu-152 m		9,32 ч	$3,355 \cdot 10^{4}$	$8,196 \cdot 10^{16}$
Eu-154		8,8 лет	$2,775 \cdot 10^{8}$	$9,781 \cdot 10^{12}$
Eu-155		4,96 лет	$1,564 \cdot 10^{8}$	$1,724 \cdot 10^{13}$
Eu-156		15,19 сут	$1,312 \cdot 10^{6}$	$2,042 \cdot 10^{15}$
F-18	Фтор (9)	109,77 мин	$6,586 \cdot 10^{3}$	$3,526 \cdot 10^{18}$
Fe-52	Железо (26)	8,275 ч	$2,979 \cdot 10^{4}$	$2,698 \cdot 10^{17}$
Fe-55		2,7 лет	$8,515 \cdot 10^{7}$	$8,926 \cdot 10^{13}$
Fe-59		44,529 сут	$3,847 \cdot 10^{6}$	$1,841 \cdot 10^{15}$
Fe-60		$1,0 \cdot 10^{5}$ лет	$3,154 \cdot 10^{12}$	$2,209 \cdot 10^{9}$
Ga-67	Галлий (31)	78,26 ч	$2,817 \cdot 10^{5}$	$2,214 \cdot 10^{16}$
Ga-68		68 мин	$4,080 \cdot 10^{3}$	$1,507 \cdot 10^{18}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Ga-72		14,1 ч	$5{,}076 \cdot 10^{4}$	$1{,}144 \cdot 10^{17}$
Gd-146	Гадолиний (64)	48.3 сут	$4{,}173 \cdot 10^{6}$	$6{,}861 \cdot 10^{14}$
Gd-148		93 лет	$2{,}933 \cdot 10^{9}$	$9{,}630 \cdot 10^{11}$
Gd-153		242 сут	$2{,}091 \cdot 10^{7}$	$1{,}307 \cdot 10^{14}$
Gd-159		18,56 ч	$6{,}682 \cdot 10^{4}$	$3{,}935 \cdot 10^{16}$
Ge-68	Германий (32)	288 сут	$2{,}488 \cdot 10^{7}$	$2{,}470 \cdot 10^{14}$
Ge-71		11,8 сут	$1{,}020 \cdot 10^{6}$	$5{,}775 \cdot 10^{15}$
Ge-77		11,3 ч	$4{,}068 \cdot 10^{4}$	$1{,}334 \cdot 10^{17}$
Hf-172	Гафний (72)	1,87 лет	$5{,}897 \cdot 10^{7}$	$4{,}121 \cdot 10^{13}$
Hf-175		70 сут	$6{,}048 \cdot 10^{6}$	$3{,}949 \cdot 10^{14}$
Hf-181		42,4 сут	$3{,}663 \cdot 10^{6}$	$6{,}304 \cdot 10^{14}$
Hf-182		$9{,}0 \cdot 10^{6}$ лет	$2{,}838 \cdot 10^{14}$	$8{,}092 \cdot 10^{6}$
Hg-194	Ртуть (80)	260 лет	$8{,}199 \cdot 10^{9}$	$2{,}628 \cdot 10^{11}$
Hg-195 m		41,6 ч	$1{,}498 \cdot 10^{5}$	$1{,}431 \cdot 10^{16}$
Hg-197		64,1 ч	$2{,}308 \cdot 10^{5}$	$9{,}195 \cdot 10^{15}$
Hg-197 m		23,8 ч	$8{,}568 \cdot 10^{4}$	$2{,}476 \cdot 10^{16}$
Hg-203		46,6 сут	$4{,}026 \cdot 10^{6}$	$5{,}114 \cdot 10^{14}$
Ho-166	Гольмий (67)	26,8 ч	$9{,}648 \cdot 10^{4}$	$2{,}610 \cdot 10^{16}$
Ho-166 m		1200 лет	$3{,}784 \cdot 10^{10}$	$6{,}654 \cdot 10^{10}$
I-123	Йод (53)	13,2 ч	$4{,}752 \cdot 10^{4}$	$7{,}151 \cdot 10^{16}$
I-124		4,18 сут	$3{,}612 \cdot 10^{5}$	$9{,}334 \cdot 10^{15}$
I-125		60,14 сут	$5{,}196 \cdot 10^{6}$	$6{,}436 \cdot 10^{14}$
I-126		13,02 сут	$1{,}125 \cdot 10^{6}$	$2{,}949 \cdot 10^{15}$
I-129		$1{,}57 \cdot 10^{7}$ лет	$4{,}951 \cdot 10^{14}$	$6{,}545 \cdot 10^{6}$
I-131		8,04 сут	$6{,}947 \cdot 10^{5}$	$4{,}593 \cdot 10^{15}$
I-132		2,3 ч	$8{,}280 \cdot 10^{3}$	$3{,}824 \cdot 10^{17}$
I-133		20,8 ч	$7{,}488 \cdot 10^{4}$	$4{,}197 \cdot 10^{16}$
I-134		52,6 мин	$3{,}156 \cdot 10^{3}$	$9{,}884 \cdot 10^{17}$
I-135		6,61 ч	$2{,}380 \cdot 10^{4}$	$1{,}301 \cdot 10^{17}$
In-111	Индий (49)	2,83 сут	$2{,}445 \cdot 10^{5}$	$1{,}540 \cdot 10^{16}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
In-113 m		1,658 ч	$5{,}969 \cdot 10^{3}$	$6{,}197 \cdot 10^{17}$
In-114 m		49,51 сут	$4{,}278 \cdot 10^{6}$	$8{,}572 \cdot 10^{14}$
In-115 m		4,486 ч	$1{,}615 \cdot 10^{4}$	$2{,}251 \cdot 10^{17}$
Ir-189	Иридий (77)	13,3 сут	$1{,}149 \cdot 10^{6}$	$1{,}925 \cdot 10^{15}$
Ir-190		12.1 сут	$1{,}045 \cdot 10^{6}$	$2{,}104 \cdot 10^{15}$
Ir-192		74,02 сут	$6{,}395 \cdot 10^{6}$	$3{,}404 \cdot 10^{14}$
Ir-194		19,15 ч	$6{,}894 \cdot 10^{4}$	$3{,}125 \cdot 10^{16}$
K-40	Калий (19)	$1{,}28 \cdot 10^{9}$ лет	$4{,}037 \cdot 10^{16}$	$2{,}589 \cdot 10^{5}$
K-42		12,36 ч	$4{,}450 \cdot 10^{4}$	$2{,}237 \cdot 10^{17}$
K-43		22,6 ч	$8{,}136 \cdot 10^{4}$	$1{,}195 \cdot 10^{17}$
Kr-81	Криптон (36)	$2{,}1 \cdot 10^{5}$ лет	$6{,}623 \cdot 10^{12}$	$7{,}792 \cdot 10^{8}$
Kr-85		10,72 лет	$3{,}381 \cdot 10^{8}$	$1{,}455 \cdot 10^{13}$
Kr-85		4,48 ч	$1{,}613 \cdot 10^{4}$	$3{,}049 \cdot 10^{17}$
Kr-87		76,3 мин	$4{,}578 \cdot 10^{3}$	$1{,}049 \cdot 10^{18}$
La-137	Лантан (57)	$6{,}0 \cdot 10^{4}$ лет	$1{,}892 \cdot 10^{12}$	$1{,}612 \cdot 10^{9}$
La-140		40,272 ч	$1{,}450 \cdot 10^{5}$	$2{,}059 \cdot 10^{16}$
Lu-172	Лютеций (71)	6,7 сут	$5{,}789 \cdot 10^{5}$	$4{,}198 \cdot 10^{15}$
Lu-173		1,37 лет	$4{,}320 \cdot 10^{7}$	$5{,}592 \cdot 10^{13}$
Lu-174		3,31 лет	$1{,}044 \cdot 10^{8}$	$2{,}301 \cdot 10^{13}$
Lu-174 m		142 сут	$1{,}227 \cdot 10^{7}$	$1{,}958 \cdot 10^{14}$
Lu-177		6,71 сут	$5{,}797 \cdot 10^{5}$	$4{,}073 \cdot 10^{15}$
Mg-28	Магний (12)	20,91 ч	$7{,}528 \cdot 10^{4}$	$1{,}983 \cdot 10^{17}$
Mn-52	Марганец (25)	5,591 сут	$4{,}831 \cdot 10^{5}$	$1{,}664 \cdot 10^{16}$
Mn-53		$3{,}7 \times 10^{6}$ лет	$1{,}161 \cdot 10^{14}$	$6{,}759 \cdot 10^{7}$
Mn-54		312,5 сут	$2{,}700 \cdot 10^{7}$	$2{,}867 \cdot 10^{14}$
Mn-56		2,5785 ч	$9{,}283 \cdot 10^{3}$	$8{,}041 \cdot 10^{17}$
Mo-93	Молибден (42)	3500 лет	$1{,}104 \cdot 10^{11}$	$4{,}072 \cdot 10^{10}$
Mo-99		66 ч	$2{,}376 \cdot 10^{5}$	$1{,}777 \cdot 10^{16}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
N-13	Азот (7)	9,965 мин	$5{,}979 \cdot 10^{2}$	$5{,}378 \cdot 10^{19}$
Na-22	Натрий (11)	2,602 лет	$8{,}206 \cdot 10^{7}$	$2{,}315 \cdot 10^{14}$
Na-24		15 ч	$5{,}400 \cdot 10^{4}$	$3{,}225 \cdot 10^{17}$
Nb-93 m	Ниобий (41)	13,6 лет	$4{,}289 \cdot 10^{8}$	$1{,}048 \cdot 10^{13}$
Nb-94		$2{,}03 \times 10^{4}$ лет	$6{,}402 \cdot 10^{11}$	$6{,}946 \cdot 10^{9}$
Nb-95		35,15 сут	$3{,}037 \cdot 10^{6}$	$1{,}449 \cdot 10^{15}$
Nb-97		72,1 мин	$4{,}326 \cdot 10^{3}$	$9{,}961 \cdot 10^{17}$
Nd-147	Неодим (60)	10,98 сут	$9{,}487 \cdot 10^{5}$	$2{,}997 \cdot 10^{15}$
Nd-149		1,73 ч	$6{,}228 \cdot 10^{3}$	$4{,}504 \cdot 10^{17}$
Ni-59	Никель (28)	$7{,}5 \times 10^{4}$ лет	$2{,}365 \cdot 10^{12}$	$2{,}995 \cdot 10^{9}$
Ni-63		96 лет	$3{,}027 \cdot 10^{9}$	$2{,}192 \cdot 10^{12}$
Ni-65		2,52 ч	$9{,}072 \cdot 10^{3}$	$7{,}089 \cdot 10^{17}$
Np-235	Нептуний (93)	396,1 сут	$3{,}422 \cdot 10^{7}$	$5{,}197 \cdot 10^{13}$
Np-236 долго-жив.		$1{,}15 \times 10^{5}$ лет	$3{,}627 \cdot 10^{12}$	$4{,}884 \cdot 10^{8}$
Np-236 корот-кож.		22,5 ч	$8{,}100 \cdot 10^{4}$	$2{,}187 \cdot 10^{16}$
Np-237		$2{,}14 \times 10^{6}$ лет	$6{,}749 \cdot 10^{13}$	$2{,}613 \cdot 10^{7}$
Np-239		2,355 сут	$2{,}035 \cdot 10^{5}$	$8{,}596 \cdot 10^{15}$
Os-185	Осмий (76)	94 сут	$8{,}122 \cdot 10^{6}$	$2{,}782 \cdot 10^{14}$
Os-191		15,4 сут	$1{,}331 \cdot 10^{6}$	$1{,}645 \cdot 10^{15}$
Os-191 m		13,03 ч	$4{,}691 \cdot 10^{4}$	$4{,}665 \cdot 10^{16}$
Os-193		30 ч	$1{,}080 \cdot 10^{5}$	$2{,}005 \cdot 10^{16}$
Os-194		6 ле	$1{,}892 \cdot 10^{8}$	$1{,}139 \cdot 10^{13}$
P-32	Фосфор (15)	14,29 сут	$1{,}235 \cdot 10^{6}$	$1{,}058 \cdot 10^{16}$
P-33		25,4 сут	$2{,}195 \cdot 10^{6}$	$5{,}772 \cdot 10^{15}$
Pa-230	Протактиний (91)	17,4 сут	$1{,}503 \cdot 10^{6}$	$1{,}209 \cdot 10^{15}$
Pa-231		32 760 лет	$1{,}033 \cdot 10^{12}$	$1{,}752 \cdot 10^{9}$
Pa-233		27 сут	$2{,}333 \cdot 10^{6}$	$7{,}690 \cdot 10^{14}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Pb-201	Свинец (82)	9,4 ч	$3{,}384 \cdot 10^{4}$	$6{,}145 \cdot 10^{16}$
Pb-202		$3{,}0 \times 10^{5}$ лет	$9{,}461 \cdot 10^{12}$	$2{,}187 \cdot 10^{8}$
Pb-203		52,05 ч	$1{,}874 \cdot 10^{5}$	$1{,}099 \cdot 10^{16}$
Pb-205		$1{,}43 \times 10^{7}$ лет	$4{,}5101 \cdot 0^{14}$	$4{,}521 \cdot 10^{6}$
Pb-210		22,3 лет	$7{,}033 \cdot 10^{8}$	$2{,}830 \cdot 10^{12}$
Pb-212		10,64 ч	$3{,}830 \cdot 10^{4}$	$5{,}147 \cdot 10^{16}$
Pd-103	Палладий (46)	16,96 сут	$1{,}465 \cdot 10^{6}$	$2{,}769 \cdot 10^{15}$
Pd-107		$6{,}5 \cdot 10^{6}$ лет	$2{,}050 \cdot 10^{14}$	$1{,}906 \cdot 10^{7}$
Pd-109		13,427 ч	$4{,}834 \cdot 10^{4}$	$7{,}934 \cdot 10^{16}$
Pm-143	Прометий (61)	265 сут	$2{,}290 \cdot 10^{7}$	$1{,}277 \cdot 10^{14}$
Pm-144		363 сут	$3{,}136 \cdot 10^{7}$	$9{,}255 \cdot 10^{13}$
Pm-145		17,7 лет	$5{,}582 \cdot 10^{8}$	$5{,}165 \cdot 10^{12}$
Pm-147		2,6234 лет	$8{,}273 \cdot 10^{7}$	$3{,}437 \cdot 10^{13}$
Pm-148 m		41,3 сут	$3{,}568 \cdot 10^{6}$	$7{,}915 \cdot 10^{14}$
Pm-149		53,08 ч	$1{,}911 \cdot 10^{5}$	$1{,}468 \cdot 10^{16}$
Pm-151		28,4 ч	$1{,}022 \cdot 10^{5}$	$2{,}708 \cdot 10^{16}$
Po-210	Полоний (84)	138,38 сут	$1{,}196 \cdot 10^{7}$	$1{,}665 \cdot 10^{14}$
Pr-142	Празеодим (59)	19,13 ч	$6{,}887 \cdot 10^{4}$	$4{,}274 \cdot 10^{16}$
Pr-143		13,56 сут	$1{,}172 \cdot 10^{6}$	$2{,}495 \cdot 10^{15}$
Pt-188	Платина (78)	10,2 сут	$8{,}813 \cdot 10^{5}$	$2{,}523 \cdot 10^{15}$
Pt-191		2,8 сут	$2{,}419 \cdot 10^{5}$	$9{,}046 \cdot 10^{15}$
Pt-193		50 лет	$1{,}577 \cdot 10^{9}$	$1{,}374 \cdot 10^{12}$
Pt-193 m		4,33 сут	$3{,}741 \cdot 10^{5}$	$5{,}789 \cdot 10^{15}$
Pt-195 m		4,02 сут	$3{,}473 \cdot 10^{5}$	$6{,}172 \cdot 10^{15}$
Pt-197		18,3 ч	$6{,}588 \cdot 10^{4}$	$3{,}221 \cdot 10^{16}$
Pt-197 m		94,4 мин	$5{,}664 \cdot 10^{3}$	$3{,}746 \cdot 10^{17}$
Pu-236	Плутоний (94)	2,851 лет	$8{,}991 \cdot 10^{7}$	$1{,}970 \cdot 10^{13}$
Pu-237		45,3 сут	$3{,}914 \cdot 10^{6}$	$4{,}506 \cdot 10^{14}$
Pu-238		87,74 лет	$2{,}767 \cdot 10^{9}$	$6{,}347 \cdot 10^{11}$
Pu-239		24 065 лет	$7{,}589 \cdot 10^{11}$	$2{,}305 \cdot 10^{9}$
Pu-240		6537 лет	$2{,}062 \cdot 10^{11}$	$8{,}449 \cdot 10^{9}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Pu-241		14,4 лет	$4{,}541 \cdot 10^{8}$	$3{,}819 \cdot 10^{12}$
Pu-242		$3{,}763 \cdot 10^{5}$ лет	$1{,}187 \cdot 10^{13}$	$1{,}456 \cdot 10^{8}$
Pu-244		$8{,}26 \cdot 10^{7}$ лет	$2{,}605 \cdot 10^{15}$	$6{,}577 \cdot 10^{5}$
Ra-223	Радий (88)	11,434 сут	$9{,}879 \cdot 10^{5}$	$1{,}897 \cdot 10^{15}$
Ra-224		3,66 сут	$3{,}162 \cdot 10^{5}$	$5{,}901 \cdot 10^{15}$
Ra-225		14,8 сут	$1{,}279 \cdot 10^{6}$	$1{,}453 \cdot 10^{15}$
Ra-226		1600 лет	$5{,}046 \cdot 10^{10}$	$3{,}666 \cdot 10^{10}$
Ra-228		5,75 лет	$1{,}813 \cdot 10^{8}$	$1{,}011 \cdot 10^{13}$
Rb-81	Рубидий (37)	4,58 ч	$1{,}649 \cdot 10^{4}$	$3{,}130 \cdot 10^{17}$
Rb-83		86,2 сут	$7{,}448 \cdot 10^{6}$	$6{,}762 \cdot 10^{14}$
Rb-84		32,77 сут	$2{,}831 \cdot 10^{6}$	$1{,}758 \cdot 10^{15}$
Rb-86		18,66 сут	$1{,}612 \cdot 10^{6}$	$3{,}015 \cdot 10^{15}$
Rb-87		$4{,}7 \cdot 10^{10}$ лет	$1{,}482 \cdot 10^{18}$	$3{,}242 \cdot 10^{3}$
Re-184	Рений (75)	38 сут	$3{,}283 \cdot 10^{6}$	$6{,}919 \cdot 10^{14}$
Re-184 m		165 сут	$1{,}426 \cdot 10^{7}$	$1{,}594 \cdot 10^{14}$
Re-186		90,64 ч	$3{,}263 \cdot 10^{5}$	$6{,}887 \cdot 10^{15}$
Re-187		$5{,}0 \cdot 10^{10}$ лет	$1{,}577 \cdot 10^{18}$	$1{,}418 \cdot 10^{3}$
Re-188		16,98 ч	$6{,}113 \cdot 10^{4}$	$3{,}637 \cdot 10^{16}$
Re-189		24,3 ч	$8{,}748 \cdot 10^{4}$	$2{,}528 \cdot 10^{16}$
Rh-99	Родий (45)	16 сут	$1{,}382 \cdot 10^{6}$	$3{,}054 \cdot 10^{15}$
Rh-101		3,2 лет	$1{,}009 \cdot 10^{8}$	$4{,}101 \cdot 10^{13}$
Rh-102		2,9 лет	$9{,}145 \cdot 10^{7}$	$4{,}481 \cdot 10^{13}$
Rh-102 m		207 сут	$1{,}788 \cdot 10^{7}$	$2{,}291 \cdot 10^{14}$
Rh-103 m		56,12 мин	$3{,}367 \cdot 10^{3}$	$1{,}205 \cdot 10^{18}$
Rh-105		35,36 ч	$1{,}273 \cdot 10^{5}$	$3{,}127 \cdot 10^{16}$
Rn-222	Радон (86)	3,8235 сут	$3{,}304 \cdot 10^{5}$	$5{,}700 \cdot 10^{15}$
Ru-97	Рутений (44)	2,9 суток	$2{,}506 \cdot 10^{5}$	$1{,}720 \cdot 10^{16}$
Ru-103		39,28 сут	$3{,}394 \cdot 10^{6}$	$1{,}196 \cdot 10^{15}$
Ru-105		4,44 ч	$1{,}598 \cdot 10^{4}$	$2{,}491 \cdot 10^{17}$
Ru-106		368,2 сут	$3{,}181 \cdot 10^{7}$	$1{,}240 \cdot 10^{14}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
S-35	Сера (16)	87,44 сут	$7{,}555 \cdot 10^{6}$	$1{,}581 \cdot 10^{15}$
Sb-122	Сурьма (51)	2,7 сут	$2{,}333 \cdot 10^{5}$	$1{,}469 \cdot 10^{16}$
Sb-124		60,2 сут	$5{,}201 \cdot 10^{6}$	$6{,}481 \cdot 10^{14}$
Sb-125		2,77 лет	$8{,}735 \cdot 10^{7}$	$3{,}828 \cdot 10^{13}$
Sb-126		12,4 сут	$1{,}071 \cdot 10^{6}$	$3{,}096 \cdot 10^{15}$
Sc-44	Скандий (21)	3,927 ч	$1{,}414 \cdot 10^{4}$	$6{,}720 \cdot 10^{17}$
Sc-46		83,83 сут	$7{,}243 \cdot 10^{6}$	$1{,}255 \cdot 10^{15}$
Sc-47		3,351 сут	$2{,}895 \cdot 10^{5}$	$3{,}072 \cdot 10^{16}$
Sc-48		43,7 ч	$1{,}573 \cdot 10^{5}$	$5{,}535 \cdot 10^{16}$
Se-75	Селен (34)	119,8 сут	$1{,}035 \cdot 10^{7}$	$5{,}384 \cdot 10^{14}$
Se-79		$6{,}5 \cdot 10^{4}$ лет	$2{,}050 \cdot 10^{12}$	$2{,}581 \cdot 10^{9}$
Si-31	Кремний (14)	157,3 мин	$9{,}438 \cdot 10^{3}$	$1{,}429 \cdot 10^{18}$
Si-32		450 лет	$1{,}419 \cdot 10^{10}$	$9{,}205 \cdot 10^{11}$
Sm-145	Самарий (62)	340 сут	$2{,}938 \cdot 10^{7}$	$9{,}813 \cdot 10^{13}$
Sm-147		$1{,}06 \cdot 10^{11}$ лет	$3{,}343 \cdot 10^{18}$	$8{,}506 \cdot 10^{2}$
Sm-151		90 лет	$2{,}838 \cdot 10^{9}$	$9{,}753 \cdot 10^{11}$
Sm-153		46.7 ч	$1{,}681 \cdot 10^{5}$	$1{,}625 \cdot 10^{16}$
Sn-113	Олово (50)	115,1 сут	$9{,}945 \cdot 10^{6}$	$3{,}720 \cdot 10^{14}$
Sn-117 m		13,61 сут	$1{,}176 \cdot 10^{6}$	$3{,}038 \cdot 10^{15}$
Sn-119 m		293 сут	$2{,}532 \cdot 10^{7}$	$1{,}388 \cdot 10^{14}$
Sn-121 m		55 лет	$1{,}734 \cdot 10^{9}$	$1{,}992 \cdot 10^{12}$
Sn-123		129,2 сут	$1{,}116 \cdot 10^{7}$	$3{,}044 \cdot 10^{14}$
Sn-125		9,64 сут	$8{,}329 \cdot 10^{5}$	$4{,}015 \cdot 10^{15}$
Sn-126		$1{,}010^{5}$ лет	$3{,}154 \cdot 10^{12}$	$1{,}052 \cdot 10^{9}$
Sr-82	Стронций (38)	25 сут	$2{,}160 \cdot 10^{6}$	$2{,}360 \cdot 10^{15}$
Sr-85		64,84 сут	$5{,}602 \cdot 10^{6}$	$8{,}778 \cdot 10^{14}$
Sr-85 m		69,5 мин	$4{,}170 \cdot 10^{3}$	$1{,}119 \cdot 10^{18}$
Sr-87 m		2,805 ч	$1{,}010 \cdot 10^{4}$	$4{,}758 \cdot 10^{17}$
Sr-89		50,5 сут	$4{,}363 \cdot 10^{6}$	$1{,}076 \cdot 10^{15}$
Sr-90		29,12 лет	$9{,}183 \cdot 10^{8}$	$5{,}057 \cdot 10^{12}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Sr-91		9,5 ч	$3{,}420 \cdot 10^{4}$	$1{,}343 \cdot 10^{17}$
Sr-92		2,71 ч	$9{,}756 \cdot 10^{3}$	$4{,}657 \cdot 10^{17}$
T(H-3)	Тритий (1)	12,35 лет	$3{,}895 \cdot 10^{8}$	$3{,}578 \cdot 10^{14}$
Ta-178 долго-жив.	Тантал (73)	2,2 ч	$7{,}920 \cdot 10^{3}$	$2{,}965 \cdot 10^{17}$
Ta-179		664,9 сут	$5{,}745 \cdot 10^{7}$	$4{,}065 \cdot 10^{13}$
Ta-182		115 сут	$9{,}936 \cdot 10^{6}$	$2{,}311 \cdot 10^{14}$
Tb-157	Тербий (65)	150 лет	$4{,}730 \cdot 10^{9}$	$5{,}628 \cdot 10^{11}$
Tb-158		150 лет	$4{,}730 \cdot 10^{9}$	$5{,}593 \cdot 10^{11}$
Tb-160		72,3 сут	$6{,}247 \cdot 10^{6}$	$4{,}182 \cdot 10^{14}$
Tc-95 m	Технеций (43)	61 сут	$5{,}270 \cdot 10^{6}$	$8{,}349 \cdot 10^{14}$
Tc-96		4,28 сут	$3{,}698 \cdot 10^{5}$	$1{,}177 \cdot 10^{16}$
Tc-96 m		51,5 мин	$3{,}090 \cdot 10^{3}$	$1{,}409 \cdot 10^{18}$
Tc-97		$2{,}6 \cdot 10^{6}$ лет	$8{,}199 \cdot 10^{13}$	$5{,}256 \cdot 10^{7}$
Tc-97 m		87 суток	$7{,}517 \cdot 10^{6}$	$5{,}733 \cdot 10^{14}$
Tc-98		$4{,}2 \cdot 10^{6}$ лет	$1{,}325 \cdot 10^{14}$	$3{,}220 \cdot 10^{7}$
Tc-99		$2{,}13 \cdot 10^{5}$ лет	$6{,}717 \cdot 10^{12}$	$6{,}286 \cdot 10^{8}$
Tc-99 m		6,02 ч	$2{,}167 \cdot 10^{4}$	$1{,}948 \cdot 10^{17}$
Te-121	Теллур (52)	17 сут	$1{,}469 \cdot 10^{6}$	$2{,}352 \cdot 10^{15}$
Te-121 m		154 сут	$1{,}331 \cdot 10^{7}$	$2{,}596 \cdot 10^{14}$
Te-123 m		119,7 сут	$1{,}034 \cdot 10^{7}$	$3{,}286 \cdot 10^{14}$
Te-125 m		58 сут	$5{,}011 \cdot 10^{6}$	$6{,}673 \cdot 10^{14}$
Te-127		9,35 ч	$3{,}366 \cdot 10^{4}$	$9{,}778 \cdot 10^{16}$
Te-127 m		109 сут	$9{,}418 \cdot 10^{6}$	$3{,}495 \cdot 10^{14}$
Te-129		69,6 мин	$4{,}176 \cdot 10^{3}$	$7{,}759 \cdot 10^{17}$
Te-129 m		33,6 сут	$2{,}903 \cdot 10^{6}$	$1{,}116 \cdot 10^{15}$
Te-131 m		30 ч	$1{,}080 \cdot 10^{5}$	$2{,}954 \cdot 10^{16}$
Te-132		78,2 ч	$2{,}815 \cdot 10^{5}$	$1{,}125 \cdot 10^{16}$
Th-227	Торий (90)	18,718 сут	$1{,}617 \cdot 10^{6}$	$1{,}139 \cdot 10^{15}$
Th-228		1,9131 лет	$6{,}033 \cdot 10^{7}$	$3{,}039 \cdot 10^{13}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Th-229		7340 лет	$2{,}315 \cdot 10^{11}$	$7{,}886 \cdot 10^{9}$
Th-230		7,7 ·104 лет	$2{,}428 \cdot 10^{12}$	$7{,}484 \cdot 10^{8}$
Th-231		25,52 ч	$9{,}187 \cdot 10^{4}$	$1{,}970 \cdot 10^{16}$
Th-232		$1{,}405 \cdot 10^{10}$ лет	$4{,}431 \cdot 10^{17}$	$4{,}066 \cdot 10^{3}$
Th-234		24,1 сут	$2{,}082 \cdot 10^{6}$	$8{,}579 \cdot 10^{14}$
Ti-44	Титан (22)	47.3 лет	$1{,}492 \cdot 10^{9}$	$6{,}369 \cdot 10^{12}$
Tl-200	Таллий (81)	26,1 ч	$9{,}396 \cdot 10^{4}$	$2{,}224 \cdot 10^{16}$
Tl-201		3,044 сут	$2{,}630 \cdot 10^{5}$	$7{,}907 \cdot 10^{15}$
Tl-202		12,23 сут	$1{,}057 \cdot 10^{6}$	$1{,}958 \cdot 10^{15}$
Tl-204		3,779 лет	$1{,}192 \cdot 10^{8}$	$1{,}719 \cdot 10^{13}$
Tm-167	Тулий (69)	9,24 сут	$7{,}983 \cdot 10^{5}$	$3{,}135 \cdot 10^{15}$
Tm-170		128,6 сут	$1{,}111 \cdot 10^{7}$	$2{,}213 \cdot 10^{14}$
Tm-171		1,92 лет	$6{,}055 \cdot 10^{7}$	$4{,}037 \cdot 10^{13}$
U-230	Уран (92)	20,8 сут	$1{,}797 \cdot 10^{6}$	$1{,}011 \cdot 10^{15}$
U-232		72 лет	$2{,}271 \cdot 10^{9}$	$7{,}935 \cdot 10^{11}$
U-233		$1{,}585 \cdot 10^{5}$ лет	$4{,}998 \cdot 10^{12}$	$3{,}589 \cdot 10^{8}$
U-234		$2{,}445 \cdot 10^{5}$ лет	$7{,}711 \cdot 10^{12}$	$2{,}317 \cdot 10^{8}$
U-235		$7{,}038 \cdot 10^{8}$ лет	$2{,}220 \cdot 10^{16}$	$8{,}014 \cdot 10^{4}$
U-236		$2{,}3415 \cdot 10^{7}$ лет	$7{,}384 \cdot 10^{14}$	$2{,}399 \cdot 10^{6}$
U-238		$4{,}468 \cdot 10^{9}$ лет	$1{,}409 \cdot 10^{17}$	$1{,}246 \cdot 10^{4}$
V-48	Ванадий (23)	16,238 сут	$1{,}403 \cdot 10^{6}$	$6{,}207 \cdot 10^{15}$
V-49		330 сут	$2{,}851 \cdot 10^{7}$	$2{,}992 \cdot 10^{14}$
W-178	Вольфрам (74)	21,7 сут	$1{,}875 \cdot 10^{6}$	$1{,}253 \cdot 10^{15}$
W-181		121,2 сут	$1{,}047 \cdot 10^{7}$	$2{,}205 \cdot 10^{14}$
W-185		75,1 сут	$6{,}489 \cdot 10^{6}$	$3{,}482 \cdot 10^{14}$
W-187		23,9 ч	$8{,}604 \cdot 10^{4}$	$2{,}598 \cdot 10^{16}$
W-188		69,4 сут	$5{,}996 \cdot 10^{6}$	$3{,}708 \cdot 10^{14}$
Xe-122	Ксенон (54)	20,1 ч	$7{,}236 \cdot 10^{4}$	$4{,}735 \cdot 10^{16}$
Xe-123		2,08 ч	$7{,}48810^{3}$	$4{,}538 \cdot 10^{17}$
Xe-127		36,41 сут	$3{,}146 \cdot 10^{6}$	$1{,}046 \cdot 10^{15}$

Радионуклид	Элемент и атомный номер	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
		$T_{1/2}$, лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
Xe-131 m		11,9 сут	$1{,}028 \cdot 10^{6}$	$3{,}103 \cdot 10^{15}$
Xe-133		5,245 сут	$4{,}532 \cdot 10^{5}$	$6{,}935 \cdot 10^{15}$
Xe-135		9.09 ч	$3{,}272 \cdot 10^{4}$	$9{,}462 \cdot 10^{16}$
Y-87	Иттрий (39)	80,3 ч	$2{,}891 \cdot 10^{5}$	$1{,}662 \cdot 10^{16}$
Y-88		106,64 сут	$9{,}214 \cdot 10^{6}$	$5{,}155 \cdot 10^{14}$
Y-90		64 ч	$2{,}304 \cdot 10^{5}$	$2{,}016 \cdot 10^{16}$
Y-91		58,51 сут	$5{,}055 \cdot 10^{6}$	$9{,}086 \cdot 10^{14}$
Y-91 m		49,71 мин	$2{,}983 \cdot 10^{3}$	$1{,}540 \cdot 10^{18}$
Y-92		3,54 ч	$1{,}274 \cdot 10^{4}$	$3{,}565 \cdot 10^{17}$
Y-93		10,1 ч	$3{,}636 \cdot 10^{4}$	$1{,}236 \cdot 10^{17}$
Yb-169	Иттербий (70)	32,01 сут	$2{,}766 \cdot 10^{6}$	$8{,}943 \cdot 10^{14}$
Yb-175		4,19 сут	$3{,}620 \cdot 10^{5}$	$6{,}598 \cdot 10^{15}$
Zn-65	Цинк (30)	243,9 сут	$2{,}107 \cdot 10^{7}$	$3{,}052 \cdot 10^{14}$
Zn-69		57 мин	$3{,}420 \cdot 10^{3}$	$1{,}771 \cdot 10^{18}$
Zn-69 m		13,76 ч	$4{,}954 \cdot 10^{4}$	$1{,}223 \cdot 10^{17}$
Zr-88	Цирконий (40)	83,4 сут	$7{,}206 \cdot 10^{6}$	$6{,}592 \cdot 10^{14}$
Zr-93		$1{,}53 \cdot 10^{6}$ лет	$4{,}825 \cdot 10^{13}$	$9{,}315 \cdot 10^{7}$
Zr-95		63,98 сут	$5{,}528 \cdot 10^{6}$	$7{,}960 \cdot 10^{14}$
Zr-97		16,9 ч	$6{,}084 \cdot 10^{4}$	$7{,}083 \cdot 10^{16}$

Таблица II.2

Дозовые коэффициенты и коэффициенты мощности дозы радионуклидов

Пояснительные заметки

(a) Коэффициент эффективной мощности дозы внешнего облучения фотонами рассчитан на расстоянии 1 м.

(b) Коэффициент эффективной мощности дозы внешнего бета-облучения рассчитан на расстоянии 1 м.

(c) Коэффициент эффективной дозы при ингаляции.

(d) Коэффициент дозы на кожу от загрязнения кожи.

(*) Коэффициент эффективной дозы от облака газообразных изотопов см. в Табл. I.1 приложения I.

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
Ac-225	$2{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$	$7{,}9 \cdot 10^{-06}$	$9{,}3 \cdot 10^{-02}$
Ac-227	$9{,}6 \cdot 10^{-17}$	$7{,}7 \cdot 10^{-15}$	$5{,}4 \cdot 10^{-04}$	$7{,}6 \cdot 10^{-04}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
Ac-228	$8{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}8 \cdot 10^{-12}$	$2{,}5 \cdot 10^{-08}$	$5{,}3 \cdot 10^{-02}$
Ag-105	$5{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$7{,}8 \cdot 10^{-10}$	$1{,}1 \cdot 10^{-03}$
Ag-108 m	$1{,}5 \cdot 10^{-13}$	$1{,}7 \cdot 10^{-13}$	$3{,}5 \cdot 10^{-08}$	$4{,}7 \cdot 10^{-03}$
Ag-110 m	$2{,}4 \cdot 10^{-13}$	$5{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}2 \cdot 10^{-08}$	$1{,}4 \cdot 10^{-02}$
Ag-111	$2{,}4 \cdot 10^{-15}$	$5{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}7 \cdot 10^{-09}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Al-26	$2{,}3 \cdot 10^{-13}$	$7{,}1 \cdot 10^{-12}$	$1{,}8 \cdot 10^{-08}$	$3{,}9 \cdot 10^{-02}$
Am-241	$3{,}3 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}9 \cdot 10^{-05}$	$7{,}4 \cdot 10^{-05}$
Am-242 m	$2{,}5 \cdot 10^{-15}$	$2{,}0 \cdot 10^{-14}$	$3{,}5 \cdot 10^{-05}$	$3{,}3 \cdot 10^{-02}$
Am-243	$2{,}0 \cdot 10^{-14}$	$3{,}8 \cdot 10^{-15}$	$3{,}9 \cdot 10^{-05}$	$6{,}8 \cdot 10^{-02}$
Ar-37	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Ar-39 (*)	—	$1{,}4 \cdot 10^{-14}$	—	—
Ar-41 (*)	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$3{,}2 \cdot 10^{-12}$	—	—
As-72	$1{,}6 \cdot 10^{-13}$	$3{,}6 \cdot 10^{-12}$	$9{,}2 \cdot 10^{-10}$	$4{,}2 \cdot 10^{-02}$
As-73	$1{,}1 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}3 \cdot 10^{-10}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
As-74	$7{,}1 \cdot 10^{-14}$	$5{,}9 \cdot 10^{-13}$	$2{,}1 \cdot 10^{-09}$	$2{,}9 \cdot 10^{-02}$
As-76	$4{,}0 \cdot 10^{-14}$	$4{,}0 \cdot 10^{-12}$	$7{,}4 \cdot 10^{-10}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
As-77	$7{,}7 \cdot 10^{-16}$	$5{,}6 \cdot 10^{-14}$	$3{,}8 \cdot 10^{-10}$	$4{,}2 \cdot 10^{-02}$
At-211	$4{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}8 \cdot 10^{-08}$	$6{,}3 \cdot 10^{-05}$
Au-193	$1{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$	$1{,}5 \cdot 10^{-02}$
Au-194	$9{,}1 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}5 \cdot 10^{-10}$	$4{,}6 \cdot 10^{-03}$
Au-195	$7{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}6 \cdot 10^{-09}$	$5{,}0 \cdot 10^{-03}$
Au-198	$3{,}8 \cdot 10^{-14}$	$9{,}1 \cdot 10^{-13}$	$8{,}4 \cdot 10^{-10}$	$4{,}6 \cdot 10^{-02}$
Au-199	$7{,}1 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$7{,}5 \cdot 10^{-10}$	$4{,}4 \cdot 10^{-02}$
Ba-131	$6{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}6 \cdot 10^{-10}$	$1{,}3 \cdot 10^{-02}$
Ba-133	$3{,}8 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}5 \cdot 10^{-09}$	$2{,}7 \cdot 10^{-03}$
Ba-133 m	$6{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}9 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Ba-140	$1{,}6 \cdot 10^{-13}$	$2{,}2 \cdot 10^{-12}$	$2{,}1 \cdot 10^{-09}$	$9{,}0 \cdot 10^{-02}$
Be-7	$4{,}8 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}2 \cdot 10^{-11}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Be-10	—	$1{,}7 \cdot 10^{-14}$	$3{,}2 \cdot 10^{-08}$	$14{,}8 \cdot 10^{-02}$
Bi-205	$1{,}4 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}2 \cdot 10^{-10}$	$2{,}5 \cdot 10^{-03}$
Bi-206	$2{,}9 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}7 \cdot 10^{-09}$	$2{,}4 \cdot 10^{-02}$
Bi-207	$1{,}4 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}2 \cdot 10^{-09}$	$5{,}5 \cdot 10^{-03}$
Bi-210	—	$7{,}7 \cdot 10^{-13}$	$8{,}4 \cdot 10^{-08}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	e_{inh} (c), Зв Бк$^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв м^{2} ТБк$^{-1}$ с$^{-1}$
Bi-210 m	$2{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}6\cdot10^{-12}$	$3{,}1\cdot10^{-06}$	$5{,}7\cdot10^{-02}$
Bi-212	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$1{,}5\cdot10^{-12}$	$3{,}0\cdot10^{-08}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
Bk-247	$9{,}1\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}5\cdot10^{-05}$	$2{,}0\cdot10^{-02}$
Bk-249	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}5\cdot10^{-07}$	$2{,}3\cdot10^{-03}$
Br-76	$2{,}3\cdot10^{-13}$	$1{,}6\cdot10^{-12}$	$4{,}2\cdot10^{-10}$	$2{,}8\cdot10^{-02}$
Br-77	$2{,}9\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}7\cdot10^{-11}$	$1{,}2\cdot10^{-03}$
Br-82	$2{,}4\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}4\cdot10^{-10}$	$3{,}6\cdot10^{-02}$
C-11	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$5{,}0\cdot10^{-13}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
C-14	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}8\cdot10^{-10}$	$8{,}8\cdot10^{-03}$
Ca-41	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Ca-45	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}7\cdot10^{-09}$	$2{,}3\cdot10^{-02}$
Ca-47	$3{,}7\cdot10^{-14}$	$2{,}7\cdot10^{-14}$	$2{,}5\cdot10^{-09}$	$8{,}4\cdot10^{-02}$
Cd-109	$3{,}4\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}1\cdot10^{-09}$	$1{,}4\cdot10^{-02}$
Cd-113 m	—	$1{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}1\cdot10^{-07}$	$4{,}0\cdot10^{-02}$
Cd-115	$2{,}6\cdot10^{-14}$	$3{,}0\cdot10^{-13}$	$1{,}1\cdot10^{-09}$	$7{,}1\cdot10^{-02}$
Cd-115 m	$2{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}9\cdot10^{-12}$	$7{,}3\cdot10^{-09}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Ce-139	$1{,}5\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}8\cdot10^{-09}$	$1{,}3\cdot10^{-02}$
Ce-141	$6{,}3\cdot10^{-15}$	$3{,}1\cdot10^{-15}$	$3{,}6\cdot10^{-09}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
Ce-143	$2{,}7\cdot10^{-14}$	$1{,}1\cdot10^{-12}$	$8{,}1\cdot10^{-10}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Ce-144	$4{,}5\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-12}$	$4{,}9\cdot10^{-08}$	$7{,}3\cdot10^{-02}$
Cf-248	$1{,}5\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}2\cdot10^{-06}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Cf-249	$3{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}6\cdot10^{-05}$	$6{,}1\cdot10^{-03}$
Cf-250	$1{,}5\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}2\cdot10^{-05}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Cf-251	$1{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}7\cdot10^{-05}$	$5{,}4\cdot10^{-02}$
Cf-252	$2{,}1\cdot10^{-12}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}8\cdot10^{-05}$	$5{,}4\cdot10^{-05}$
Cf-253	$8{,}1\cdot10^{-18}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}2\cdot10^{-06}$	$2{,}3\cdot10^{-02}$
Cf-254	$7{,}1\cdot10^{-11}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}7\cdot10^{-05}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Cl-36	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$6{,}9\cdot10^{-09}$	$4{,}4\cdot10^{-02}$
Cl-38	$1{,}2\cdot10^{-13}$	$4{,}5\cdot10^{-12}$	$4{,}7\cdot10^{-11}$	$5{,}0\cdot10^{-02}$
Cm-240	$2{,}2\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}9\cdot10^{-06}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Cm-241	$4{,}5\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}8\cdot10^{-08}$	$1{,}9\cdot10^{-02}$
Cm-242	$2{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}8\cdot10^{-06}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Cm-243	$1{,}2\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}8\cdot10^{-05}$	$3{,}4\cdot10^{-02}$
Cm-244	$1{,}9\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}1\cdot10^{-05}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ ТБк$^{-1}$ $с^{-1}$
Cm-245	$7{,}9 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}5 \cdot 10^{-05}$	$1{,}0 \cdot 10^{-02}$
Cm-246	$1{,}7 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}5 \cdot 10^{-05}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Cm-247	$3{,}1 \cdot 10^{-14}$	$6{,}3 \cdot 10^{-15}$	$5{,}1 \cdot 10^{-05}$	—
Cm-248	$5{,}6 \cdot 10^{-12}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}0 \cdot 10^{-04}$	—
Co-55	$1{,}9 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	$5{,}5 \cdot 10^{-10}$	$3{,}6 \cdot 10^{-02}$
Co-56	$3{,}0 \cdot 10^{-13}$	$6{,}7 \cdot 10^{-14}$	$6{,}3 \cdot 10^{-09}$	$9{,}5 \cdot 10^{-03}$
Co-57	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}4 \cdot 10^{-10}$	$2{,}1 \cdot 10^{-03}$
Co-58	$9{,}1 \cdot 10^{-14}$	$1{,}3 \cdot 10^{-15}$	$2{,}0 \cdot 10^{-09}$	$7{,}4 \cdot 10^{-03}$
Co-58 m	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Co-60	$2{,}2 \cdot 10^{-13}$	$1{,}4 \cdot 10^{-15}$	$2{,}9 \cdot 10^{-08}$	$2{,}9 \cdot 10^{-02}$
Cr-51	$2{,}9 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Cs-129	$2{,}8 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$7{,}4 \cdot 10^{-04}$
Cs-131	$3{,}2 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Cs-132	$6{,}7 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}4 \cdot 10^{-10}$	$1{,}1 \cdot 10^{-03}$
Cs-134	$1{,}4 \cdot 10^{-13}$	$2{,}8 \cdot 10^{-13}$	$6{,}8 \cdot 10^{-09}$	$3{,}0 \cdot 10^{-02}$
Cs-134 m	$2{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$4{,}4 \cdot 10^{-02}$
Cs-135	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	$1{,}9 \cdot 10^{-02}$
Cs-136	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}2 \cdot 10^{-15}$	$1{,}3 \cdot 10^{-09}$	$4{,}0 \cdot 10^{-02}$
Cs-137	$5{,}6 \cdot 10^{-14}$	$1{,}2 \cdot 10^{-13}$	$4{,}8 \cdot 10^{-09}$	$4{,}4 \cdot 10^{-02}$
Cu-64	$1{,}8 \cdot 10^{-14}$	$9{,}1 \cdot 10^{-15}$	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$	$2{,}4 \cdot 10^{-02}$
Cu-67	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$2{,}4 \cdot 10^{-15}$	$5{,}8 \cdot 10^{-10}$	$4{,}0 \cdot 10^{-02}$
Dy-159	$5{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}5 \cdot 10^{-10}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Dy-165	$2{,}4 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-12}$	$6{,}1 \cdot 10^{-11}$	$4{,}6 \cdot 10^{-02}$
Dy-166	$2{,}9 \cdot 10^{-15}$	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$	$2{,}5 \cdot 10^{-09}$	$8{,}1 \cdot 10^{-02}$
Er-169	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}8 \cdot 10^{-10}$	$2{,}9 \cdot 10^{-02}$
Er-171	$3{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$	$2{,}2 \cdot 10^{-10}$	$5{,}5 \cdot 10^{-02}$
Eu-147	$4{,}5 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-09}$	$7{,}4 \cdot 10^{-03}$
Eu-148	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}7 \cdot 10^{-09}$	$1{,}4 \cdot 10^{-03}$
Eu-149	$6{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}7 \cdot 10^{-10}$	$3{,}8 \cdot 10^{-04}$
Eu-150 долгожив.	$1{,}4 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-08}$	$3{,}9 \cdot 10^{-03}$
Eu-150 короткожив.	$4{,}3 \cdot 10^{-15}$	$6{,}7 \cdot 10^{-13}$	$1{,}9 \cdot 10^{-10}$	$4{,}0 \cdot 10^{-02}$
Eu-152	$1{,}0 \cdot 10^{-13}$	$5{,}9 \cdot 10^{-15}$	$3{,}9 \cdot 10^{-08}$	$2{,}1 \cdot 10^{-02}$
Eu-152 m	$2{,}7 \cdot 10^{-14}$	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$	$2{,}2 \cdot 10^{-10}$	$3{,}6 \cdot 10^{-02}$
Eu-154	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$6{,}3 \cdot 10^{-13}$	$5{,}0 \cdot 10^{-08}$	$5{,}0 \cdot 10^{-02}$
Eu-155	$5{,}3 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$6{,}5 \cdot 10^{-09}$	$8{,}7 \cdot 10^{-03}$
Eu-156	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	$3{,}3 \cdot 10^{-09}$	$4{,}2 \cdot 10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	e_{inh} (c), Зв Бк$^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв м^{2} ТБк$^{-1}$ с$^{-1}$
F-18	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$3{,}6\cdot10^{-14}$	$6{,}0\cdot10^{-11}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
Fe-52	$2{,}4\cdot10^{-13}$	$3{,}1\cdot10^{-12}$	$6{,}3\cdot10^{-10}$	$7{,}4\cdot10^{-02}$
Fe-55	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}7\cdot10^{-10}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Fe-59	$1{,}1\cdot10^{-13}$	$2{,}3\cdot10^{-14}$	$3{,}5\cdot10^{-09}$	$3{,}1\cdot10^{-02}$
Fe-60	$5{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}4\cdot10^{-07}$	$7{,}6\cdot10^{-03}$
Ga-67	$1{,}4\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}3\cdot10^{-10}$	$8{,}6\cdot10^{-03}$
Ga-68	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$2{,}2\cdot10^{-12}$	$5{,}1\cdot10^{-11}$	$4{,}2\cdot10^{-02}$
Ga-72	$2{,}3\cdot10^{-13}$	$2{,}7\cdot10^{-12}$	$5{,}5\cdot10^{-10}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Gd-146	$1{,}9\cdot10^{-13}$	$3{,}4\cdot10^{-15}$	$6{,}8\cdot10^{-09}$	$2{,}7\cdot10^{-02}$
Gd-148	—	—	$2{,}5\cdot10^{-05}$	—
Gd-153	$1{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}1\cdot10^{-09}$	$3{,}1\cdot10^{-03}$
Gd-159	$4{,}8\cdot10^{-15}$	$3{,}2\cdot10^{-13}$	$2{,}7\cdot10^{-10}$	$4{,}4\cdot10^{-02}$
Ge-68	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$2{,}2\cdot10^{-12}$	$1{,}3\cdot10^{-08}$	$4{,}2\cdot10^{-02}$
Ge-71	$1{,}9\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Ge-77	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$3{,}0\cdot10^{-12}$	$3{,}6\cdot10^{-10}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Hf-172	$1{,}7\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}2\cdot10^{-08}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$
Hf-175	$3{,}4\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}1\cdot10^{-09}$	$5{,}9\cdot10^{-03}$
Hf-181	$5{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}7\cdot10^{-09}$	$5{,}6\cdot10^{-02}$
Hf-182	$2{,}2\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Hg-194	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-08}$	$4{,}6\cdot10^{-03}$
Hg-195 m	$3{,}2\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$9{,}4\cdot10^{-09}$	$3{,}8\cdot10^{-02}$
Hg-197	$6{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}4\cdot10^{-09}$	$1{,}8\cdot10^{-03}$
Hg-197 m	$7{,}7\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}2\cdot10^{-09}$	$7{,}9\cdot10^{-02}$
Hg-203	$2{,}2\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}5\cdot10^{-09}$	$2{,}5\cdot10^{-02}$
Ho-166	$2{,}6\cdot10^{-15}$	$2{,}3\cdot10^{-12}$	$6{,}6\cdot10^{-10}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
Ho-166 m	$1{,}6\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}1\cdot10^{-07}$	$2{,}2\cdot10^{-02}$
I-123	$1{,}6\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}1\cdot10^{-10}$	$9{,}5\cdot10^{-03}$
I-124	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}7\cdot10^{-13}$	$1{,}2\cdot10^{-08}$	$1{,}1\cdot10^{-02}$
I-125	$6{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}4\cdot10^{-08}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
I-126	$4{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}6\cdot10^{-13}$	$2{,}9\cdot10^{-08}$	$2{,}1\cdot10^{-02}$
I-129	$3{,}4\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
I-131	$3{,}6\cdot10^{-14}$	$5{,}0\cdot10^{-14}$	$2{,}0\cdot10^{-08}$	$4{,}0\cdot10^{-02}$
I-132	$2{,}1\cdot10^{-13}$	$2{,}3\cdot10^{-12}$	$2{,}8\cdot10^{-10}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
I-133	$5{,}6\cdot10^{-14}$	$1{,}4\cdot10^{-12}$	$4{,}5\cdot10^{-09}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
I-134	$2{,}4\cdot10^{-13}$	$3{,}1\cdot10^{-12}$	$7{,}2\cdot10^{-11}$	$4{,}7\cdot10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
I-135	$1{,}2 \cdot 10^{-13}$	$1{,}6 \cdot 10^{-12}$	$9{,}6 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
In-111	$3{,}6 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}3 \cdot 10^{-10}$	$9{,}3 \cdot 10^{-03}$
In-113 m	$2{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$1{,}7 \cdot 10^{-02}$
In-114 m	$9{,}1 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$9{,}3 \cdot 10^{-09}$	$5{,}8 \cdot 10^{-02}$
In-115m	$1{,}5 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$6{,}0 \cdot 10^{-11}$	$2{,}7 \cdot 10^{-02}$
Ir-189	$7{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}5 \cdot 10^{-10}$	$1{,}6 \cdot 10^{-03}$
Ir-190	$1{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}3 \cdot 10^{-09}$	$3{,}7 \cdot 10^{-02}$
Ir-192	$7{,}7 \cdot 10^{-14}$	$2{,}2 \cdot 10^{-14}$	$6{,}2 \cdot 10^{-09}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Ir-194	$8{,}3 \cdot 10^{-15}$	$3{,}0 \cdot 10^{-12}$	$5{,}6 \cdot 10^{-10}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
K-40	$1{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}1 \cdot 10^{-12}$	—	—
K-42	$2{,}4 \cdot 10^{-14}$	$4{,}5 \cdot 10^{-12}$	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$	$4{,}9 \cdot 10^{-02}$
K-43	$9{,}1 \cdot 10^{-14}$	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	$1{,}5 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Kr-81 (*)	$9{,}1 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Kr-85 (*)	$2{,}1 \cdot 10^{-16}$	$7{,}1 \cdot 10^{-14}$	—	—
Kr-85 m (*)	$1{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}3 \cdot 10^{-13}$	—	—
Kr-87 (*)	$6{,}7 \cdot 10^{-14}$	$4{,}8 \cdot 10^{-12}$	—	—
La- 137	$3{,}3 \cdot 10^{-15}$	$1{,}010^{-15}$	$8{,}6 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
La- 140	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$2{,}7 \cdot 10^{-12}$	$1{,}1 \cdot 10^{-09}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
Lu-172	$1{,}7 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}5 \cdot 10^{-09}$	$1{,}3 \cdot 10^{-02}$
Lu-173	$1{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}3 \cdot 10^{-09}$	$1{,}6 \cdot 10^{-03}$
Lu-174	$1{,}2 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$4{,}0 \cdot 10^{-09}$	$9{,}6 \cdot 10^{-04}$
Lu-174 m	$6{,}3 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}8 \cdot 10^{-09}$	$7{,}5 \cdot 10^{-04}$
Lu-177	$3{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-09}$	$3{,}8 \cdot 10^{-02}$
Mg-28	$2{,}7 \cdot 10^{-13}$	$4{,}0 \cdot 10^{-12}$	$1{,}9 \cdot 10^{-09}$	$8{,}7 \cdot 10^{-02}$
Mn-52	$3{,}1 \cdot 10^{-13}$	$1{,}4 \cdot 10^{-15}$	$1{,}4 \cdot 10^{-09}$	$1{,}5 \cdot 10^{-02}$
Mn-53	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Mn-54	$7{,}7 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}5 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Mn-56	$1{,}5 \cdot 10^{-13}$	$3{,}3 \cdot 10^{-12}$	$1{,}3 \cdot 10^{-10}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
Mo-93	$1{,}2 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}2 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Mo-99	$1{,}6 \cdot 10^{-14}$	$8{,}0 \cdot 10^{-13}$	$9{,}7 \cdot 10^{-10}$	$5{,}1 \cdot 10^{-02}$
N-13	$1{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}1 \cdot 10^{-12}$	—	$4{,}8 \cdot 10^{-02}$
Na-22	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$2{,}6 \cdot 10^{-13}$	$1{,}3 \cdot 10^{-09}$	$4{,}2 \cdot 10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	e_{inh} (c), Зв Бк$^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв м^{2} ТБк$^{-1}$ с$^{-1}$
Na-24	$3{,}3\cdot10^{-13}$	$5{,}0\cdot10^{-12}$	$2{,}9\cdot10^{-10}$	$4{,}7\cdot10^{-02}$
Nb-93 m	$2{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}6\cdot10^{-09}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Nb-94	$1{,}5\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}5\cdot10^{-08}$	$4{,}0\cdot10^{-02}$
Nb-95	$7{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}6\cdot10^{-09}$	$7{,}0\cdot10^{-03}$
Nb-97	$6{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}1\cdot10^{-12}$	$4{,}7\cdot10^{-11}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Nd-147	$1{,}4\cdot10^{-14}$	$1{,}8\cdot10^{-13}$	$2{,}3\cdot10^{-09}$	$4{,}3\cdot10^{-02}$
Nd-149	$3{,}4\cdot10^{-14}$	$1{,}6\cdot10^{-12}$	$9{,}0\cdot10^{-11}$	$5{,}4\cdot10^{-02}$
Ni-59	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Ni-63	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}7\cdot10^{-09}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Ni-65	$4{,}8\cdot10^{-14}$	$2{,}3\cdot10^{-12}$	$8{,}7\cdot10^{-11}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Np-235	$7{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-10}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Np-236 долгожив.	$1{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}0\cdot10^{-06}$	$5{,}6\cdot10^{-02}$
Np-236 короткожив.	$4{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}0\cdot10^{-09}$	$1{,}9\cdot10^{-02}$
Np-237	$3{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}1\cdot10^{-05}$	—
Np-239	$1{,}5\cdot10^{-14}$	$3{,}8\cdot10^{-15}$	$9{,}0\cdot10^{-10}$	$6{,}7\cdot10^{-02}$
Os-185	$6{,}7\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}5\cdot10^{-09}$	$1{,}2\cdot10^{-03}$
Os-191	$6{,}7\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}8\cdot10^{-09}$	$1{,}2\cdot10^{-02}$
Os-191 m	$7{,}7\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}5\cdot10^{-10}$	$1{,}0\cdot10^{-03}$
Os-193	$6{,}7\cdot10^{-15}$	$6{,}3\cdot10^{-13}$	$5{,}1\cdot10^{-10}$	$4{,}7\cdot10^{-02}$
Os-194	$8{,}3\cdot10^{-15}$	$3{,}2\cdot10^{-12}$	$7{,}9\cdot10^{-08}$	$4{,}7\cdot10^{-02}$
P-32	—	$2{,}2\cdot10^{-12}$	$3{,}2\cdot10^{-09}$	$4{,}7\cdot10^{-02}$
P-33	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}4\cdot10^{-09}$	$2{,}3\cdot10^{-02}$
Pa-230	$6{,}0\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}6\cdot10^{-07}$	$1{,}3\cdot10^{-02}$
Pa-231	$1{,}1\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}3\cdot10^{-04}$	$1{,}5\cdot10^{-03}$
Pa-233	$1{,}9\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}7\cdot10^{-09}$	$4{,}2\cdot10^{-02}$
Pb-201	$6{,}7\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$6{,}5\cdot10^{-11}$	$8{,}4\cdot10^{-03}$
Pb-202	$1{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	$1{,}7\cdot10^{-03}$
Pb-203	$2{,}8\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$9{,}1\cdot10^{-11}$	$1{,}1\cdot10^{-02}$
Pb-205	$1{,}2\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Pb-210	$4{,}2\cdot10^{-16}$	$7{,}7\cdot10^{-13}$	$9{,}8\cdot10^{-07}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Pb-212	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$1{,}4\cdot10^{-12}$	$2{,}3\cdot10^{-07}$	$1{,}0\cdot10^{-01}$
Pd-103	$2{,}1\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-10}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Pd-107	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Pd-109	$1{,}4\cdot10^{-15}$	$5{,}3\cdot10^{-13}$	$3{,}6\cdot10^{-10}$	$5{,}9\cdot10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	e_{inh} (c), Зв Бк$^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв м^{2} ТБк$^{-1}$ с$^{-1}$
Pm-143	$3{,}0\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}4\cdot10^{-09}$	$7{,}7\cdot10^{-05}$
Pm-144	$1{,}5\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}8\cdot10^{-09}$	$8{,}2\cdot10^{-04}$
Pm-145	$3{,}8\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}4\cdot10^{-09}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Pm-147	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}7\cdot10^{-09}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$
Pm-148 m	$1{,}2\cdot10^{-13}$	$1{,}3\cdot10^{-13}$	$5{,}4\cdot10^{-09}$	$3{,}9\cdot10^{-02}$
Pm-149	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}9\cdot10^{-13}$	$7{,}2\cdot10^{-10}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Pm-151	$3{,}0\cdot10^{-14}$	$5{,}6\cdot10^{-13}$	$4{,}5\cdot10^{-10}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Po-210	$7{,}9\cdot10^{-19}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}0\cdot10^{-06}$	$2{,}810^{-05}$
Pr-142	$5{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}8\cdot10^{-12}$	$5{,}6\cdot10^{-10}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Pr-143	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$3{,}3\cdot10^{-13}$	$2{,}3\cdot10^{-09}$	$4{,}4\cdot10^{-02}$
Pt-188	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}8\cdot10^{-10}$	$3{,}6\cdot10^{-02}$
Pt-191	$2{,}8\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}1\cdot10^{-10}$	$7{,}9\cdot10^{-03}$
Pt-193	$1{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Pt-193 m	$1{,}1\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}3\cdot10^{-10}$	$5{,}1\cdot10^{-02}$
Pt-195 m	$6{,}7\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}9\cdot10^{-10}$	$5{,}7\cdot10^{-02}$
Pt-197	$2{,}1\cdot10^{-15}$	$4{,}2\cdot10^{-14}$	$9{,}1\cdot10^{-11}$	$4{,}4\cdot10^{-02}$
Pt-197 m	$7{,}7\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$4{,}8\cdot10^{-02}$
Pu-236	$2{,}2\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}8\cdot10^{-05}$	$4{,}3\cdot10^{-05}$
Pu-237	$4{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}6\cdot10^{-10}$	$2{,}3\cdot10^{-04}$
Pu-238	$1{,}9\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}3\cdot10^{-05}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Pu-239	$7{,}5\cdot10^{-17}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}7\cdot10^{-05}$	—
Pu-240	$1{,}8\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}7\cdot10^{-05}$	—
Pu-241	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}5\cdot10^{-07}$	$2{,}8\cdot10^{-05}$
Pu-242	$1{,}5\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}4\cdot10^{-05}$	—
Pu-244	$3{,}2\cdot10^{-14}$	$2{,}6\cdot10^{-12}$	$4{,}4\cdot10^{-05}$	—
Ra-223	$2{,}6\cdot10^{-14}$	$2{,}5\cdot10^{-12}$	$6{,}9\cdot10^{-06}$	$1{,}1\cdot10^{-01}$
Ra-224	$9{,}1\cdot10^{-14}$	$2{,}3\cdot10^{-12}$	$3{,}1\cdot10^{-06}$	$1{,}0\cdot10^{-01}$
Ra-225	$8{,}3\cdot10^{-15}$	$4{,}5\cdot10^{-12}$	$1{,}4\cdot10^{-05}$	$1{,}2\cdot10^{-01}$
Ra-226	$1{,}5\cdot10^{-13}$	$4{,}0\cdot10^{-12}$	$1{,}9\cdot10^{-05}$	$1{,}0\cdot10^{-01}$
Ra-228	$8{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}8\cdot10^{-12}$	$2{,}6\cdot10^{-06}$	$5{,}3\cdot10^{-02}$
Rb-81	$5{,}9\cdot10^{-14}$	$6{,}7\cdot10^{-14}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$3{,}4\cdot10^{-02}$
Rb-83	$4{,}8\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}1\cdot10^{-10}$	$6{,}4\cdot10^{-05}$
Rb-84	$8{,}3\cdot10^{-14}$	$2{,}5\cdot10^{-14}$	$1{,}1\cdot10^{-09}$	$1{,}2\cdot10^{-02}$
Rb-86	$8{,}3\cdot10^{-15}$	$2{,}1\cdot10^{-12}$	$9{,}6\cdot10^{-10}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Rb-87	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Rb (природный)	—	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
Re-184	$8{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}8 \cdot 10^{-09}$	$1{,}6 \cdot 10^{-02}$
Re-184 m	$3{,}6 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$6{,}1 \cdot 10^{-09}$	$2{,}2 \cdot 10^{-02}$
Re-186	$1{,}7 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}1 \cdot 10^{-09}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
Re-187	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Re-188	$5{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}9 \cdot 10^{-12}$	$5{,}5 \cdot 10^{-10}$	$5{,}2 \cdot 10^{-02}$
Re-189	$3{,}1 \cdot 10^{-15}$	$4{,}0 \cdot 10^{-13}$	$4{,}3 \cdot 10^{-10}$	$4{,}9 \cdot 10^{-02}$
Re (природный)	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Rh-99	$5{,}6 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$8{,}3 \cdot 10^{-10}$	$3{,}7 \cdot 10^{-03}$
Rh-101	$2{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-09}$	$1{,}1 \cdot 10^{-02}$
Rh-102	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}6 \cdot 10^{-08}$	$5{,}1 \cdot 10^{-04}$
Rh-102 m	$4{,}5 \cdot 10^{-14}$	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$6{,}7 \cdot 10^{-09}$	$1{,}5 \cdot 10^{-02}$
Rh-103 m	$2{,}2 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Rh-105	$7{,}1 \cdot 10^{-15}$	$5{,}6 \cdot 10^{-15}$	$3{,}4 \cdot 10^{-10}$	$3{,}5 \cdot 10^{-02}$
Rn-222	$1{,}5 \cdot 10^{-13}$	$3{,}8 \cdot 10^{-12}$	—	—
Ru-97	$2{,}1 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-10}$	$2{,}1 \cdot 10^{-03}$
Ru-103	$4{,}5 \cdot 10^{-14}$	$5{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}8 \cdot 10^{-09}$	$1{,}8 \cdot 10^{-02}$
Ru-105	$7{,}1 \cdot 10^{-14}$	$8{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}8 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Ru-106	$1{,}9 \cdot 10^{-14}$	$4{,}5 \cdot 10^{-12}$	$6{,}2 \cdot 10^{-08}$	$4{,}9 \cdot 10^{-02}$
S-35	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}3 \cdot 10^{-09}$	$9{,}4 \cdot 10^{-03}$
Sb-122	$4{,}2 \cdot 10^{-14}$	$2{,}3 \cdot 10^{-12}$	$1{,}0 \cdot 10^{-09}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Sb-124	$1{,}6 \cdot 10^{-13}$	$1{,}4 \cdot 10^{-12}$	$6{,}1 \cdot 10^{-09}$	$4{,}0 \cdot 10^{-02}$
Sb-125	$4{,}2 \cdot 10^{-14}$	$4{,}0 \cdot 10^{-15}$	$4{,}5 \cdot 10^{-09}$	$2{,}1 \cdot 10^{-02}$
Sb-126	$2{,}6 \cdot 10^{-13}$	$7{,}7 \cdot 10^{-13}$	$2{,}7 \cdot 10^{-09}$	$3{,}9 \cdot 10^{-02}$
Sc-44	$2{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}6 \cdot 10^{-12}$	$1{,}9 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Sc-46	$1{,}9 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$6{,}4 \cdot 10^{-09}$	$3{,}3 \cdot 10^{-02}$
Sc-47	$9{,}1 \cdot 10^{-15}$	$5{,}9 \cdot 10^{-15}$	$7{,}0 \cdot 10^{-10}$	$3{,}9 \cdot 10^{-02}$
Sc-48	$3{,}0 \cdot 10^{-13}$	$1{,}1 \cdot 10^{-12}$	$1{,}1 \cdot 10^{-09}$	$4{,}3 \cdot 10^{-02}$
Se-75	$3{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}4 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-03}$
Se-79	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}9 \cdot 10^{-09}$	$1{,}2 \cdot 10^{-02}$
Si-31	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}7 \cdot 10^{-12}$	$8{,}0 \cdot 10^{-11}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
Si-32	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-07}$	$1{,}7 \cdot 10^{-02}$
Sm-145	$7{,}7 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}5 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Sm-147				

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
Sm-151	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}7 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Sm-153	$5{,}9 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$6{,}1 \cdot 10^{-10}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Sn-113	$2{,}7 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}5 \cdot 10^{-09}$	$1{,}7 \cdot 10^{-02}$
Sn-117 m	$1{,}4 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}3 \cdot 10^{-09}$	$7{,}0 \cdot 10^{-02}$
Sn-119 m	$1{,}6 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$2{,}0 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Sn-121 m	$7{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$4{,}2 \cdot 10^{-09}$	$3{,}3 \cdot 10^{-02}$
Sn-123	$6{,}3 \cdot 10^{-16}$	$1{,}3 \cdot 10^{-12}$	$7{,}7 \cdot 10^{-09}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Sn-125	$2{,}8 \cdot 10^{-14}$	$2{,}7 \cdot 10^{-12}$	$3{,}0 \cdot 10^{-09}$	$4{,}5 \cdot 10^{-02}$
Sn-126	$1{,}5 \cdot 10^{-13}$	$1{,}7 \cdot 10^{-12}$	$2{,}7 \cdot 10^{-08}$	$7{,}7 \cdot 10^{-02}$
Sr-82	$1{,}0 \cdot 10^{-13}$	$4{,}2 \cdot 10^{-12}$	$1{,}0 \cdot 10^{-08}$	$4{,}7 \cdot 10^{-02}$
Sr-85	$4{,}8 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$7{,}7 \cdot 10^{-10}$	$3{,}3 \cdot 10^{-04}$
Sr-85 m	$1{,}9 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$1{,}5 \cdot 10^{-03}$
Sr-87 m	$3{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$8{,}5 \cdot 10^{-03}$
Sr-89	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$1{,}6 \cdot 10^{-12}$	$7{,}5 \cdot 10^{-09}$	$4{,}6 \cdot 10^{-02}$
Sr-90	$1{,}0 \cdot 10^{-16}$	$3{,}1 \cdot 10^{-12}$	$1{,}5 \cdot 10^{-07}$	$8{,}8 \cdot 10^{-02}$
Sr-91	$6{,}6 \cdot 10^{-14}$	$3{,}3 \cdot 10^{-12}$	$4{,}1 \cdot 10^{-10}$	$4{,}6 \cdot 10^{-02}$
Sr-92	$1{,}2 \cdot 10^{-14}$	$9{,}1 \cdot 10^{-13}$	$4{,}2 \cdot 10^{-10}$	$8{,}9 \cdot 10^{-02}$
T (H-3)	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	—
Ta-178 (2,2 ч.)	$9{,}1 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$6{,}9 \cdot 10^{-11}$	$3{,}4 \cdot 10^{-02}$
Ta-179	$3{,}2 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}2 \cdot 10^{-10}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Ta-182	$1{,}1 \cdot 10^{-13}$	$7{,}7 \cdot 10^{-14}$	$9{,}7 \cdot 10^{-09}$	$5{,}2 \cdot 10^{-02}$
Tb-157	$3{,}2 \cdot 10^{-16}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}1 \cdot 10^{-09}$	$2{,}8 \cdot 10^{-05}$
Tb-158	$7{,}1 \cdot 10^{-14}$	$6{,}3 \cdot 10^{-15}$	$4{,}3 \cdot 10^{-08}$	$1{,}5 \cdot 10^{-02}$
Tb-160	$1{,}0 \cdot 10^{-13}$	$4{,}3 \cdot 10^{-13}$	$6{,}6 \cdot 10^{-09}$	$4{,}8 \cdot 10^{-02}$
Tc-95 m	$6{,}7 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$8{,}7 \cdot 10^{-10}$	$2{,}3 \cdot 10^{-03}$
Tc-96	$2{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$7{,}1 \cdot 10^{-10}$	$2{,}0 \cdot 10^{-04}$
Tc-96 m	$2{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$7{,}0 \cdot 10^{-10}$	$2{,}0 \cdot 10^{-04}$
Tc-97	$1{,}3 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Tc-97 m	$1{,}2 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}1 \cdot 10^{-09}$	$1{,}9 \cdot 10^{-02}$
Tc-98	$1{,}3 \cdot 10^{-13}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	$4{,}1 \cdot 10^{-02}$
Tc-99	—	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	—	$3{,}1 \cdot 10^{-02}$
Tc-99 m	$1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$5{,}0 \cdot 10^{-11}$	$6{,}5 \cdot 10^{-03}$
Te-121	$5{,}6 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}9 \cdot 10^{-10}$	$2{,}8 \cdot 10^{-04}$
Te-121m	$2{,}0 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$4{,}2 \cdot 10^{-09}$	$1{,}1 \cdot 10^{-02}$
Te-123 m	$1{,}3 \cdot 10^{-14}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}9 \cdot 10^{-09}$	$2{,}4 \cdot 10^{-02}$
Te-125 m	$5{,}0 \cdot 10^{-15}$	$1{,}0 \cdot 10^{-15}$	$3{,}3 \cdot 10^{-09}$	$3{,}1 \cdot 10^{-02}$

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв Бк$^{-1}$ ч$^{-1}$	e_{inh} (c), Зв Бк$^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв м^{2} ТБк$^{-1}$ с$^{-1}$
Te-127	$4{,}5\cdot10^{-16}$	$5{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}2\cdot10^{-10}$	$4{,}2\cdot10^{-02}$
Te-127 m	$2{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}3\cdot10^{-14}$	$7{,}2\cdot10^{-09}$	$5{,}6\cdot10^{-02}$
Te-129	$5{,}9\cdot10^{-15}$	$1{,}5\cdot10^{-12}$	$5{,}0\cdot10^{-11}$	$4{,}6\cdot10^{-02}$
Te-129 m	$7{,}7\cdot10^{-15}$	$1{,}2\cdot10^{-12}$	$6{,}3\cdot10^{-09}$	$6{,}3\cdot10^{-02}$
Te-131 m	$1{,}3\cdot10^{-13}$	$8{,}3\cdot10^{-13}$	$1{,}1\cdot10^{-09}$	$5{,}7\cdot10^{-02}$
Te-132	$2{,}0\cdot10^{-13}$	$2{,}0\cdot10^{-12}$	$2{,}2\cdot10^{-09}$	$6{,}6\cdot10^{-02}$
Th-227	$9{,}1\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$9{,}6\cdot10^{-06}$	$5{,}9\cdot10^{-03}$
Th-228	$1{,}3\cdot10^{-13}$	$1{,}9\cdot10^{-12}$	$3{,}9\cdot10^{-05}$	$1{,}0\cdot10^{-01}$
Th-229	$8{,}1\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$9{,}9\cdot10^{-05}$	$1{,}6\cdot10^{-02}$
Th-230	$1{,}4\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-05}$	—
Th-231	$2{,}6\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}1\cdot10^{-06}$	$2{,}3\cdot10^{-02}$
Th-232	$8{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
Th-234	$2{,}4\cdot10^{-15}$	$3{,}3\cdot10^{-12}$	$73\cdot10^{-09}$	$5{,}6\cdot10^{-02}$
Th (природный)	$2{,}2\cdot10^{-13}$	$3{,}7\cdot10^{-12}$	—	—
Ti-44	$2{,}1\cdot10^{-13}$	$1{,}6\cdot10^{-12}$	$1{,}2\cdot10^{-07}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Tl-200	$1{,}2\cdot10^{-13}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}4\cdot10^{-10}$	$3{,}9\cdot10^{-03}$
Tl-201	$8{,}3\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}7\cdot10^{-11}$	$7{,}0\cdot10^{-03}$
Tl-202	$4{,}3\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$2{,}0\cdot10^{-10}$	$1{,}7\cdot10^{-03}$
Tl-204	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-13}$	$4{,}4\cdot10^{-10}$	$4{,}0\cdot10^{-02}$
Tm-167	$1{,}4\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}1\cdot10^{-09}$	$3{,}4\cdot10^{-02}$
Tm-170	$5{,}0\cdot10^{-16}$	$3{,}8\cdot10^{-13}$	$6{,}6\cdot10^{-09}$	$4{,}5\cdot10^{-02}$
Tm-171	$1{,}0\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}3\cdot10^{-09}$	$2{,}7\cdot10^{-04}$
U-230 (F)	$1{,}9\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}6\cdot10^{-07}$	$9{,}0\cdot10^{-03}$
U-230 (M)	$1{,}9\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}2\cdot10^{-05}$	$9{,}0\cdot10^{-03}$
U-230 (S)	$1{,}9\cdot10^{-15}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$1{,}5\cdot10^{-05}$	$9{,}0\cdot10^{-03}$
U-232 (F)	$2{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$4{,}0\cdot10^{-06}$	$1{,}5\cdot10^{-04}$
U-232 (M)	$2{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$7{,}2\cdot10^{-06}$	$1{,}5\cdot10^{-04}$
U-232 (S)	$2{,}1\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}5\cdot10^{-05}$	$1{,}5\cdot10^{-04}$
U-233 (F)	$1{,}3\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}7\cdot10^{-07}$	—
U-233 (M)	$1{,}3\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}2\cdot10^{-06}$	—
U-233 (S)	$1{,}3\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}7\cdot10^{-06}$	—
U-234 (F)	$1{,}7\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$5{,}5\cdot10^{-07}$	—
U-234 (M)	$1{,}7\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$3{,}1\cdot10^{-06}$	—
U-234 (S)	$1{,}7\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	$8{,}5\cdot10^{-06}$	—
U-235 (F)	$1{,}6\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
U-235 (M)	$1{,}6\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
U-235 (S)	$1{,}6\cdot10^{-14}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—
U-236 (F)	$1{,}5\cdot10^{-16}$	$1{,}0\cdot10^{-15}$	—	—

Радионуклид	$\dot{e}_{pt}$ (a), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	$\dot{e}_{\beta}$ (b), Зв $Бк^{-1}$ $ч^{-1}$	e_{inh} (c), Зв $Бк^{-1}$	$\dot{h}_{skin}$ (d), Зв $м^2$ $ТБк^{-1}$ $с^{-1}$
U-236 (M)	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	—
U-236 (S)	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	—
U-238 (F)	$1,3 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
U-238 (M)	$1,3 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
U-238 (S)	$1,3 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
U (природный)	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$7,9 \cdot 10^{-12}$	—	—
U (обедненный)	$2,2 \cdot 10^{-15}$	$3,1 \cdot 10^{-12}$	—	—
V-48	$2,6 \cdot 10^{-13}$	$3,3 \cdot 10^{-13}$	$2,3 \cdot 10^{-09}$	$2,5 \cdot 10^{-02}$
V-49	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$
W-178	$1,1 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$7,6 \cdot 10^{-11}$	$6,1 \cdot 10^{-03}$
W-181	$3,8 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$
W-185	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,4 \cdot 10^{-02}$
W-187	$4,5 \cdot 10^{-14}$	$4,8 \cdot 10^{-13}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-02}$
W-188	$5,0 \cdot 10^{-15}$	$2,7 \cdot 10^{-12}$	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-02}$
Xe-122 (*)	$9,1 \cdot 10^{-14}$	$2,5 \cdot 10^{-12}$	—	—
Xe-123 (*)	$5,6 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-13}$	—	—
Xe-127 (*)	$2,6 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Xe-131 m (*)	$2,6 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Xe-133 (*)	$4,8 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Xe-135 (*)	$2,2 \cdot 10^{-14}$	$2,9 \cdot 10^{-13}$	—	—
Y-87	$7,1 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$8,7 \cdot 10^{-03}$
Y-88	$2,3 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,1 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$
Y-90	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$3,1 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$4,7 \cdot 10^{-02}$
Y-91	$3,2 \cdot 10^{-16}$	$1,7 \cdot 10^{-12}$	$8,4 \cdot 10^{-09}$	$4,6 \cdot 10^{-02}$
Y-91 m	$5,0 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$
Y-92	$2,3 \cdot 10^{-14}$	$4,5 \cdot 10^{-12}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-02}$
Y-93	$7,7 \cdot 10^{-15}$	$3,8 \cdot 10^{-12}$	$4,3 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^{-02}$
Yb-169	$2,9 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$2,8 \cdot 10^{-09}$	$2,7 \cdot 10^{-02}$
Yb-175	$3,7 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$7,0 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-02}$
Zn-65	$5,3 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$2,9 \cdot 10^{-09}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$
Zn-69	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$3,1 \cdot 10^{-13}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-02}$
Zn-69 m	$2,9 \cdot 10^{-14}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$4,7 \cdot 10^{-02}$
Zr-88	$3,8 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$3,5 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$
Zr-93	—	$1,0 \cdot 10^{-15}$	—	—
Zr-95	$5,6 \cdot 10^{-14}$	$2,2 \cdot 10^{-15}$	$5,5 \cdot 10^{-09}$	$3,3 \cdot 10^{-02}$
Zr-97	$1,1 \cdot 10^{-13}$	$2,7 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-09}$	$4,9 \cdot 10^{-02}$

Таблица II.3

Удельная активность урана при различном обогащении

Массовая процентная доля U-235 в урановой смеси	Удельная активность [a,b]	
	Бк/г	Ки/г
0,45	$1,8 \cdot 10^{4}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$
0,72 (природный)	$2,6 \cdot 10^{4}$	$7,06 \cdot 10^{-7}$
1,0	$2,8 \cdot 10^{4}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$
1,5	$3,7 \cdot 10^{4}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
5,0	$1,0 \cdot 10^{5}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$
10,0	$1,8 \cdot 10^{5}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
20,0	$3,7 \cdot 10^{5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
35,0	$7,4 \cdot 10^{5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
50,0	$9,3 \cdot 10^{5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
90,0	$2,2 \cdot 10^{6}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$
93,0	$2,6 \cdot 10^{6}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$
95,0	$3,4 \cdot 10^{6}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$

[a] Значения удельной активности включают активность U-234, накапливаемого в процессе обогащения; эти значения не учитывают вклад вторичных продуктов. Значения получены для природного урана, обогащенного методом газовой диффузии.

[b] Если происхождение материала неизвестно, удельную активность следует либо измерять, либо рассчитывать используя данные о соотношении изотопов.

Литература к приложению IV

[II.1] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION, ICRP Publication No. 38, Vols 11–13, Pergamon Press, Oxford and New York (1983). [Документ на русском языке см. в литературе к приложению I].

Приложение V

Оценки безопасности по критичности
(цитируется по приложению VII руководства МАГАТЭ TS-G-1.1 с незначительными редакционными изменениями)

ВВЕДЕНИЕ

VII.1. В данном приложении предложены общие рекомендации по демонстрации соблюдения требований, установленных в пп. с 671– 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04), для упаковок, содержащих делящиеся материалы. Выполнение и документирование исчерпывающей оценки безопасности по критичности обеспечивает демонстрацию соблюдения соответствия, требуемого в этих пунктах. Документирование оценки безопасности по критичности - существенная часть заявки на утверждение, направляемой в компетентный орган. Такую оценку безопасности по критичности следует выполнять путем применения соответствующих процедур обеспечения качества на всех этапах, как предписано в п. 813 МАГАТЭ-96 (и согласно порядку в соответствии с п. 4.1.2 НП-053-04).

VII.2. Хотя оценки безопасности по критичности могут выполняться с использованием пределов подкритичности по массе и размерам (примеры данных по пределам можно найти в [VII.1–VII.6]), более широко для получения основополагающей информации используется расчетный анализ. Таким образом, в данном приложении приведены рекомендации по подходам к анализу, которые следует учитывать, и документация, которую следует разрабатывать для различных аспектов оценки безопасности по критичности, указанных в пп. 671 – 682 Правил МАГАТЭ-96 (п.п. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04). Рассмотрена основа для приемлемости результатов расчета по установлению подкритичности в свете регулирующих требований.

ОПИСАНИЕ УПАКОВКИ

VII.3. В раздел критичности ООБ транспортной упаковки следует включать описание упаковочного комплекта и его содержимого. Это описание следует концентрировать на размерах упаковки и компонентах материалов, которые могут влиять на реактивность (например, содержание и размещение делящихся материалов, материалов поглотителя и его размещение, отражающие материалы), а не на конструкционной информации, такой как размещение болтов, цапф и т.п. Следует обращаться к техническим чертежам для пояснения подробностей в отношении изготовленных элементов.

VII.4. В ООБ следует четко заявлять полный спектр содержимого, для которого запрашивается утверждение. Следует приводить значения параметров (например, обогащение по U-235, типы сборок, диаметр таблеток UO_2), знание которых необходимо для ограничения содержимого упаковки в предписанных пределах. Для упаковок с многообразными конфигурациями загрузки следует также особо описывать каждую конфигурацию, включая возможные варианты конфигурации при чтичной загрузке. В описание содержимого следует включать:

(1) типы материалов (например, делящиеся и неделящиеся изотопы, топливные сборки реакторов, упаковочные материалы и поглотители нейтронов);
(2) физическую форму и химический состав материалов (например, газы, жидкости, твердые материалы, такие как металлы, сплавы или компаунды);
(3) количество материалов (например, массы, плотности, обогащение U-235 и изотопный состав);
(4) другие физические параметры (например, геометрические формы, конфигурации, размеры, ориентацию, дистанционирование и зазоры).

VII.5. В раздел критичности ООБ следует включать описание упаковочного комплекта с упором на особенности конструкции, относящиеся к оценке безопасности по критичности. Следует подчеркивать следующие особенности:

(1) конструкционные материалы и их отношение к безопасности по критичности;
(2) необходимые размеры и объемы (внутренние и наружные);
(3) конструктивные пределы, на которых основана безопасность по критичности;
(4) материалы упаковки, которые действуют как замедлители нейтронов, включая водородосодержащие материалы с плотностью ядер водорода, большей, чем у воды (полиэтилен, пластмассовая обертка, и т.п.), и значительные количества бериллия, углерода или дейтерия;
(5) другие особенности конструкции, относящиеся к безопасности по критичности (например, элементы, предотвращающие протечки воды внутрь согласно пунктам 677 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.7.2 НП-053-04) и (или) 680.b) Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.11.б) НП-053-04).

VII.6. Следует подробно описывать чти упаковочного комплекта и его содержимого, образующие систему локализации. Следует приводить описание испытаний совместно с результатами проведенных или проанализированных наблюдений для установления влияния на упаковку (и систему локализации) нормальных условий перевозки (см. п. 681.b) Правил МАГАТЭ-96 или п. 2.12.11.б) НП-053-04) и аварийных условий перевозки (см. п. 682.b) Правил МАГАТЭ-96 или п. 2.12.12.2.б) НП-053-04). Для упаковок, перевозимых по воздуху, следует учитывать влияние испытаний, требуемых в п. 680.a) Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.11.a) НП-053-04). При рассмотрении результатов испытаний следует учитывать любое возможное изменение физической или химической формы содержимого, а также непредвиденные обстоятельства согласно п. 671.a) Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.3 НП-053-04).

МОДЕЛИ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПО КРИТИЧНОСТИ

VII.7. Для формирования моделей упаковки, необходимых для анализа безопасности по критичности, чтобы продемонстрировать соблюдение требований пп. 671– 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04), следует использовать описание содержимого, упаковочного комплекта, системы локализации и влияния соответствующих испытаний. Для каждой оценки может потребоваться разработка одной или нескольких расчетных моделей. Точная модель упаковки может не понадобиться; приемлемой может оказаться демонстрационная граничная модель. Однако в модель следует в явном виде включать физические особенности, важные для безопасности по критичности, и делать ее согласованной с конфигурацией упаковки после испытаний, предписанных в пп. 679–682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04). Любые различия (например, в размерах, материалах, геометрии) между расчетными моделями и реальной конфигурацией упаковки должны быть идентифицированы и обоснованы. Кроме того, ООБ должен обсуждать и объяснять, как идентифицированные различия влияют на анализ.

VII.8. Можно рассматривать четыре типа расчетных моделей: модели содержимого, моде-

ли единичной упаковки, модели партий упаковок и модели выхода материалов. В модели содержимого следует включать все геометрические и материальные параметры системы локализации. Дополнительные расчетные модели могут понадобиться для описания диапазона изменения характеристик содержимого или различных конфигураций партии упаковок или конфигураций при повреждении, которые следует проанализировать (см. пп. VII.40 – VII.43).

VII.9. Для моделей или их частей (по применимости) следует приводить либо описание модели, либо упрощенные эскизы с указанием размеров. Любые отличия от технических чертежей или других рисунков в заявке следует отмечать и объяснять. Для каждой модели эскизы могут быть упрощены за счет уменьшения количества размерных линий на каждом из них и путем выполнения (по необходимости) нескольких эскизов, каждый из которых базируется на предыдущем.

VII.10. В обосновании по критичности следует рассматривать допуски размеров упаковочного комплекта, в том числе компонентов, содержащих поглотители нейтронов. При разработке расчетных моделей следует принимать допуски, ведущие к увеличению консерватизма (т.е. создающих более высокие значения реактивности).

VII.11. В обосновании по критичности следует рассматривать область изменения характеристик материалов упаковочного комплекта и его содержимого (включая любые неопределенности). Спецификации и неопределенности для делящихся материалов, материалов, поглощающих нейтроны, конструкционных материалов и материалов-замедлителей следует принимать в соответствии с техническими чертежами упаковочного комплекта и установленными критериями для содержимого. Согласно требованиям п. 673 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.7.5 НП-053-04) следует принимать значения параметров в пределах диапазона изменения характеристик материалов, включая неопределенности, при которых имеет место наибольшая реактивность. Например, для каждой расчетной модели плотность атомов любого поглотителя нейтронов (например, бора, кадмия или гадолиния), добавляемого в упаковочный комплект для управления критичностью, следует принимать с учетом значений, подтвержденных химическим анализом или измерениями переноса нейтронов, как это указано в п. 501 Правил МАГАТЭ-96 (п. 5.2.1 НП-053-04).

VII.12. На практике, определяя допуск по реактивности, соответствующий ее изменению при изменении рассматриваемых параметров, можно также учитывать влияние небольшой вариации размеров или характеристик материалов. Этот дополнительный допуск по реактивности следует делать положительным.

VII.13. Полезно приводить таблицу, содержащую все диапазоны изменения характеристик материалов в моделях для расчета безопасности по критичности. Для каждой характерной области упаковки в этой таблице следует указывать (по применимости): материал, плотность материала, состав материала, удельный вес и плотность атомов каждого компонента материала, представленную в модели, массу материалов в данной области, действительную массу материалов в данной области (в соответствии с рассмотренными в пп. VII.3 – VII.6 описаниями упаковочного комплекта и его содержимого).

МЕТОД АНАЛИЗА

VII.14. В ООБ следует представлять или давать ссылки на информацию, достаточную для демонстрации того, что компьютерная программа, данные о ядерных сечениях и методика выполнения оценки безопасности по критичности адекватны. В ООБ следует определять и описывать или давать адекватные ссылки на описание расчетных программ, использованных при оценке безопасности. Важным моментом является верификация того, что программное обеспечение работает в соответствии с ожиданиями. В ООБ следует определять или указывать все аппаратное и программное обеспечение (названия, версии и т.п.), использованное для расчетов, а также относящуюся к делу информацию о контроле за версиями. Корректную установку, а также работу компьютерной программы и используемых данных (например, сечений) можно демонстрировать путем выполнения и описания результатов расчета для тестовых примеров или общих валидационнных задач, поставляемых с программным обеспечением. Следует обсуждать возможности и ограничения программного обеспечения, относящиеся к расчетным моделям, уделяя особое внимание обсуждению ограничений, которые могут повлиять на расчеты.

VII.15. В анализе безопасности по критичности предпочтение отдается методам расчета, обеспечивающим непосредственное решение форм уравнения переноса Больцмана для получения k_{eff}. Метод дискретных ординат и статистический метод Монте-Карло являются типичными методами решения, используемыми в большинстве программ для анализа критичности. Анализы методом Монте-Карло преобладают, потому что эти программы могут лучше моделировать геометрические особенности, необходимые для анализа безопасности по критичности. Хорошо документированные и прошедшие валидацию методы расчета могут потребовать меньшего объема описания, чем методы, имеющие ограниченное использование или уникальные. Применение кодов программ, решающих приближенные представления уравнения Больцмана (например, теории диффузии), или упрощенных методов определения k_{eff} следует обосновывать.

VII.16. При использовании метода Монте-Карло лицу, выполняющему оценку безопасности по критичности, следует учитывать неточную природу значений k_{eff}, полученных статистическим методом. Каждое значение k_{eff} следует представлять с указанием стандартного отклонения s. Типичные программы, реализующие метод Монте-Карло, обеспечивают оценку стандартного отклонения для рассчитанного значения k_{eff}. В некоторых ситуациях аналитик может желать получить лучшую оценку стандартного отклонения, выполняя повторные расчеты с другим набором случайных чисел и используя этот массив значений k_{eff} при определении s. Статистическая природа методов Монте-Карло затрудняет также их использование для определения изменений k_{eff} вследствие вариации параметров. Изменение k_{eff} с изменением параметров должно быть статистически значимым для определения тенденции изменения k_{eff}.

VII.17. Ограничения метода дискретных ординат в отношении геометрических моделей обычно ограничивают область его применения расчетами граничных упрощенных моделей и исследованием чувствительности k_{eff} к изменению параметров системы. В таких анализах чувствительности для демонстрации изменений реактивности при малых изменениях размеров модели или характеристик материалов может использоваться модель специфической области или всей системы (например, топливный стержень или гомогенизированная масса делящегося материала, окруженная детальной моделью чехла). Такие анализы следует использовать (при необходимости) для обеспечения или демонстрации того, что в модели всей упаковки использованы консервативные предположения о расчете значения k_{eff} системы. Например, одномерная модель топливного стержня может использоваться для демонстрации влияния отклонений толщины оболочки на реактивность.

VII.18. В состав метода расчета входят компьютерная программа и используемые ею данные о нейтронных сечениях. Оценку безопасности по критичности следует выполнять с использованием данных о нейтронных сечениях, полученных из измерений при различных нейтронных взаимодействиях (например, захват, деление и рассеяние). В качестве общего источника таких данных следует использовать невидоизмененные данные, полученные обработкой сводок проверенных данных. Источник данных о сечениях, любая обработка, выполненная для подготовки данных к анализу, и любые необходимые ссылки на документацию по библиотекам сечений и области их применимости следует делать прослеживаемыми в ООБ. Следует обсуждать известные ограничения, способные повлиять на анализ (например, пропуски или ограниченный диапазон данных о резонансе, ограниченный порядок или рассеяние).

VII.19. В обоснование безопасности следует включать обсуждение, помогающее убедиться, что значения k_{eff}, рассчитанные по программам, достаточно точны. Адекватность трактовки многогрупповых сечений в решаемой задаче, использование достаточного количества энергетических групп (многогрупповое приближение) или точек данных (приближение с непрерывным изменением энергии) и сходимость численных результатов представляют собой пример вопросов, рассмотрение и обсуждение которых в обоснование безопасности может потребоваться заявителю. В той степени, как допускается программой, заявителю следует демонстрировать или обсуждать проверки, выполненные для подтверждения того, что расчетная модель, подготовленная для анализа безопасности по критичности, соответствует входным данным программы. Например, полезными для такого подтверждения могут быть генерированные программой графики, описывающие геометрические параметры модели, а также распечатки данных о массе материалов в различных областях модели.

VII.20. Статистическая природа расчетов методом Монте-Карло обусловливает наличие правил, критериев или тестов, чтобы судить о том, имеет ли место сходимость результатов расчета; в некоторых программах, однако, уже содержится указание по вопросу, имеется ли сходимость или нет. Таким образом, аналитику может потребоваться обсуждение выходных данных программы или иные меры для подтверждения адекватности сходимости. Например, многие программы на основе метода Монте-Карло обеспечивают форму представления результатов, которую следует анализировать для определения адекватной сходимости. Кроме того, в обосновании безопасности следует идентифицировать и обсуждать все существенные входные параметры или опции программы, принятые при выполнении анализа безопасности по критичности. В случае анализа методом Монте-Карло в эти параметры следует включать начальное распределение нейтронов, количество прослеженных историй (например, количество поколений и чтиц в поколении), выбранные граничные условия, учет отражателя, любые оказывающие влияние опции и т.п. Для анализа методом дискретных ординат следует выделять пространственную сетку в каждой области, используемую угловую квадратуру, выбранный порядок рассеяния, выбранные граничные условия, а также критерии сходимости для потока и(или) собственного значения.

VII.21. Документация по программе так же, как и литература [VII.7, VII.8], являются источниками информации для возможного обсуждения неопределенностей программ на основе метода Монте-Карло, использованных для расчета k_{eff}, и рекомендаций относительно особенностей и тенденций выходных данных, на которые следует обращать внимание. Если заявитель столкнулся с проблемой сходимости, следует приводить обсуждение проблемы и шагов, предпринятых для по-

лучения адекватного значения k_{eff}. Например, расчетная сходимость может быть достигнута за счет выбора различного начального распределения нейтронов или "прогонки" по дополнительным историям нейтронов. Современные персональные компьютеры и рабочие станции позволяют прослеживать значительное количество историй частиц.

ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА

VII.22. В заявке на утверждение транспортной упаковки следует продемонстрировать, что метод расчета (программы и данные о сечениях), использованный для обеспечения безопасности по критичности, прошел валидацию по результатам измерений, применимость которых к конструктивным характеристикам упаковки может быть показана. Путем валидации следует обеспечивать основу надежности метода расчета и обосновывать значения, определяющие пределы подкритичности системы упаковочного комплекта. Данные о валидации применяемого программного средства можно приводить в виде расчетов надежных измерений либо краткого резюме со ссылкой на имеющийся литературный источник.

VII.23. В имеющихся руководствах [VII.5, VII.9] по выполнению и документированию процесса валидации указано следующее:

(1) систематическая погрешность и неопределенности следует устанавливать путем сравнения с критическими экспериментами, применимыми к конструкции упаковки;

(2) область применимости систематической погрешности и неопределенностей следует основывать на диапазоне вариации параметров в экспериментах;

(3) любое распространение диапазона применимости за пределы экспериментальных параметров следует основывать на тенденциях изменения систематической погрешности и неопределенностей в зависимости от параметров и применения независимых методов расчета;

(4) верхний предел подкритичности для упаковки следует определять на основе установленных величин систематической погрешности и неопределенностей и запаса под-критичности.

VII.24. Хотя имеется значительное количество справочных материалов, демонстрирующих работоспособность многих программ оценки критичности и комбинаций данных о сечениях, в ООБ все же следует показывать, что конкретный метод расчета (например, версия программы, библиотека сечений и компьютерная платформа), использованный заявителем, обоснован (прошел валидацию) в соответствии с выше обозначенным процессом и учитывает требования обеспечения качества на всех этапах оценки.

VII.25. На первом этапе процесса валидации следует устанавливать соответствующие значения систематической погрешности и неопределенности метода расчета, используя хорошо поставленные критические эксперименты с параметрами (например, материалы, геометрия), которые являются характеристиками конструкции упаковки. При выборе критических экспериментов для процесса валидации следует учитывать конфигурацию единичной упаковки, партии упаковок, а также нормальные и аварийные условия при перевозке. В идеале набор экспериментов должен соответствовать характеристикам упаковки, наиболее влияющим на энергетический спектр нейтронов и реактивность. В состав таких характеристик входят:

(1) делящиеся изотопы (U-233, U-235, Pu-239 и Pu-241 согласно определению в п. 222 (п. 5 НП-053-04), а также форма (гомогенная, гетерогенная, металлическая, оксидная, фторидная и т.д.) и изотопный состав делящегося материала;

(2) водородное замедление с учетом соответствующих оптимальных условий внутри упаковок и между ними (если в упаковке имеются существенные количества других замедлителей, таких как углерод или бериллий, их также следует учитывать);

(3) вид (например, бор, кадмий), размещение (в промежутках между элементами содержимого, в составе или вне содержимого) и распределение поглощающих и конструкционных материалов;

(4) конфигурация содержимого единичной упаковки (например, гомогенная или гетерогенная) и отражающих материалов упаковочного комплекта (свинец, сталь и т.п.);

(5) конфигурация партии, включая дистанциирование, разделяющий материал и количество упаковок.

VII.26. К сожалению, маловероятно, что полный набор характеристик упаковки может быть найден в доступных данных о критических экспериментах, а критические эксперименты для больших партий упаковок в настоящее время не существуют. Соответственно следует моделировать достаточное количество критических экспериментов, чтобы адекватно продемонстрировать, что в каждом из них метод расчета предсказывает k_{eff} в рамках принятых стандартов. Эксперименты следует выбирать с характеристиками, считающимися важными для k_{eff} упаковки (или партии упаковок) при нормальных и аварийных условиях.

VII.27. Выбранные критические эксперименты следует кратко описывать в ООБ со ссылками на литературу, содержащую подробные описания. В ООБ следует отмечать любые отступления от описаний экспериментов, приведенных в ссылочных документах, включая обоснование таких

отступлений (дискуссии с экспериментатором, журналы экспериментов и т.п.). Поскольку валидация и вспомогательная документация могут вылиться в объемный отчет, обычно считается приемлемым в ООБ приводить резюме и ссылку на отчет о валидации.

VII.28. Для валидации с использованием критических экспериментов систематической погрешностью метода расчета является разность между рассчитанным значением k_{eff} критического эксперимента и 1,0 хотя может учитываться погрешность эксперимента и использование метода экстраполяции. Обычно говорят, что метод расчета имеет положительную систематическую погрешность, если он дает завышенную критичность (т.е. рассчитанный $k_{eff} > 1,0$), и отрицательную, если он недооценивает критичность (т.е. рассчитанный $k_{eff} < 1,0$). Расчетный метод должен иметь систематическую погрешность, которая не зависит от характеристических параметров, либо является гладкой, плавной функцией характеристических параметров. По возможности следует анализировать достаточное количество критических экспериментов, чтобы определять тренд параметров, важных для процесса валидации (например, соотношение водород – делящийся материал (H/X), обогащение U-235, материал поглотитель нейтронов). Систематическую погрешность для набора критических экспериментов следует определять как разность между наилучшим приближением из рассчитанных значений k_{eff} и 1,0. При наличии тренда систематическая погрешность не будет постоянной в пределах диапазона изменения параметров. При отсутствии тренда систематическая погрешность будет постоянной в пределах диапазона применимости. Чтобы тренды были признаны, они должны быть статистически значимы как в отношении расчетных неопределенностей, так и неопределенностей эксперимента.

VII.29. Лицу, выполняющему анализ безопасности по критичности, следует учитывать три общих источника неопределенности: неопределенность экспериментальных данных, неопределенность метода расчета и неопределенность, связанную с расчетными моделями. Примерами неопределенностей в экспериментальных данных являются неопределенности данных о материале или изготовлении либо неопределенности вследствие неадекватного описания конфигурации эксперимента или просто из-за допусков по оборудованию. Примеры неопределенностей метода расчета - неопределенности аппроксимации, используемой для решения математических уравнений, неопределенности, связанные со сходимостью решения, и неопределенности данных о сечениях или их обработки. Индивидуальная техника моделирования, выбор входных опций программы и интерпретация результатов расчета служат возможными источниками неопределенности, связанной с расчетной моделью.

VII.30. В общем случае все эти источники неопределенности следует рассматривать интегрально в вариациях значений k_{eff}, рассчитанных для критических экспериментов. Сюда следует включать стандартное отклонение метода Монте-Карло в каждом значении k_{eff}, рассчитанном для критического эксперимента, а также любые изменения рассчитанного значения, вызванные учетом неопределенностей эксперимента. Таким образом, эти неопределенности будут включены в систематическую погрешность и неопределенность этой погрешности. Эти вариации или неопределенность систематической погрешности следует устанавливать путем имеющей силу статистической обработки рассчитанных значений k_{eff} для критических экспериментов. Существуют методы [VII.10], позволяющие оценивать систематическую погрешность и ее неопределенность в зависимости от изменения параметров выбранных характеристик.

VII.31. Следует представлять расчетные модели, использованные для анализа критических экспериментов, или давать ссылки на соответствующие описания. Следует приводить наборы исходных данных для анализа, указывая, были ли эти данные разработаны заявителем или взяты из других конкретных источников (опубликованных документов, баз данных и т.п.). Известные неопределенности экспериментальных данных следует указывать с обсуждением того, как (или были ли) они включены в оценку суммарной систематической погрешности и неопределенности метода расчета. В заявке следует подробно обсуждать статистическую обработку, использованную при определении систематической погрешности и ее неопределенности, давая необходимые библиографические ссылки.

VII.32. Как составную чть усилий по валидации следует указывать область применимости установленной систематической погрешности и неопределенности. В ООБ следует демонстрировать, что и при нормальных и при аварийных условиях упаковка находится в пределах этой области применимости и (или) ООБ должен определить расширение области, необходимое для охвата упаковки. Область применимости следует определять, выявляя диапазон изменения важных параметров и(или) характеристик, для которых программа прошла (или нет) валидацию. В заявке на утверждение следует обсуждать и обосновывать процедуру или метод, использованный для определения области применимости. Например, один метод [VII.10] определяет область применимости как пределы (верхний и нижний) изменения характеристических параметров, использованных для корреляции систематической погрешности и неопределенности. В качестве характеристического параметра может использоваться соотношение водород – делящийся материал (например, H/X = от 10 до 500), средняя энергия, вызывающая деление, отношение общего количества актов деления к количеству актов деления на тепловых нейтронах (например, F/F_{th} = от 1,0 до 5,0), обогащение

U-235 и т.п.

VII.33. Возможность применения систематической погрешности и неопределенности к упаковке с характеристиками, выходящими за пределы установленной области применимости, допускается в согласованном руководстве [VII.5]. В этом руководстве указано, что распространение за пределы области применимости следует основывать на трендах систематической погрешности как функции параметров системы и, если распространение большое, подтверждать независимыми методами расчета. Однако, заявителю следует учитывать, что экстраполяция может приводить к слабому предсказанию реального поведения системы. Даже интерполяция в широком диапазоне без экспериментальных данных может вводить в заблуждение [VII.11]. Заявителю следует также учитывать, что сравнение с другими методами расчета может высвечивать недостаток или обеспечить согласованность; однако наличие отличающихся результатов при применении независимых методов не всегда означает простую задачу определения, который из результатов является "правильным" при отсутствии экспериментальных данных [VII.12].

VII.34. Аналитик безопасности по критичности должен осознавать, что в настоящее время нет ни согласованного руководства по определению того, что является «дальним» распространением, ни руководства по распространению трендов систематической погрешности. Фактически это не просто тренд систематической погрешности, который следует учитывать аналитику, а тренд неопределенности и систематической погрешности. Малочисленность экспериментальных данных вблизи одного края диапазона изменения параметра может вызывать увеличение неопределенности в этом районе. (Примечание: При любой экстраполяции неопределенности методом Лихтенвальтера [VII.10] следует учитывать функциональную зависимость неопределенности от параметра, а не только максимальное значение неопределенности.) Правильная экстраполяция систематической погрешности и неопределенности означает, что аналитику следует определять и понимать тренды систематической погрешности и неопределенности. Аналитику следует прилагать максимальные усилия для расширения области применимости и обеспечивать детальное обоснование необходимости экстраполяции вместе с исчерпывающим описанием метода и процедуры, используемой для оценки систематической погрешности и неопределенности в расширенном диапазоне.

VII.35. В разделе безопасности по критичности ООБ следует продемонстрировать, как систематическая погрешность и неопределенность, определенные из сравнения расчетов с критическими экспериментами, использованы для установления минимального значения k_{eff} (т.е. верхнего предела подкритичности), чтобы аналогичные системы с более высоким рассчитанным значением k_{eff} считались критическими. Для установления критерия приемлемости рекомендовано следующее общее соотношение:

$$k_c - \Delta k_u \geq k_{eff} + n\sigma + \Delta k_m ,$$

где: k_c – условие критичности (1,00);
Δk_u – допуск на расчетные значения систематической погрешности и неопределенности;
Δk_m – требуемый запас подкритичности;
k_{eff} – рассчитанное значение для упаковки или партии упаковок;
n – учитываемое количество стандартных отклонений (обычно 2 или 3);
σ – стандартное отклонение значения k_{eff}, полученного методом Монте-Карло.

Таким образом, общее соотношение может быть переписано как

$$1{,}00 - \Delta k_u \geq k_{eff} + n\sigma + \Delta k_m$$

или

$$k_{eff} + n\sigma \leq 1{,}00 - \Delta k_m - \Delta k_u .$$

VII.36. Максимальный верхний предел подкритичности (USL), который следует использовать для оценки упаковок, равен

$$\text{USL} = 1{,}00 - \Delta k_m - \Delta k_u .$$

VII.37. Как отмечено ранее, систематическая погрешность может быть положительной (завышать оценки критических экспериментов) или отрицательной (занижать оценки критических экспериментов). Однако разумной практикой оценок безопасности по критичности служит предположение, что неопределенности имеют односторонний характер, занижающий оценки условий критичности, и по определению, всегда равны нулю или отрицательны. Член Δk_u, использованный в данном разделе, представляет составную величину систематической погрешности и неопределенности, и заявителю следует определять этот член так, чтобы не вызывать увеличения значения USL. Таким образом,

$$\Delta k_u = \begin{cases} \text{абсолютному значению составной величины систематической погрешности и} \\ \text{неопределенности, если она отрицательна, или 0, если эта составная величина} \\ \text{положительна.} \end{cases}$$

VII.38. Величина запаса подкритичности Δk_m, используемая в оценках безопасности, является предметом обоснования, учитывая чувствительность k_{eff} к предвидимым физическим или химическим изменениям упаковки и наличие исчерпывающего исследования по валидации. Например, системы с низкообогащенным ураном могут иметь высокое значение k_{eff}, но демонстрировать

почти незначительные изменения этой величины при мыслимых изменениях условий упаковки или количества делящегося материала. Наоборот, системы с высокообогащенным ураном могут демонстрировать значительные изменения k_{eff} при довольно малых изменениях условий упаковки и количества делящегося материала. Типичной практикой для транспортных упаковок служит применение значения Δk_m, равного $0{,}05\Delta k$. Хотя значение Δk_m, меньшее 0,05 может быть приемлемым для определенных упаковок, столь малые значения требуют обоснования на основе доступной валидации, продемонстрированного понимания системы и влияния возможных изменений. Статистический метод Лихтенвальтера [VII.10] дает пример подхода, который можно использовать для демонстрации того, что выбранное значение Δk_m адекватно данному набору критических экспериментов, использованных при валидации. Малочисленность данных критических экспериментов или необходимость выхода за пределы области применимости [VII.5] могут означать необходимость увеличения запаса подкритичности сверх обычно принимаемых значений.

VII.39. Информацию о потенциально полезных критических экспериментах, стандартных упражнениях и отчетах о валидации характерных программ можно найти в [VII.10, VII.13–VII.21].

РАСЧЕТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Общие аспекты

VII.40. В данном разделе представлен общий логический подход к выполнению расчетов, которые следует представлять в ООБ. Следует выполнять, по крайней мере, две серии расчетов:

(1) серию расчетов для отдельной единичной упаковки согласно требованиям пп. 677–680 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.7-2.12.11 НП-053-04);

(2) серию расчетов для партии упаковок согласно требованиям пп. 681 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.4, 2.12.10, 2.12.12.1 НП-053-04) и 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.10 и 2.12.12.2 НП-053-04).

Однако количество расчетов, которые необходимо выполнять для оценки безопасности, будет зависеть от изменения различных параметров и условий, которые должны быть рассмотрены, конструкции упаковочного комплекта и ее особенностей, содержимого упаковочного комплекта, потенциального состояния упаковки при нормальных и аварийных условиях. Для оценки безопасности на основе расчетных методов заявителю следует рассматривать термин "подкритический" (см. пп. 671 и 679 – 682 Правил МАГАТЭ-96 или п. 2.12.3 и пп. 2.12.11 – 2.12.12 НП-053-04)), подразумевая, что рассчитанное значение k_{eff} (включая любое стандартное отклонение результатов, полученных по методу Монте-Карло) меньше, чем значение верхнего предела подкритичности (USL), определенное в пп. VII.22 – VII.39.

VII.41. В ООБ следует приводить расчеты, представляющие каждую из возможных конфигураций загрузки (полной и частичной). Единую модель содержимого, которая охватывает все различные конфигурации загрузки, следует рассматривать только, если обоснование является ясным и прямым. Необходимы достаточные расчеты для демонстрации того, что делящееся содержимое упаковки рассматривается в своей наиболее реактивной конфигурации, соответствующей физической и химической форме в пределах системы локализации и при нормальных и аварийных условиях перевозки. Если параметры содержимого (масса, обогащение, распределение изотопов, пространственное расположение и т.п.) могут варьироваться в некотором диапазоне, то в анализе безопасности по критичности следует продемонстрировать, что модель описывает и использует спецификацию параметров, дающих максимальное значение k_{eff} для условий, определенных в пп. 671 – 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.1 – 2.12.12 НП-053-04). Значения параметров содержимого и (или) конфигурации содержимого, обеспечивающие максимальную реактивность, могут варьироваться в зависимости от того, анализируется ли отдельная единичная упаковка или партия упаковок.

VII.42. В гетерогенных смесях делящегося материала следует предполагать оптимальное пространственное разделение между отдельными учтками, дающее максимальную реактивность, если не обеспечена адекватная структура, создающая известное разделение или варианты разделения (например, топливные стержни ядерного реактора в сборке). Важно осознавать, что в сложных системах имеются конкурирующие факторы и что единообразное пространственное разделение может не быть состоянием с наиболее возможной реактивностью. В моделях содержимого упаковок, перевозящих отдельные таблетки, следует обеспечивать рассмотрение всех возможных вариаций размера таблеток и их пространственного расположения, дающее оптимальную конфигурацию, которая создает наибольшую реактивность. Для упаковок, перевозящих отходы, содержащие делящиеся материалы, при выполнении анализа безопасности следует обеспечивать принятие предельных концентраций делящегося материала. Как требуется в п. 673 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.7.5 и 2.12.7.6 НП-053-04), неопределенность содержимого следует учитывать путем принятия наиболее консервативных значений соответствующих параметров (в пределах возможного

диапазона изменения); практически этого можно достичь, включая в рассмотрение допуски расчетной неопределенности.

VII.43. По ряду расчетов, которые могут потребоваться, полезно представлять расчетные результаты в табличной форме с идентификатором каждого случая вариантов, кратким описанием условий для каждого случая и результатов по ним. Дополнительную информацию следует включать в таблицу, если она подкрепляет и упрощает описание в тексте. Дайер [VII.22] дает пример формата, рекомендованного для резюмирования результатов, полученных для расчетов отдельной единичной упаковки и партии упаковок. Аналогичный формат может использоваться для резюмирования результатов для случаев, демонстрирующих, что ограничивающие условия применены надлежащим образом.

Анализ отдельной единичной упаковки

VII.44. В анализе отдельной единичной упаковки, используемом для демонстрации подкритичности для целей пп. 679 и 680 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.4 и 2.12.11 НП-053-04) следует изображать упаковочный комплект и содержимое в наиболее реактивной конфигурации, соответствующей химической и физической форме материала и с учетом требования рассматривать (п. 679 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.12.4 НП-053-04) либо не рассматривать (п. 680(а) Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.12.11(а) НП-053-04) натекание воды внутрь. Как отмечено выше, могут понадобиться другие анализы отдельной единичной упаковки, чтобы продемонстрировать промежуточные конфигурации, анализируемые для определения наиболее реактивной. При определении наиболее реактивной конфигурации следует рассматривать:

(1) изменение внутренних и наружных размеров вследствие удара;
(2) потерю материала, такого как нейтронная защита или деревянная наружная упаковка, при испытании на возгорание;
(3) изменение расположения делящегося материала или материала поглотителя нейтронов в пределах системы локализации вследствие удара, возгорания или погружения в воду;
(4) влияние изменений температуры на материал упаковки и(или) на свойства нейтронных взаимодействий.

VII.45. Если не имеется специальных устройств согласно п. 677 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.7.2 НП-053-04), в расчетах для отдельной единичной упаковки следует систематически исследовать различные состояния заполнения водой и влияние воды как отражателя нейтронов (согласно требованиям п. 678 Правил МАГАТЭ-96 и п. 2.12.7.4 НП-053-04) представительные для нормальных и аварийных условий перевозки. Если упаковка содержит множественные пустоты, включая области в пределах системы локализации или системы герметизации, следует рассматривать затопление каждой области (и (или) сочетания областей). Следует рассматривать случай отдельной единичной упаковки, полностью заполненной водой и с максимальным отражением. Заявителю следует рассматривать различные последовательности заполнения (например, частичное заполнение, вариации, связанные с горизонтальным или вертикальным расположением упаковки, заполнение водой с пониженной плотностью (замедляющее), постепенное заполнение областей упаковки, начиная с внутренних).

VII.46. В п. 678 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.7.4 НП-053-04) требуется, чтобы при выполнении оценок, необходимых для п. 679 Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.4 НП-053-04), система локализации предполагалась со всех сторон окруженной отражателем, представляющим собой слой воды нормальной плотности толщиной не менее 20 см, если только материал упаковочного комплекта, окружающий систему локализации, не обеспечивает больший k_{eff}. Таким образом, для обычных и нормальных условий, чтобы определять условия наибольшего значения k_{eff}, должны быть выполнены анализы, рассматривающие отражение водой, находящейся в системе локализации, и отражение водой, находящейся в упаковке. Для аварийных условий перевозки, если продемонстрировано, что система локализации остается внутри упаковки, отражение водой, находящейся в системе локализации, можно исключать и рассматривать только отражение водой, находящейся внутри упаковки. Свинцовая защита вокруг системы локализации – пример отражателя упаковочного комплекта, обеспечивающего большее отражение, чем вода.

VII.47. Несколько анализов отдельной единичной упаковки может быть необходимым для упаковок, перевозимых по воздуху, при оценке соответствия требованиям п. 680 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.4 и 2.12.11 НП-053-04), особенно, если реальное испытание, согласно пп. 733 и 734 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 3.4.5.3 и 3.4.6.1 НП-053-04), не проводилось. При отсутствии соответствующих испытаний эти анализы должны быть сформулированы так, чтобы продемонстрировать невозможность ситуации, когда k_{eff} единичной упаковки стал бы больше значения 0,95, если не предполагать добавления воды к материалам упаковки. Результаты расчетов для отдельной единичной упаковки могут влиять на подход к выполнению и количество расчетов, требуемых для партии упаковок, в чтности, если имеются различные конфигурации загрузки содержимого.

Оценка партий упаковок

VII.48. В моделях партий упаковок следует описывать расположение упаковок, которое используется при расчетах, необходимых для выполнения требований пп. 681 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.4, 2.12.10, 2.12.12.1 НП-053-04) и 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.10 и 2.12.12.2 НП-053-04). Необходимы, по крайней мере, две модели партий: партия неповрежденных упаковок, соответствующих нормальным условиям перевозки, и партия поврежденных упаковок, соответствующих аварийным условиям перевозки. Конфигурацию отдельных упаковок (поврежденных и неповрежденных), используемую в соответствующих моделях для партии, следует принимать соответствующей (но не обязательно идентичной) модели отдельной упаковки, рассмотренной в пп. VII.44–VII.47 (например, необходимо, чтобы утечка в модели отдельной единичной упаковки была минимизирована, так как создает взаимодействие в модели партии).

VII.49. Учет замедления в партии может быть простым или сложным в зависимости от размещения конструкционных материалов и их восприимчивости к повреждениям в аварийных условиях. Для всех этих условий и комбинаций условий аналитику следует тщательно исследовать оптимальную степень внутреннего и внешнего замедления, соответствующего химической и физической форме материала и упаковки при нормальных и аварийных условиях перевозки, и продемонстрировать, что подкритичность обеспечивается. Следует рассматривать различные условия замедления, такие как:

(1) замедление в упаковочном материале, находящемся внутри первичной оболочки;
(2) замедление вследствие избирательного заполнения различных пустот в упаковках;
(3) замедление в конструкционных материалах (например, в теплоизоляции и нейтронной защите);
(4) замедление в пространстве между упаковками в партии.

VII.50. При нормальных условиях перевозки в анализе следует учитывать только замедлители, присутствующие в упаковке (позиции (1) – (3) из указанных выше). Замедление между упаковками (позиция (4) из указанных выше), согласно условиям п. 681, Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.4, 2.12.10, 2.12.12.1 НП-053-04), из-за тумана, дождя, снега, пены, затопления и т.д. учитывать не следует. При определении индекса безопасности по критичности (ИБК) партии поврежденных упаковок заявителю следует тщательно рассматривать все четыре указанные выше условия, включая то, как каждая форма замедления может изменяться. В качестве примера рассмотрим упаковку с термически разрушаемым материалом для изоляции и материалом-поглотителем (отравителем) тепловых нейтронов. Для нормальных условий перевозки в анализе следует учитывать изоляцию. Для аварийных условий заявителю следует исследовать влияние замедления, ослабленного в результате термических испытаний. Если внутренняя оболочка этой упаковки не предотвращает натекание воды извне, то заявителю следует тщательно оценивать различные степени замедления внутри оболочки. Воздействие, которое оказывает поглотитель нейтронов на реактивность системы, будет изменяться пропорционально изменению степени замедления.

VII.51. В каждом расчете следует предполагать оптимальное замедление, если в условиях соответствующих испытаний не показано, что натекания воды в пустоты быть не должно. Оптимальное замедление служит условием, которое обеспечивает максимальное значение k_{eff} для партии (возможно, что это будет иная степень замедления, чем оптимальная для отдельной единичной упаковки). При определении оптимальных условий замедления следует рассматривать частичное и избирательное заполнение. Если натекание воды в систему отсутствует, то в модели партии можно принять фактическое внутреннее замедление, обеспечиваемое материалами упаковки. Аналогично, если замедлитель обеспечивает замедление, большее, чем оптимальное, и благодаря своей физической и химической форме не может выйти из корпуса, его замедляющие свойства могут быть приняты в модели. Например, твердый замедлитель, для которого показано, что для делящегося материала его замедляющая способность избыточна, может учитываться в расчетной модели, если его наличие подтверждено. Этот критерий замедления следует оценивать и применять отдельно для нормальных и аварийных условий перевозки.

VII.52. В каждой модели для партии неповрежденных упаковок следует предполагать зазоры между упаковками в соответствии с требованиями п. 681.а) Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.12.1.а) НП-053-04). Для оценки партии поврежденных упаковок, согласно п. 682 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.10 и 2.12.12.2 НП-053-04), следует определять оптимальные условия распределенного водородосодержащего замедлителя. Оптимальными считаются условия водородного замедления, обеспечивающие наибольшее значение k_{eff}. Распределенный замедлитель следует рассматривать как замедлитель, который отделяет одну упаковку в партии от другой. В этот распределенный замедлитель для россыпи не следует включать замедление внутри упаковки. Таким образом, если упаковочный комплект обеспечивает замедление для россыпи, большее оптимального, оно может приниматься в расчетной модели.

VII.53. Чувствительность нейтронного взаимодействия между упаковками различна для разных конструкций упаковок. Например, малые легкие упаковки более зависимы от этого фактора,

чем большие тяжелые упаковки (например, упаковки с облученным ядерным топливом). Поскольку вариации замедления на воде внутри упаковок и между ними следует рассматривать для каждого варианта расположения упаковок, анализ может оказаться трудоемким при отсутствии надлежащего опыта в выборе анализов. Полезно составлять график зависимости k_{eff} от плотности замедлителя между упаковками.

VII.54. Первый шаг разработки такого графика - определение оптимального замедления партии упаковок согласно результатам испытаний для аварийных условий. Поскольку вода поступает в зазоры между упаковками, их размещение может ограничивать количество замедлителя, который может быть добавлен. По этой причине иногда удобно моделировать бесконечную партию упаковок, рассматривая повторяющуюся единичную ячейку партии, состоящую из отдельной упаковки и примыкающего граничного слоя. Если реакция k_{eff} на возрастание плотности распределенного между упаковками замедлителя для данной партии с указанными ячейками имеет тенденцию к возрастанию (положительный наклон), то заявителю следует рассматривать увеличение размеров единичной ячейки и повторно рассчитывать k_{eff} в зависимости от плотности замедлителя. Увеличение размеров единичной ячейки приводит к увеличению зазоров между упаковками и обеспечивает больше места для распределенного замедлителя. Эту последовательную процедуру следует прекращать только после подтверждения того, что упаковки изолированны, и добавление воды в промежутки между ними обеспечивает только дополнительное отражение.

VII.55. Должны быть рассмотрены все возможные комбинации плотности и пространственного расположения, способные приводить к большим рассчитанным значениям k_{eff}, и в ООБ должно быть проведено обсуждение, демонстрирующее, что было определено максимальное значение k_{eff}. На рис. VII.1 представлены некоторые примеры графиков изменения k_{eff} от плотности воды как замедлителя в промежутках между упаковками, иллюстрирующие характеристики замедления, поглощения и отражения, которые могут учитываться при оценке безопасности упаковочного комплекта. Кривые A, B, и C представляют партии, для которых партия упаковок имеет сверхзамедление, и возрастание замедления на воде лишь уменьшает (кривые B и C) или не оказывает никакого влияния (кривая A) на значение k_{eff}. Кривые D, E и F представляют партии, для которых партия является "недозамедленной" при нулевой плотности воды, и увеличение плотности замедлителя в промежутках вызывает увеличение k_{eff}. Затем с дальнейшим возрастанием плотности воды начинает влиять поглощение нейтронов, нейтронное взаимодействие между упаковками уменьшается, и k_{eff} становится постоянным (кривая D) или уменьшается (кривые E и F). Пиковые эффекты, подобные показанным на кривых E и F, могут наблюдаться при очень низкой плотности замедлителя (например, при 0,001 – 0,1 доле от полной плотности). Поэтому следует внимательно подходить к выбору значений плотности замедлителя в промежутках при выполнении расчетов для поиска максимального значения k_{eff}. Следует заметить, что при расчете отдельной единичной упаковки требуется учитывать только водный отражатель толщиной 20 см; соответственно в случае хорошо дистанциированной партии (более 20 см), k_{eff} для одной упаковки в аварийных условиях может оказаться больше, чем рассчитанный в модели для отдельной единичной упаковки (это зависит от эффектов, рассмотренных в пп. 677 и 678 (пп. 2.12.7 и 2.12.4 НП-053-04, соответственно). Кривая G представляет партию, для которой оптимальная плотность замедлителя в промежутках не была достигнута даже при полной плотности воды. В этой ситуации заявителю следует увеличивать межцентровое расстояние между упаковками партии и повторно рассчитывать все варианты.

VII.56. Цель расчетов партии упаковок – получение информации, которая необходима для определения ИБК для контроля критичности, как предписано в п. 528 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.10 и 5.3.5 НП-053-04). Сначала аналитик может выполнять расчеты для партии, используя модель бесконечной партии. Впоследствии может потребоваться уменьшение размеров конечной партии до тех пор, пока размеры партии в нормальных и аварийных условиях перевозки не превышают USL. В качестве альтернативы заявитель может начинать анализ, используя любой размер партии, например, размер, который основан на планируемом к перевозке количестве упаковок на транспортном средстве.

VII.57. При выполнении оценки безопасности по критичности следует обеспечивать рассмотрение наиболее реактивной конфигурации упаковок в партии. При исследовании различного расположения партии следует учитывать конкурирующие влияния утечки из партии и взаимодействия упаковок в партии. В партиях, расположенных с минимальным отношением поверхности к объему, уменьшается утечка и должен, попросту говоря, достигаться максимальный k_{eff}. Следует рассматривать предпочтительное геометрическое расположение упаковок в партии. Например, для некоторых упаковок (например, содержащих делящиеся материалы, размещенные не в центре) необходимость оптимизировать взаимодействие может означать, что партия более реактивна, когда упаковки сгруппированы в один или два слоя. Необходимо также учитывать влияние наружного водного отражателя. В отдельных случаях может быть малое количество замедлителя в партии, поэтому увеличение площади поверхности может приводить к большему замедлению и, возможно, большей реактивности. Точное расположение упаковки может быть представлено в упрощенном виде при

наличии определенного обоснования. Например, было показано, что треугольное шаговое расположение упаковок в простых случаях может быть представлено соответствующим образом модифицированной моделью расположения в виде квадратной шаговой решетки [VII.22]. В более сложных случаях (даже для кубических упаковок) эффект от треугольного расположения может быть важным, поскольку доминирующим фактором может оказаться взаимодействие трех упаковок, расположенных в вершинах треугольника. Поскольку здесь присутствует столь много конкурирующих эффектов, любое упрощение, сделанное в ходе анализа, требует обоснования; что-либо, представляющееся очевидным в отношении утечки из партии, может быть не столь очевидным в отношении взаимодействия упаковок. Для всех конечных партий упаковок следует учитывать отражение со всех сторон от слоя воды толщиной не менее 20 см при полной плотности воды.

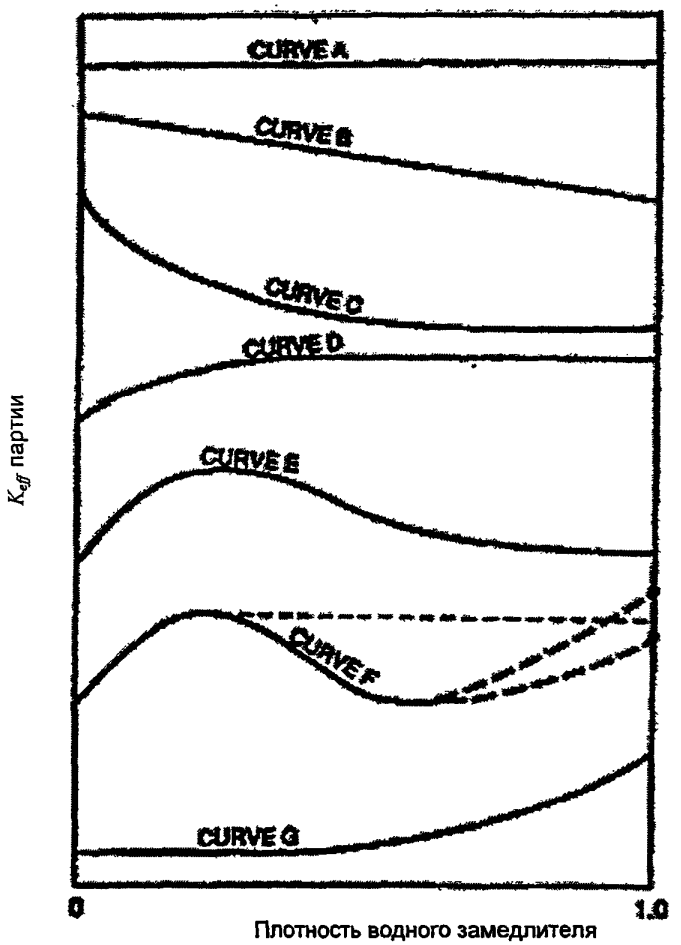


Рис. VII.1. Типичные графики зависимости k_{eff} партии от плотности водного замедлителя в промежутках между упаковками

VII.58. Значение ИБК следует определять, используя предписание п. 528 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 2.12.10 и 5.3.5 НП-053-04) и информацию из анализов партии для количества упаковок, которое остается подкритичным (ниже USL) в нормальных и аварийных условиях.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

VII.59. Конструкторы, пытающиеся уменьшать консерватизм в оценках безопасности по критичности при перевозке, должны тщательно рассматривать вопросы безопасности по критичности в течение всего процесса конструирования. Большое количество переменных, которые могут быть важными, способно приводить к весьма значительному количеству расчетов. Поэтому в интересах аналитика безопасности по критичности эффективно взаимодействовать с другими членами

команды конструкторов и изготовителей упаковок с целью сокращения множества переменных, которые необходимо рассматривать при выполнении оценок, и обеспечения адекватных входных данных о вопросах безопасности по критичности. Трудности понижения граничного консерватизма, традиционно используемого в оценках безопасности по критичности, что проявляется в необходимости подтверждения поведения упаковки в аварийных условиях и демонстрации влияния этого поведения на безопасность по критичности. Взаимодействие с членами команды конструкторов, ответственных за вопросы структуры, выбора материалов и систему герметизации (защитную оболочку) при конструировании упаковки, важно аналитику безопасности по критичности для получения знаний, необходимых для разработки защищаемых предположений в расчетной модели. Опыт и знания аналитика безопасности по критичности служат ключевым моментом также для того, чтобы гарантировать выполнение и документирование результативной и полной оценки.

VII.60. Варианты конструкции, которые зависят от ограничений по массе, размерам или концентрациям, что необходимы для безопасности, но что служат вариантами выбора конструкции, имеющей низкий приоритет из-за уменьшения полезной нагрузки. Аналогично контроль путем пространственного разделения делящихся материалов требует много ценного места в упаковке. Вариант конструкции, оснащенной специальными средствами предотвращения натекания воды внутрь, представляет собой притягательную альтернативую, исключающую рассмотрение воды в оценках критичности, но проектирование и демонстрация работоспособности специальных средств могут оказаться очень сложны и могут приводить к продолжительному процессу анализа. Таким образом, использование фиксированных поглотителей нейтронов остается основным вариантом, помогающим в обеспечении безопасности по критичности. Чтобы увеличивать загрузку больших количеств перевозимого облученного ядерного топлива (ОЯТ) возможно, при наличии приборного контроля глубины выгорания, учитывать изотопный состав топлива, возникающий при облучении в качестве альтернативы изотопному составу свежего (необлученного) топлива, используемому в традиционном граничном подходе к оценкам безопасности по критичности упаковок с ОЯТ.

Учет истории облучения (учет выгорания)

VII.61. Главная функция упаковок, содержащих делящиеся материалы, сводится к обеспечению подкритичности. Так, для упаковок, где термические, конструктивные, массогабаритные соображения, а также соображения по герметизации и радиационной защите представляют собой факторы, ограничивающие конструкторские решения, очень привлекательно в анализе основ конструкции придерживаться предположений сколь возможно простых и граничных так долго, пока конструкция упаковки ограничивается другими техническими проблемами. При перевозке ОЯТ, (т.е. топлива облученного до выгорания, близкого к проектному) традиционна основа для конструкции при выполнении оценки безопасности по критичности - использование изотопного состава свежего, необлученного топлива. Такой подход является непосредственным, относительно легкозащищаемым и обеспечивает консервативный запас, обычно исключающий вероятность ошибочных событий.

VII.62. Перевозка ОЯТ с более долгим временем выдержки и необходимость рассматривать более высокий уровень начального обогащения сделала безопасность по критичности фактором, более ограничивающим конструктивные решения для упаковок с ОЯТ. Поэтому для увеличения загрузки ОЯТ в новых конструкциях и допущения больших начальных обогащений в существующих упаковках концепция учета пониженной реактивности вследствие облучения или выгорания ОЯТ становится притягательной альтернативой предположениям свежего топлива. Концепция учета изменения состава топлива и соответствующего уменьшения реактивности из-за выгорания ОЯТ называется «учет выгорания». Хотя тот факт, что ОЯТ имеет пониженную реактивность по сравнению со свежим топливом, не вызывает сомнений, множество проблем должно быть рассмотрено и решено прежде, чем использовать изотопный состав ОЯТ в анализе конструкционной основы при оценках безопасности по критичности. В эти проблемы входит:

(1) валидация аналитических инструментов и соответствующих ядерных данных для демонстрации их применимости в области учета выгорания;

(2) определение анализов основы конструкции, обеспечивающих предсказание граничного значения k_{eff};

(3) эксплуатационный и административный контроль, гарантирующий, что ОЯТ, загруженное в упаковку, было проверено на соответствие требованиям к загрузке, определенным для данной конструкции упаковки.

VII.63. Использование изотопного состава ОЯТ в анализах безопасности по критичности означает, что все расчетные методы, применяемые для предсказания этого изотопного состава, должны проходить валидацию, предпочтительно по результатам измерения. Реактивность ОЯТ уменьшается вследствие уменьшения делящегося содержимого и увеличения количества паразитических поглощающих нейтроны нуклидов (неделящихся актинидов и продуктов деления), образующихся при выгорании. Бродхед [VII.23] и Дехарт [VII.24] дают информацию, помогающую определять важные нуклиды, влияющие на реактивность ОЯТ реакторов PWR. Нуклиды в составе ОЯТ,

которые могут быть опущены при выполнении анализа безопасности, представляют собой паразитические поглотители, способные только еще уменьшать k_{eff}, если они будут включены в анализ. Поглотители нейтронов, не являющиеся элементами матрицы топливного материала (газы и т.д.), также должны быть опущены.

VII.64. После выбора нуклидов, используемых в анализе безопасности, должен начаться процесс валидации. Были разработаны каталоги измеренных параметров изотопов [VII.25 – VII.27] и предприняты усилия по валидации расчетных методов с использованием данных, выбранных из этих каталогов [VII.27 – VII.29]. Объем измеренных данных об изотопах, доступных для верификации, ограничен. Кроме того, вызывает озабоченность тот факт, что база данных с измерениями продуктов деления – явилась малая часть измерений для актинидов. Данные о сечениях для нуклидов, являющихся продуктами деления, подверглись гораздо меньшей проверке в широком энергетическом диапазоне, чем большая часть актинидов, важных для ОЯТ. Продукты деления могут обеспечивать 20 – 30% отрицательной реактивности вследствие выгорания, однако неопределенности данных об их сечениях и предсказаний изотопного состава уменьшают эффективность их использования в оценках безопасности с учетом выгорания.

VII.65. Использование изотопного состава ОЯТ подняло также проблемы относительно работоспособности методов расчета k_{eff}. Причина беспокойства – нет открыто опубликованных результатов критических экспериментов с ОЯТ в транспортной упаковке. Наличие экспериментальных данных о реальном облученном топливе желательно для демонстрации того, что сечения нуклидов, не наблюдаемых в свежем топливе, адекватны для предсказания величины k_{eff}, что вариации изотопного состава и их влияние на k_{eff} могут быть адекватно смоделированы, и что физика взаимодействия частиц в ОЯТ адекватно отражается в методологии анализа. Для обеспечения основ для валидации методов расчета, применяемых в ООБ упаковки, следует рассматривать достаточный объем соответствующих экспериментальных данных [VII.30 – VII.33], используя учет выгорания как базисное предположение для конструкции. Расчет стандартных задач [VII.34 – VII.36], позволяющий сравнивать независимые методы расчета и данные, также может оказывать значимую помощь в понимании технических проблем и выявлении потенциальных причин расхождения между предсказанными и измеренными данными.

VII.66. Необходимо понимание неопределенностей моделирования и параметров вместе с соответствующим включением этих неопределенностей в аналитические допущения с тем, чтобы для ООБ упаковочного комплекта было вычислено граничное значение k_{eff}, которое применяет учет выгорания. Многие из этих неопределенностей следует изучать как чть процесса валидации. Например, Дехарт [VII.24] обсуждает процедуру внедрения переменности измеренных изотопных данных в анализ измеренных данных и количество точек данных для получения "поправочного" коэффициента, который моделирует изотопный состав ОЯТ так, чтобы можно было выполнять консервативную расчетную оценку k_{eff}.

VII.67. Нуклидный состав конкретной топливной сборки в реакторе в разной степени зависит от начального содержания нуклидов, удельной мощности, истории работы реактора (включая температуру замедлителя, растворимый бор и размещение сборки в реакторе), наличия выгорающих поглотителей или управляющих стержней, времени охлаждения после выгрузки. Аналитику редко, если когда-либо вообще, известны все параметры облучения; обычно аналитик должен продемонстрировать безопасность по критичности упаковки для определенного начального обогащения, выгорания, времени охлаждения и типа сборки. Данные об удельной мощности, истории работы, осевом распределении выгорания и наличии выгорающих поглотителей должны быть отобраны так, чтобы гарантировать, что рассчитанный состав ОЯТ обеспечит консервативные оценки k_{eff}. Идентификация важных параметров истории реактора и их влияние на реактивность ОЯТ рассмотрены Дехартом [VII.24], Дехартом и Парксом [VII.37] и Боуденом [VII.38]. Аналогично Дехарт и Паркс [VII.37, VII.24] обсуждают влияние неопределенности аксиального профиля выгорания и дают информацию о деталях осевого распределения изотопов и численных входных параметрах (количество историй нейтронов и т.п.), для того, чтобы надежно предсказать значение k_{eff}.

VII.68. Использованием граничных неопределенностей в процессе валидации и в аналитических предположениях должно обеспечивать гарантию того, что для диапазона начальных обогащений, выгораний, времени охлаждения и типа сборки анализ безопасности консервативен. Для данного типа сборки и минимального времени охлаждения (реактивность уменьшается с увеличением времени охлаждения в течение первых 100 лет или около того) в ходе анализа безопасности можно получать кривую загрузки (см. рис. VII.2), показывающую область выгораний/начальных обогащений, в которой подкритичность гарантирована.

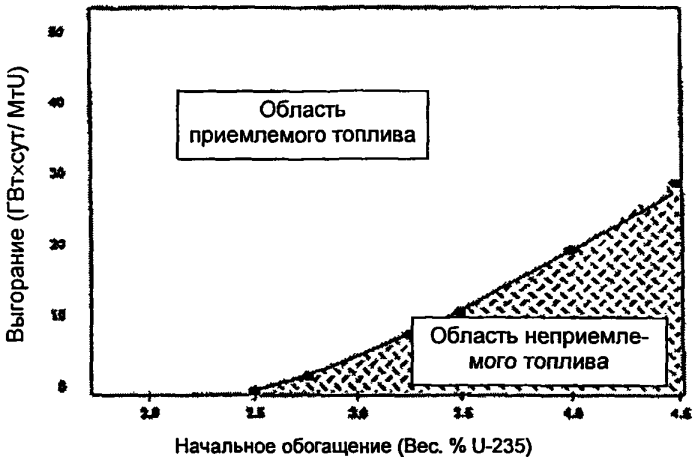


Рис. VII.2. Гипотетическая кривая загрузки

ВОПРОСЫ КОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Использование поглотителей нейтронов

VII.69. Традиционно материалы, поглощающие нейтроны, делятся на две категории: конструкционные материалы и поглотители нейтронов. Конструкционные материалы обычно гарантированно присутствуют в силу их функционального назначения. По этой причине аналитику следует гарантировать, что оценка выполнена для реальной конструкции и что будущие модификации анализируются и поступают на рассмотрение на предмет выявления потенциальных проблем критичности. С другой стороны, фиксированные поглотители нейтронов добавляются преднамеренно, специально для уменьшения нейтронной реактивности или ограничения нейтронной реактивности при ненормальных условиях. Главной проблемой при опоре на поглощение нейтронов в поглотителях (в противоположность опоре на поглощение в конструкционных материалах) является гарантирование их наличия. Поэтому всегда требуется особое внимание, чтобы обеспечивать как их присутствие, так и правильное распределение в течение срока службы упаковки. Должны рассматриваться потенциальные физические, химические и коррозионные механизмы потери поглотителей. Потеря поглотителя непосредственно вследствие поглощения нейтронов (и превращения, таким образом, в изотоп, лишенный поглощающих свойств) практически невозможна, потому что сколько-нибудь измеримое истощение потребует миллионы лет нормальной эксплуатации вследствие крайне низких потоков в подкритичной системе.

VII.70. Если необходимы поглотители нейтронов, рекомендуется внедрять их, насколько это возможно, внутрь обычных конструкционных материалов и подтверждать их наличие измерениями. Например, бор, зафиксированный в алюминиевой или стальной матрице, может использоваться как материал внутреннего контейнера (корзины) для снижения нейтронного взаимодействия между упаковками (при условии, что это приемлемо по отношению к структурным и термическим характеристикам) либо кадмий может быть нанесен на внутреннюю поверхность внутреннего контейнера. Однако подтверждение (и, возможно, повторные подтверждения с некоторой периодичностью) того, что поглотитель, в самом деле, присутствует в предписанных количествах и с надлежащим распределением, – это требование (см. пп. 501 Правил МАГАТЭ-96 (пп. 5.2.1 и 2.12.8 НП-053-04) и 502 Правил МАГАТЭ-96 (п. 5.2.2), которое должно освещаться в ООБ.

VII.71. Если подкритичность перевозки зависит от наличия поглощающих нейтроны материалов, являющихся неотъемлемой частью содержимого (например, отходы с делящимися материалами с известными поглотителями или управляющими стержнями в топливной сборке), задача доказательства, что материалы присутствуют при нормальных и аварийных условиях, представляет собой важную проблему безопасности.

Предперевозочные измерения

VII.72. Если оценка упаковки выполнена с учетом выгорания, требуется эксплуатационный административный контроль для установления того, что ОЯТ, загружаемый в упаковку соответству-

ет характеристикам, принятым при выполнении оценки безопасности. В п. 674.b) Правил МАГАТЭ-96 (п. 2.12.7.6 НП-053-04) требуется выполнение измерения, и целесообразно связывать оценку с этим измерением. В оценке следует показывать, что измерение адекватно поставленной цели, учитывая запасы по безопасности и вероятность ошибки; см. справки 2.12.7.6 C1-C4 настоящего Руководства (п.п. 674.1 – 674.4 TS-G-1.1). Методы измерения должны зависеть от вероятности ошибочной загрузки топлива и величины запаса до критичности вследствие облученности топлива.

VII.73. Пример гибкости методов измерений представляет французская практика, в которой в настоящее время используется простые измерения гамма-детектором при проверке нормы выгорания менее 5600 МВт·сут/тU, но более прямые измерения для большего выгорания [VII.39]. Для этого второго варианта измерения во Франции полагаются на два прибора, проверяющих регистрацию выгорания в реакторе на основе активного и пассивного нейтронных измерений. В США измерительный прибор, похожий на французский, был продемонстрирован Эвингом [VII.40, VII.41] как практический метод определения, находится ли сборка в пределах "приемлемого топлива" (см. рис. VII.2). Если осевой профиль выгорания идентифицируется как важная характеристика ОЯТ, на которую полагаются при выполнении анализа безопасности, то аналогичные измерительные приборы также могли бы использоваться, чтобы удостовериться, что этот профиль находится в установленных пределах.

Литература к приложению V

[VII.1] PRUVOST, N.L., PAXTON, H.C., Nuclear Criticality Safety Guide, Rep. LA-12808, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM (1996).

[VII.2] THOMAS, J.T., Ed., Nuclear Safety Guide TID-7016, Revision 2, Rep. NUREG/CR-0095 (ORNL/NUREG/CSD-6), US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1978).

[VII.3] PAXTON, H.C., PRUVOST, N.L., Critical Dimensions of Systems Containing ^{235}U, ^{239}Pu, and ^{233}U, Rep. LA-10860-MS, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM (1987).

[VII.4] JAPAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE, Nuclear Criticality Safety Handbook (English Translation), JAERI-Review-95-013, JAERI, Tokyo (1995).

[VII.5] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Nuclear Criticality Safety in Operations with Fissionable Materials Outside Reactors, ANSI/ANS-8.1-1983 (Reaffirmed 1988), American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (1983).

[VII.6] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, American National Standard for Nuclear Criticality Control of Special Actinide Elements, ANSI/ANS-8.15-1981, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (1981).

[VII.7] LANDERS, N.F., PETRIE, L.M., "Uncertainties associated with the use of the KENO Monte Carlo criticality codes", Safety Margins in Criticality Safety (Int. Top. Mtg San Francisco, 1989), American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (1989) 285.

[VII.8] FORSTER, R.A., et. al., "Analyses and visualization of MCNP criticality results", Nuclear Criticality Safety (ICNC'95) (Proc. Int. Conf. Albuquerque, 1995), Vol. 1, Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 6–160.

[VII.9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Nuclear Energy — Fissile Materials — Principles of Criticality Safety in Storing, Handling, and Processing, ISO-1709, ISO, Geneva (1995).

[VII.10] LICHTENWALTER, J.J., BOWMAN, S.M., DEHART, M.D., Criticality Benchmark Guide for Light-Water-Reactor Fuel in Transportation and Storage Packages, Rep. NUREG/CR-6361 (ORNL/TM-13211), US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1997).

[VII.11] PARKS, C.V., WRIGHT, R.W., JORDAN, W.C., Adequacy of the 123-Group Cross- Section Library for Criticality Analyses of Water-moderated Uranium Systems, Rep. NUREG/CR-6328 (ORNL/TM-12970), US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1995).

[VII.12] PARKS, C.V., JORDAN, W.C., PETRIE, L.M., WRIGHT, R.Q., Use of metal/uranium mixtures to explore data uncertainties, Trans. Am. Nucl. Soc. **73** (1995) 217.

[VII.13] KOPONEN, B.L., WILCOX, T.P., HAMPEL, V.E., Nuclear Criticality Experiments From 1943 to 1978, an Annotated Bibliography: Vol. 1, Main Listing, Rep. UCRL-52769, Vol. 1, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, CA (1979).

[VII.14] BIERMAN, S.R., Existing Experimental Criticality Data Applicable to Nuclear Fuel Transportation Systems, Rep. PNL-4118, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, WA (1983).

[VII.15] ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, Rep. NEA/NSC/DOC(95)03, Vols I–VI, OECD, Paris (1995).

[VII.16] DURST, B.M., BIERMAN, S.R., CLAYTON, E.D., Handbook of Critical Experiments Benchmarks, PNL-2700, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, WA (1978).

[VII.17] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Standard Problem Exercise on Criticality Codes for Spent LWR Fuel Transport Containers, CSNI Rep. No. 71 (Restricted), OECD, Paris (May 1982).

[VII.18] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, Standard Problem Exercise on Criticality Codes for Large Arrays of Packages of Fissile Materials, CSNI Rep. No. 78 (Restricted), OECD, Paris (August 1984).

[VII.19] JORDAN, W.C., LANDERS, N.F., PETRIE, L.M., Validation of KENO V.a —Comparison with Critical Experiments, Rep. ORNL/CSD/TM-238, Oak Ridge Natl Lab., Oak Ridge, TN (1994).

[VII.20] The 1991 International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC'91) (Proc. Conf. Oxford, 1991), 3 Vols, Oxford, UK (1991).

[VII.21] The 1995 International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC'95) (Proc. Conf. Albuquerque, 1995), 2 Vols, Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995).

[VII.22] DYER, H.R., PARKS, C.V., ODEGAARDEN, R.H., Recommendations for Preparing the Criticality Safety Evaluation of Transportation Packages, NUREG/CR-5661 (ORNL/TM-11936), US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1997).

[VII.23] BROADHEAD, B.L., DEHART, M.D., RYMAN, J.C., TANG, J.S., PARKS, C.V., Investigation of Nuclide Importance to Functional Requirements Related to Transport and Long-term Storage of LWR Spent Fuel, Rep. ORNL/TM-12742, Oak Ridge Natl Lab., Oak Ridge, TN (1995).

[VII.24] DEHART, M.D., Sensitivity and Parametric Evaluations of Significant Aspects of Burnup Credit for PWR Spent Fuel Packages, ORNL/TM-12973, Martin Marietta Energy Systems, Inc., Oak Ridge Natl Lab., Oak Ridge, TN (1996).

[VII.25] NAITO,Y., KUROSAWA, M., KANEKO, T., Data Book of the Isotopic Composition of Spent Fuel in Light Water Reactors, Rep. JAERI-M 94-034, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (1994).

[VII.26] BIERMA, S.R., TALBERT, R.J., Benchmark Data for Validating Irradiated Fuel Compositions Used in Criticality Calculations, Rep. PNL-10045, Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, WA (1994).

[VII.27] KUROSAWA,M., NAITO,Y., KANEKO, T., "Isotopic composition of spent fuels for criticality safety evaluation and isotopic composition database (SFCOMPO)", Nuclear Criticality Safety, ICNC'95 (Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 2.11–15.

[VII.28] HERMANN, O.W., BOWMAN, S.M., BRADY, M.C., PARKS, C.V., Validation of the SCALE System for PWR Spent Fuel Isotopic Composition Analyses, Rep. ORNL/TM-12667, Oak Ridge Natl Lab., Oak Ridge, TN (1995).

[VII.29] MITAKE, S., SATO, O.,YOSHIZAWA, N., "An analysis of PWR fuel post irradiation examination data for the burnup credit study", Nuclear Criticality Safety, ICNC'95 (Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 5.18–25.

[VII.30] BOWMAN, S.M., DEHART, M.D., PARKS, C.V.,Validation of SCALE-4 for burnup credit applications, Nucl. Technol. **110** (1995) 53.

[VII.31] GULLIFORD, J., HANLON, D., MURPHY, M., "Experimental validation of calculational methods and data for burnup credit", Nuclear Criticality Safety, ICNC'95 (Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995).

[VII.32] SANTAMARINA, A., et al., "Experimental validation of burnup credit calculations by reactivity worth measurements in the MINERVE Reactor", ibid., pp. 1b.19–25.

[VII.33] ANNO, J., FOUILLAUD, P., GRIVOT, P., POULLOT, G., "Description and exploitation of benchmarks involving ^{149}Sm, a fission product taking part in the burnup credit in spent fuels," ibid., pp. 5.10–17.

[VII.34] TAKANO, M., OKUNO, H., OECD/NEA Burnup Credit Criticality Benchmark, Result of Phase IIA, NEA/NSC/DOC(96)01, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (1996).

[VII.35] TAKANO, M., OECD/NEA Burnup Credit Criticality Benchmark, Result of Phase-IA, Rep. NEA/NSC/DOC(93)22, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (1994).

[VII.36] DEHART, M.D., BRADY, M.C., PARKS, C.V., OECD/NEA Burnup Credit Calculational Criticality Benchmark — Phase IB Results, Rep. NEA/NSC/DOC(96)-06 (ORNL-6901), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (1996).

[VII.37] DEHART, M.D., PARKS, C.V., "Issues Related to Criticality Safety Analysis for Burnup Credit Applications", Nuclear Criticality Safety, ICNC'95 (Proc. 5th Int. Conf., Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 1b.26–36.

[VII.38] BOWDEN, R.L., THORNE, P.R., STRAFFORD, P.I., "The methodology adopted by British Nuclear Fuels plc in claiming credit for reactor fuel burnup in criticality safety assessments", ibid., pp. 1b.3–10.

[VII.39] ZACHAR, M., PRETESACQUE, P., "Burnup credit in spent fuel transport to COGEMA La Hague reprocessing plant", Int. J. Radioact. Mater. Trans. 5 2–4 (1994) 273–278.

[VII.40] EWING, R.I., "Burnup verification measurements at US nuclear utilities using the Fork system", Nuclear Criticality Safety, ICNC'95 (Proc. 5th Int. Conf. Albuquerque, 1995), Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM (1995) 11.64–70.

[VII.41] EWING, R.I., "Application of a Burnup Verification Meter to Actinide-only Burnup Credit for

Spent PWR Fuel", Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 95 (Proc. 11th Int. Conf. Las Vegas, 1995), USDOE, Washington, DC (1995).

Приложение VI

Обеспечение качества безопасной перевозки радиоактивных материалов
(цитируется по приложению IV руководства МАГАТЭ TS-G-1.1)

ВВЕДЕНИЕ

Общие аспекты

IV.1. Целью Правил является достижение безопасности населения и персонала при перевозке радиоактивных материалов за счет выполнения эффективных программ обеспечения качества и программ обеспечения соблюдения Правил.

IV.2. Это приложение основано на опыте и требованиях ряда признанных на международном уровне норм и стандартов по обеспечению качества, включая документы МАГАТЭ, Серия изданий по безопасности № 50-C/SG-Q 1996 [IV.1], и ИСО, стандарты ИСО 9001 (1994) [IV.2]; дополнительные рекомендации и вспомогательные примеры содержатся в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3]. Ожидается, что работники промышленности, использующей радиоактивные материалы, будет применять это приложение при разработке программ обеспечения качества, поскольку оно сфокусировано на их нуждах по соответствующему обеспечению качества в данной области. Предыдущая версия этого приложения, хотя и не предназначалась служить в качестве «норм» по обеспечению качества, была широко распространена и принята многими государствами-членами МАГАТЭ и промышленностью, поскольку в нем были рассмотрены важные принципы обеспечения качества специально в отношении перевозок.

IV.3. Организациям, не имеющим программы обеспечения качества или имеющим программы обеспечения качества, основанные на структуре Правил МАГАТЭ издания 1985 г., следует предпринять усилия для разработки программы транспортной деятельности в соответствии со структурой, представленной в этом приложении. С опорой на документ МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3] данное приложение представляет принципы и цели, которые должны быть приняты как при разработке удовлетворительной общей программы обеспечения качества исключительно для перевозки РМ, так и при разработке дополнений к существующей программе обеспечения качества с целью охвата конкретно тех сторон ответственности организации, которые относятся к перевозкам, частым или редким, радиоактивных материалов. В каждом случае принципы для каждого типа программы одни и те же, и они направлены на обеспечение того, что все требования, применимые к упаковке и перевозке, соблюдены соответствующим образом, и что это можно продемонстрировать компетентному органу в любое время в течение срока службы упаковки.

IV.4. Принципы обеспечения качества, описанные в этом приложении, могут во многих случаях применяться одной или большим количеством организаций в зависимости от организации дела в соответствующих государствах-членах МАГАТЭ. Такие вариации возможны вследствие различающихся национальных регулирующих требований, общей организации промышленности и степени сложности и опыта технических организаций, вовлеченных в перевозки радиоактивных материалов. В любом случае следует все время держать в поле зрения основной смысл принципов и организовывать соответствующим образом детальные процедуры их реализации.

IV.5. Программы обеспечения качества требуются для всех упаковок с радиоактивными материалами и операций с ними, а не только для тех, которые являются предметом утверждения компетентного органа. При выдаче сертификата об утверждении Правилами МАГАТЭ требуется, чтобы компетентный орган включал ссылку на применяемую программу обеспечения качества в этот сертификат. Программы обеспечения качества, касающиеся материалов и упаковок, утверждаемых компетентным органом, следует делать предметом анализа и аудита со стороны компетентного органа. Аналогично программы обеспечения качества, охватывающие упаковки для перевозки радиоактивных материалов и операции, не подлежащие утверждению компетентным органом, также следует делать предметом анализа и аудита со стороны ответственной организации. Всем вовлеченным организациям следует оказывать необходимую помощь компетентному органу и его представителям в этой работе.

IV.6. При пересмотре более ранней редакции приложения IV раздел "Контроль за использованием упаковок и уход за ними" был изъят, и более подходящие части элементов программы обеспечения качества были откорректированы, чтобы охватить важные проблемы. Благодаря этому значительному изменению данное издание приложения в большой степени соответствует стандартам обеспечения качества, используемым в мире.

IV.7. Проект этого приложения был подготовлен в 1996 г. на основе действовавших в то

время стандартов и имевшейся справочной информации о обеспечении качества. Поскольку обеспечение качества развивается и подобные стандарты эволюционируют, то рекомендации приложения следует рассматривать с учетом такого развития в части определений и практики обеспечения качества.

Область применения

IV.8. Программы обеспечения качества следует разрабатывать для проектирования, изготовления, испытания, документирования, применения, обслуживания и инспектирования РМ особого вида, радиоактивных материалов с низкой способностью к рассеянию и упаковок, а также для операций по перевозке и хранению в процессе перевозки, для оценки безопасности с целью обеспечения соблюдения необходимых положений Правил МАГАТЭ, вне зависимости от того, требуется ли утверждение компетентного органа для конструкции или перевозки. Следует охватывать все виды деятельности, такие как очистка, сборка, испытание, ввод в эксплуатацию, инспектирование, обслуживание, ремонт, погрузка, перевозка, разгрузка, модификация и дезактивация.

IV.9. Принципы и цели применимы ко всем, кто несет ответственность за перевозку радиоактивных материалов, а также к иным организациям, участвующим в деятельности, влияющей на качество.

Ответственность

IV.10. Общая ответственность за разработку и применение программ обеспечения качества возлагается на грузоотправителя, перевозчика или лицензиата (заявителя) на получение утверждения со стороны компетентного органа (по применимости). Некоторые обязанности могут делегироваться другим организациям или лицам в пределах ответственности вышеупомянутых сторон.

IV.11. Если согласно конкретной национальной практике явно определить одну ответственную сторону или организацию невозможно, то составные части и разделение работ по общей программе обеспечения качества и их взаимодействие должны быть ясно осмыслены, документированы и согласованы всеми сторонами, включая, если необходимо, компетентный орган.

Обеспечение качества – Базовые элементы

IV.12. Этот раздел знакомит с различными элементами программы обеспечения качества (ОК), перечисленными в табл. IV.1, которые должны обеспечивать соблюдение применяемых норм и регулирующих требований. Следует подчеркнуть, что в зависимости от природы деятельности, осуществляемой ответственной организацией, не все элементы, перечисленные в таблице, будут уместны в каждом случае. Однако существуют определенные минимальные требования в отношении элементов ОК, которые должны рассматриваться в любой программе ОК в зависимости от типа организации и ее транспортной деятельности; детали по этому вопросу даны в табл. I документа МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3]. В некоторых государствах-членах МАГАТЭ программы обеспечения качества рассматриваются как системы обеспечения качества или системы качества.

IV.13. Разработка, внедрение и выполнение программы ОК является первичной ответственностью руководства (менеджмента) любой организации. Общую программу обеспечения качества следует разрабатывать так, чтобы она соответствовала требованиям этого приложения и охватывала различные аспекты безопасной перевозки радиоактивных материалов, например, упаковочные комплекты, упаковывание, обращение, хранение и обучение персонала. Программу следует составлять согласно степени сложности упаковки, ее содержимому и компонентам или фактической транспортной операции. Степень опасности, связанная с содержимым, которое может перевозиться, вместе со ступенчатой системой мер (системой градации) обеспечения качества также должны влиять на разработку программы. Дальнейшее руководство по «ступенчатому подходу» (градационный подход) дано в приложении к документу МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3]. Следует идентифицировать элементы, действия и процессы, к которым относится программа обеспечения качества, и устанавливать для них соответствующие методы и уровни контроля и проверки согласно степени их важности для безопасности.

IV.14. Программа ОК должна не только предусматривать работы, направленные на то, чтобы безопасная перевозка радиоактивных материалов осуществлялась с гарантированным качеством, но и также включать необходимые управленческие меры по контролю и поддержанию программы.

IV.15. Все программы должны гарантировать, что вся деятельность, влияющая на качество, осуществляется в соответствии с документированными мерами, инструкциями или чертежами

сообразно обстоятельствам, и что имеются количественные и(или) качественные критерии для определения того, что важные действия выполнятся удовлетворительно.

IV.16. Организации, осуществляющие составную часть общей деятельности, должны разрабатывать и документировать процедуры по выполнению программ обеспечения качества на плановой и систематической основе. Все разработанные меры (см. пп. IV.2 – IV.15) следует надлежащим образом документировать и предпринимать шаги по обеспечению того, что лица, выполняющие функцию обеспечения качества, имеют достаточное знание языка которым написана программа. Переводы документации на другие языки следует верифицировать по отношению к оригиналу силами компетентных специалистов.

IV.17. Программу обеспечения качества следует подвергать регулярным инспекциям со стороны администрации относительно деятельности, за которую она несет ответственность. Следует включать меры по исправлению любых обнаруженных недостатков или внедрению рекомендованных модернизаций.

Базовые элементы программ обеспечения качества, которые следует рассматривать и применять для безопасной перевозки радиоактивных материалов

Программа ОК
Организация
Контроль документов
Контроль за проектом
Контроль за поставками
Контроль материалов
Контроль процессов
Контроль инспекций и испытаний
Контроль несоответствия
Корректирующие действия
Записи
Обучение персонала
Обслуживание
Аудит

ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

Организация и структура программы обеспечения качества

IV.18. Программа обеспечения качества должна быть указана в документе, описывающем структуру и общий состав программы качества. В документ следует включать или давать ссылку на необходимые процедуры и(или) инструкции и описывать, как они взаимодействуют для образования общей программы качества. В программе следует охватывать всю деятельность компании, относящуюся к безопасной перевозке радиоактивных материалов и соблюдению Правил.

IV.19. В программу обеспечения качества должно быть включено заявление компании о политике в отношении качества, отражающее приверженность высшего руководства компании делу достижения и постоянного повышения качества, и соблюдения применимых правил.

Документирование программы обеспечения качества

IV.20. Все составляющие чти программы обеспечения качества, разрабатываемые и выполняемые компанией, следует систематически воспроизводить в виде соответствующих документов.

IV.21. Документацию программы обеспечения качества следует структурировать так, чтобы она соответствовала структуре и степени сложности компании, выполняемым работам и была легко понимаема пользователями.

Анализ и оценка программы обеспечения качества

IV.22. Руководство компании должно принимать меры по периодическому анализу и оценке программы обеспечения качества. Анализ следует нацеливать на удостоверение того, что программа продолжает быть эффективной и соответствующей деятельности компании и что цели политики в отношении качества продолжают достигаться. Результаты такого анализа следует документировать и предпринимать соответствующие действия со стороны руководства компании.

ОРГАНИЗАЦИЯ

Ответственность и полномочия

IV.23. Следует устанавливать ясно определенную и документированную организационную структуру, с полной функциональной ответственностью, уровнями полномочий и линиями внутренних и внешних связей. Организационная структура и функциональные обязанности должны предусматривать, что ответственность за применение программы обеспечения качества несет руководство (менеджмент) компании, связанное с выполнением работ, а также с проверкой эффективности соответствующего процесса управления. Это обязанность всех, а не сфера интересов отдельной группы. Организационная структура и распределение функций должны быть такими, чтобы:

(a) Достижение целей в области качества осуществлялось теми, на кого возложена ответственность за выполнение работы; это может включать обследование, проверки и инспектирование работы лицами, выполняющими работу;

(b) При необходимости проверки соблюдения установленных требований эта проверка выполнялась теми, кто не несет непосредственной ответственности за выполнение данной работы.

IV.24. Лицам и организациям, обеспечивающим разработку и эффективное выполнение программы обеспечения качества, следует предоставлять достаточные полномочия и организационную свободу для того, чтобы выявлять проблемы в области качества, изучать всю необходимую информацию, инициировать, рекомендовать или принимать решения. Таким лицам или организациям следует также предоставлять полномочия для инициирования действий по контролю дальнейшего производства, поставок, установки или использования элемента, блока, процесса или части программы обеспечения качества, которые не соответствуют требованиям, имеют дефекты или являются неудовлетворительными, до тех пор, пока не будет достигнуто должное соответствие. Эти лица должны быть достаточно независимы в отношении затрат и графиков работ.

Анализ контрактов

IV.25. Следует устанавливать документированные процедуры для обеспечения того, что контракты, заказы или тендеры размещались между теми участвующими в перевозке организациями, которые проверены на соответствие и надежность; любые последующие изменения следует оценивать аналогичным образом и доводить до соответствующих частей заинтересованных организаций.

Организационное взаимодействие

IV.26. Программа обеспечения качества и соответствующие процедуры должны предусматривать документированное определение и контроль взаимодействия (внутреннего и внешнего), где бы оно не имело место.

IV.27. Если к выполнению транспортной операции привлечено несколько организаций, следует ясно устанавливать ответственность каждой из них и обеспечивать взаимодействие и координацию между ними путем реализации соответствующих мер с возможностью регулярного анализа и корректировки, когда это необходимо.

КОНТРОЛЬ ДОКУМЕНТОВ

Подготовка, анализ и утверждение документов

IV.28. Следует контролировать подготовку, анализ, утверждение и издание документов, важных для выполнения и проверки работ, таких как инструкции, процедуры и чертежи (они могут храниться как бумажные копии или на иных носителях, таких как компьютерные диски или микрофильмы), касающиеся всех видов деятельности, влияющих на качество: проектирование, изготовление, использование упаковочных комплектов и т.д., а также транспортные операции. В инструкции, процедуры и чертежи следует включать соответствующие количественные и качественные критерии приемлемости для определения того, что важные виды деятельности были выполнены удовлетворительным образом. Документы следует подвергать независимому (от их разработчиков) анализу, чтобы убедиться, что они соответствуют требованиям компании в отношении технических аспектов и качества, и утверждать их перед выпуском. Следует ясно определять и наделять необходимыми полномочиями лица и организации, ответственные за анализ и утверждение документов.

Выпуск и распространение документов

IV.29. Следует принимать меры к тому, чтобы участники деятельности были осведомлены о соответствующих новейших документах и использовали их для выполнения своих действий.

IV.30. Следует создавать систему выпуска и распространения документов, чтобы сделать документы легко доступными, путем использования списков рассылки или иных методов, соответствующих степени сложности компании и ее деятельности.

Контроль за изменениями в документах

IV.31. Изменения в документах должны идентифицироваться и регистрироваться, должны быть предметом анализа и утверждения, в соответствии с документированными процедурами, со стороны лиц, выполнявших анализ и утверждение исходного документа, или иными назначенными лицами или организациями, имеющими доступ к необходимой информации. Следует немедленно и своевременно распространять пересмотренные документы и информировать об их статусе. Следует предпринимать усилия для того, чтобы устаревшие документы были уничтожены или четко обозначены как таковые, чтобы исключать их дальнейшее использование. При необходимости следует создавать архив исходных документов, чтобы сохранить историю их разработки и обеспечить возможность слежения за их модификацией; эти документы следует помечать как устаревшие для предотвращения дальнейшего использования.

КОНТРОЛЬ ЗА ПРОЕКТОМ

Общие положения

IV.32. Следует разрабатывать и документировать меры контроля за проектом (проектированием) для обеспечения того, чтобы все проектные требования были выявлены, определены и реализованы в окончательном проекте.

IV.33. Если в процесс проектирования вовлечено более одной организации, следует определять и документировать соответствующее взаимодействие и ответственность для обеспечения необходимого контроля за проектом (см. также п. IV.25).

Планирование проекта

IV.34. Организации, ответственной за процесс проектирования, следует разрабатывать и периодически анализировать соответствующие планы деятельности по проектированию, определяя ответственность, персонал и необходимые ресурсы.

Входные проектные данные

IV.35. Входные проектные данные, такие как регулирующие требования, требования к качеству, основы проекта, коды, нормы, спецификации, чертежи, результаты рассмотрения контрактов и т.п., следует определять, документировать и периодически анализировать, чтобы добиться их достаточности для конечной конструкции. В них следует включать (по мере необходимости) количественные и качественные критерии приемлемости.

IV.36. Следует также принимать меры по отбору и изучению пригодности материалов, деталей, оборудования и процессов, важных для работоспособности упаковок, узлов, систем или компонентов, относительно условий их работы.

Выходные проектные данные

IV.37. Выходные проектные данные конструкции, как окончательный продукт процесса проектирования, должны заноситься в документы, чтобы продемонстрировать соответствие проекта согласованным входным проектным требованиям и установленным критериям приемлемости. Они должны подвергаться анализу и одобрению (утверждению) со стороны определенного уровня руководства компании или организации, ответственной за проект. Документация по выходным проектным данным может включать чертежи, спецификации, инструкции по эксплуатации и обслуживанию, и т.п. и может быть в виде бумажных копий, электронных данных или ином приемлемом виде. Другие стороны, такие как конечный пользователь, заказчик, изготовитель или регулирующий орган, могут высказывать замечания по выходным проектным данным и влиять на их окончательное утверждение.

Верификация и валидация проекта

IV.38. Следует разрабатывать и документировать меры контроля для верификации адекватности проекта путем проведения его анализа. Анализы проекта и верификация могут сопровождаться и основываться на использовании альтернативных методов расчета или выполнении соответствующей программы испытаний согласно требованиям Правил МАГАТЭ, по применимости.

IV.39. В процесс верификации и анализа проекта следует вовлекать все функциональные подразделения или персонал, имеющий отношение к качеству окончательного проекта или рассматриваемой стадии проектирования.

IV.40. Деятельность по валидации проекта должна осуществляться как необходимая для подтверждения того, что конечный продукт, упаковочный комплект или услуга соответствуют требованиям конечного пользователя. Это можно делать путем проведения пусковых испытаний, пробной эксплуатации или сходными методами.

IV.41. Результаты всей деятельности по проектированию следует соответствующим обра-

зом регистрировать для демонстрации результатов контроля в ходе проектирования и подтверждения того, что окончательный проект удовлетворяет всем требованиям.

Изменения проекта

IV.42. Следует устанавливать процедуру для эффективного осуществления изменений проекта, включая изменения или модификации в процессе эксплуатации, путем, совместимым с мерами контроля исходного проекта. Изменения проекта следует согласовывать с теми же организациями/должностями, что и первоначальный проект, или с технически квалифицированными заместителями. Следует тщательно рассматривать всестороннее влияние изменений и регистрировать потребности, обоснования и требуемые действия. Письменную информацию об изменениях следует систематически и своевременно рассылать всем заинтересованным лицам и организациям.

КОНТРОЛЬ ЗА ПОСТАВКАМИ

Общие положения

IV.43. Меры контроля за поставками следует документировать и обеспечивать, чтобы поставляемые изделия и услуги удовлетворяли определенным требованиям и критериям работоспособности.

IV.44. Изделия и услуги могут иметь различный уровень качества в зависимости от важности и влияния на безопасность. При поставках таких изделий и услуг может использоваться ступенчатый подход к качеству, как описано в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3].

Оценка и выбор поставщика

IV.45. С помощью процедур оценки поставщиков, как части процесса поставки, следует обеспечивать, чтобы отбирались и использовались только достаточно квалифицированные поставщики. Отбор поставщиков следует выполнять на основе оценки и документации их способности поставлять изделия или услуги в соответствии с требованиями документов по поставке, при этом следует принимать во внимание тип продукта и его влияние на качество конечного продукта или услуги. Следует проводить соответствующую регистрацию оценки и отбора поставщиков.

Данные по закупкам

IV.46. В документацию по закупкам следует включать данные, четко описывающие затребованный продукт или услугу; такие документы следует подвергать анализу и утверждению перед их выпуском. Эти данные могут включать ссылки на соответствующие регулирующие требования, нормы или правила, чертежи, спецификации, требования к качеству и иные требования (по необходимости).

Верификация закупок

IV.47. Следует предусматривать меры по верификации закупок, обеспечивающие согласие между поставщиком и покупателем в отношении методов, используемых для подтверждения удовлетворения всех требований по закупке. Если верификация закупаемых продуктов будет выполняться на территории субподрядчика, в закупочных документах следует четко определять мероприятия по верификации. Поставщику, компетентному органу (если необходимо) или их представителям следует обеспечивать доступ к промышленным предприятиям, изделиям, материалам и регистрационным документам для проведения инспекции и аудита и направлять соответствующие регистрационные документы по запросу для анализа и утверждения. Эти регистрационные документы следует сохранять в течение необходимого времени.

IV.48. Верификация того, что приобретаемый продукт соответствует требованиям, является первичной ответственностью поставщика. При покупке упаковочного комплекта покупатель должен получать соответствующее документированное подтверждение того, что упаковочный комплект спроектирован, изготовлен и испытан так, что удовлетворяет установленным требованиям, и что на всех стадиях применялись соответствующие национальные или международные стандарты обеспечения качества. Если заказчик, конечный пользователь или компетентный орган осуществляют верификацию продукта на территории субподрядчика или поставщика, результаты этой верификации не должны заменять обязанности поставщика по эффективному контролю.

Материалы, поставляемые покупателем

IV.49. Следует устанавливать документированную процедуру для обеспечения того, что любой материал или оборудование, поставляемые покупателям для использования в конечном продукте или услуге, должным образом защищены и контролируются поставщиком.

КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ

IV.50. Следует разрабатывать и документировать меры по идентификации и контролю упаковочных комплектов, содержимому упаковок, соответствующего транспортного оборудования, материалов и компонентов; этими мерами следует охватывать все соответствующие фазы перевозки, включая полный производственный процесс, обращение, перемещение, погрузку, маркировку и отправку, перевозку, получение, техническое обслуживание и текущий ремонт, складирование и т.д.

IV.51. Похожие меры следует предусматривать для отслеживания груза в процессе транспортного цикла, а также для предотвращения его повреждения, порчи, потери или использования материалов с просроченными сроками службы. Следует записывать операции по идентификации и отслеживанию перемещения групп или, если необходимо, отдельных единиц.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ

Общие положения

IV.52. Все процессы в ходе проектирования, изготовления, использования или обслуживания следует подвергать документированной процедуре контроля. Контроль следует разрабатывать там, где отсутствие подобной процедуры может отрицательно влиять на качество или где требуемое качество не может быть проверено последующим после завершения процесса исследованием. В этих процедурах контроля следует определять или давать ссылки в отношении обучения и квалификации персонала. Если процессы верифицируются статистической выборкой или аналогичным методом, применять этот метод следует в соответствии с документированными процедурами.

Контроль процессов – перевозка

IV.53. Контроль транспортных операций как процесса, следует выполнять по документированной процедуре или планам качества. Этими процедурами следует охватывать (по необходимости) идентификацию и контроль содержимого, упаковывание, обращение, нанесение этикеток, отправку, перевозку, получение, очистку, складирование, обслуживание и текущий ремонт и т.п., а также любой специальный контроль процессов, включая контроль утечки и уровней излучения и загрязнения относительно материала упаковки. Этими мерами следует также определять необходимое взаимодействие и его контроль, предотвращать повреждение, порчу или утерю содержимого и обеспечивать подтверждение соблюдения соответствующих правил для упаковок или партий груза.

IV.54. Пример плана качества для контроля транспортных операций можно найти в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3].

Специальные процессы

IV.55. Процессы, влияющие на качество конечного продукта или услуги, когда требуемое качество не может быть верифицировано только постпроцессным обследованием, и для которых необходима предварительная квалификация процесса, например сварка или термическая обработка, следует контролировать в соответствии с документированными процедурами. В таких процедурах следует ссылаться на соответствующие коды, нормы, спецификации или специализированные требования. Где указано, следует предпринимать меры, гарантирующие осуществление этих процессов квалифицированным персоналом, в соответствии с документированными процедурами и с использованием аттестованного оборудования.

КОНТРОЛЬ ИНСПЕКЦИЙ И ИСПЫТАНИЙ

Общие положения

IV.56. Следует предусматривать документированные процедуры для инспекций в процессе, по его окончании и в ходе эксплуатации, проводимые на всех фазах испытания, производства, перевозки и технического обслуживания, на предмет соответствия установленным требованиям. В этих процедурах следует предусматривать меры по обеспечению калибровки, настройки и обслуживанию используемого измерительного и испытательного оборудования в необходимых интервалах.

IV.57. Состояние упаковочных комплектов и их частей в ходе испытаний и инспекций следует идентифицировать, используя маркировки, печати, бирки, ярлыки, маршрутные карты, инспекционные записи, заглушки безопасности или иные средства, подходящие для обозначения пригодности или несоответствия изделий. Идентификацию состояния в ходе испытаний и инспекций следует проводить (по мере необходимости) на этапах изготовления, использования, обслуживания и текущего ремонта изделия, чтобы гарантировать, что используются только изделия, удовлетворяющие установленным требованиям.

Программа инспекции

IV.58. Следует планировать и проводить приемочные инспекции, инспекции в процессе и завершающие инспекции для проверики соответствия требованиям, определенным в правилах, нормах, проектных и технологических документах, процедурах перевозки, обслуживания, текущего ремонта и эксплуатации, инструкциях, соответствующих планах качества и т.д. Важные критерии, которые должны включаться в состав мероприятий для таких инспекций, можно найти в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3].

Программа испытаний

IV.59. Все испытания, необходимые для демонстрации того, что упаковка и ее компоненты будут удовлетворительно работать при длительной эксплуатации, следует выполнять в соответствии с документированными процедурами. Такие испытания могут включать испытания прототипов, квалификационные и лицензионные испытания, испытания в процессе производства, обслуживания и текущего ремонта и т.д. Эти процедуры, включающие требования и критерии приемлемости, указанные в проектной документации, следует выполнять силами обученного персонала, использующего должным образом калиброванные приборы и оборудование. Все результаты испытаний следует регистрировать и оценивать для подтверждения того, что определенные требования выполнены.

Калибровка и контроль измерительного и испытательного оборудования

IV.60. С помощью документированных мер следует обеспечивать, что инструменты, датчики, измерительные приборы, программное обеспечение испытаний и иное оборудование для инспекций, измерений и испытаний, а также другие приборы, используемые при определении соответствия критериям приемлемости, имеют соответствующие диапазон, тип, погрешности и точность. Они должны соответствующим образом обслуживаться и храниться, контролироваться, калиброваться и настраиваться с указанной периодичностью для поддержания их надежности. Следует проводить регистрацию калибровки, позволяющую прослеживать качество измерений и соответствие, если необходимо, национальным и международным стандартам. Если обнаруживаются отклонения за предписанные пределы, следует выполнять оценку достоверности предыдущих измерений и испытаний, и пригодность испытанных изделий должна быть переоценена.

КОНТРОЛЬ НЕСООТВЕТСТВИЯ

IV.61. С помощью документированных мер следует выявлять элементы, такие как упаковочные комплекты, содержимое упаковок, обслуживание и процессы, не удовлетворяющие требованиям, чтобы предотвращать их случайное использование до или во время перевозки. Этими мерами следует также обеспечивать, что несоответствующие изделия будут идентифицированы маркировкой, ярлыками и(или), по возможности, физическим разделением для контроля дальнейшей обработки, доставки или сборки. Такие изделия следует анализировать и изымать, модифицировать, ремонтировать, перерабатывать или принимать без модификации. Ответственность за анализ и принятие решений по изъятию или продолжению использования несоответствующих изделий должна быть определена.

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ

IV.62. Следует устанавливать документированные процедуры для корректирующих и превентивных мер, гарантирующих, что условия, неблагоприятные для качества, такие как отказы, неисправная работа, недостатки, отклонения, дефектные или несоответствующие материалы и оборудование, и любые иные несоответствия, быстро выявляются, корректируются и исключаются из применения. В таких процедурах следует предусматривать:

- исследование и выявление коренных причин несоответствия и корректирующих действий, необходимых для исключения их повторного появления;
- обработку рекламаций заказчика, надзорного органа и др. и соответствующие меры или корректирующее действие;
- элементы контроля для обеспечения того, что корректирующие меры быстро предприняты и эффективны;
- определение потенциальных потерь качества и необходимых превентивных действий.

IV.63. Отчеты о корректирующих и превентивных действиях следует документировать и представлять руководству соответствующего уровня для поддержки анализа управления и обеспечения административной экспертизы и повышения качества.

ЗАПИСИ

IV.64. Следует устанавливать документированную процедуру идентификации, сбора, индексации, занесения в архивы, хранения, обслуживания, исправления и уничтожения документации и записей, относящихся к качеству. В записях следует демонстрировать, что продукт или услуга соответствовала установленным требованиям и что программа обеспечения качества работает эффективно. Такие записи следует сохранять в течение определенного периода времени, обеспечивать их легкий поиск и хорошие условия хранения. Они могут быть в виде бумажной копии, электронных данных или в другом приемлемом виде.

IV.65. Следует организовывать и поддерживать записи по упаковочным комплектам с радиоактивными материалами, чтобы регистрировать полный жизненный цикл таких упаковок, включая их изготовление, эксплуатацию и обслуживание (текущий ремонт).

IV.66. Дальнейшее руководство и примеры того, что может входить в общие или относящиеся к упаковке записи по качеству, можно найти в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3].

ПЕРСОНАЛ И ОБУЧЕНИЕ

IV.67. Весь персонал, ответственный за выполнение действий, влияющих на качество, должен быть надлежащим образом обучен и квалифицирован в части выполнения назначенных заданий.

IV.68. Следует предусматривать документированные процедуры для выявления необходимости обучения и программ обучения, включая (при необходимости) квалификационное обучение специалистов; следует поддерживать записи об обучении.

ОБСЛУЖИВАНИЕ

IV.69. Следует разрабатывать документированные меры по контролю всех действий по обслуживанию и текущему ремонту упаковочных комплектов, транспортного оборудования и иных элементов для обеспечения постоянного соответствия установленным требованиям. Графики обслуживания и текущего ремонта следует основывать на данных о конструкции и опыте, и, кроме того, следует учитывать нормальные или тяжелые условия работы. Следует разрабатывать меры по определению установленных требований, по подтверждению того, что они выполнены, и по ведению соответствующих записей.

АУДИТ

IV.70. Документированные процедуры должны обеспечивать, чтобы на регулярной основе проводился внутренний аудит для проверки соответствия в отношении соответствия всех аспектов программы обеспечения качества и для подтверждения сохранения ее эффективности. Аналогично при выполнении внешних аудитов для верификации качества у поставщиков, эти аудиты следует планировать и выполнять в соответствии с письменно установленными процедурами. Аудиты следует выполнять силами квалифицированного персонала, подобранного так, чтобы он был независим от деятельности, подверженной аудиту.

IV.71. Документированные результаты аудита следует предоставлять на рассмотрение управленческого персонала, ответственного за проверяемую деятельность. Соответствующее руководство компании должно предпринимать своевременные действия по совершенствованию или корректировке в ответ на выводы аудита. Следует выполнять верификацию и записи эффективных применяемых корректирующих действий.

IV.72. Дальнейшие руководства по различными аспектам аудита, таким как: элементы программы аудита, графики аудита, отбор группы аудиторов, предварительное и заключительное совещание, отчетность и отклик, а также последующие действия, можно найти в документе МАГАТЭ Серия изданий по безопасности № 113 [IV.3]*.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМИНОВ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ

IV.73. В приложении используются следующие термины из документа МАГАТЭ Серия из-

---

* Документ Серия изданий по безопасности № 113 издан МАГАТЭ только на английском языке. Устоявшейся терминологии по качеству на русском языке в рамках документов МАГАТЭ также не достигнуто. Поэтому в переводе данного Справочного материала для Приложения IV в основном используются русскоязычные термины из документов по качеству ИСО. Тем не менее, в некоторых случаях используются русскоязычные термины по качеству из других документов МАГАЭ. (Примечание редактора русского перевода.)

даний по безопасности № 113 [IV.3]: заявитель, оценка, аудит, контролируемый документ, корректирующее действие, входные проектные данные, выходные проектные данные, освидетельствование, инспекция, изделие, текущий ремонт(обслуживание), измерительное и испытательное оборудование, несоответствие, объективное свидетельство, процедура, закупочный документ, квалификация, качество, элементы качества, программа обеспечения качества, план качества, ремонт, обслуживание, спецификация, поставщик, отслеживаемость, пользователь, верификация.

IV.74. Следующие определения предназначены для пояснения интерпретации терминов, использованных только в приложении:

Сертификация – акт определения, верификации и аттестации в письменной форме в отношении квалификации персонала, процессов, процедур, или изделий в соответствии с установленными требованиями.

Документация – письменная или графическая информация, содержащая описания, определения, спецификации, отчетных или сертифицирующих действий, требований, процедур или результатов, относящихся к обеспечению качества.

Журнал записей – документ, содержащий справки по истории и состоянию упаковочных комплектов.

Квалифицированное лицо – лицо, которое, имея соответствие определенным требованиям и удовлетворяющее определенным условиям, было официально назначено выполнять определенные обязанности и нести ответственность.

Записи – документы, содержащие объективное свидетельство по качеству изделий или услуг, а также о действиях, влияющих на качество, с помощью которых можно определять удовлетворяются ли установленные требования.

Ответственная организация – организация(сторона или лицо), несущее общую ответственность за один или более видов деятельности по перевозке (например, утверждение, изготовление, перевозка, хранение в пути).

Транспорт – все операции и условия, связанные с или вовлеченные в перемещение радиоактивных материалов; сюда входят проектирование, изготовление, обслуживание и ремонт упаковочных комплектов, а также подготовка, отправка, погрузка, перевозка, включая хранение в пути, выгрузка и получение в пункте назначения груза радиоактивных материалов и упаковок.

Литература к приложению VI

[IV.1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and other Nuclear Installations, Safety Series No. 50-C/SG-Q, IAEA, Vienna (1996).

[IV.2] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Systems – Model for Quality Assurance in Design Development, Production, Installation and Servicing, ISO 9001-1994(E), ISO, Geneva (1994).

[IV.3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Series No. 113, IAEA, Vienna (1994).

Таблица соответствия пунктов Правил НП-053-04 и Правил МАГАТЭ-96 (ST-1)

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
1, 2	201
3	–
4	227
5	222
6	218
7	221
8	–
9	224
10	228
11	226
12	244
13	245
14	214
15	246
16	246
17	241
18	246
19	234
20	
21	239
22	225
23	214
24	235
25	236
26	242
27	–
28	213
29	215
30	219
31	238
32	229
33	243
34	240
35	240
36	230
37	231
38	233
39	–
40	–
1.1.1	101, 104, 108
1.1.2	106
1.1.3	107, 108
1.1.4	108
1.1.5	–
1.2.1	302 - 306
1.2.2	302
1.2.3	303, 305
1.2.4	307
1.2.5	308, 309
1.2.6	310
1.2.7	312
1.2.8	109
1.3.1	106
1.3.2	230
1.3.3	407 - 419

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
2.1	601
2.2.1	602
2.2.2	603
2.2.3	604
2.3.1	605
2.4.1	606
2.4.2	607
2.4.3	608
2.4.4	609, 610
2.4.5	611
2.4.6	612
Табл. 2.1	–
2.4.7	613
2.4.8	614
2.4.9	616
2.4.10	407 - 419
2.4.11	617 - 619
2.5.1	620
2.6.1	621
2.6.2	622
2.6.3	623
2.6.4	625
2.6.5	626
2.6.6	627
2.6.7	628
2.7.1	629
2.7.2	630
2.7.3	631
2.7.4	632
2.8.1	633
2.8.2	634
2.8.3	635
2.8.4	636
2.8.5	637
2.8.6	639
2.8.7	640
2.8.8	641
2.8.9	642
2.8.10	643
2.8.11	644
2.8.12	646
2.8.13	645
2.8.14	638
2.8.15	647
2.8.16	648
2.8.17	649
2.9.1	650
2.9.2	656(b i))
2.9.3	651
2.9.4	655
2.9.5	656(a), (b ii))
2.9.6	658
2.9.7	659

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
2.9.8	660
2.9.9	661
2.9.10	662
2.9.11	664, 654
Табл. 2.2	Табл. XI
2.9.12	657
2.9.13	663
2.10.1	665
2.10.2	666
2.11.1	667
2.11.2	668
2.11.3	669
2.11.4	670
2.12.1	671, 672
2.12.2	672
Табл. 2.3	Табл. XII
2.12.3	671(a)
2.12.4	679 - 681
2.12.5	675
2.12.6	676
2.12.7	673, 674, 677-679
2.12.8	501(c), 671
2.12.9	–
2.12.10	528, 681, 682
2.12.11	680
2.12.12	681, 682
3.1.1	701
3.1.2	702
3.1.3	–
3.1.4	717
3.2.1	703
3.3.1	704
3.3.2	704
3.3.3	704
3.3.4	705
3.3.5	706
3.3.6	707
3.3.7	708
3.3.8	709
3.3.9	710
3.3.10	711
3.3.11	712
3.4.1	713 - 716
3.4.2.1	719
3.4.2.2	720
3.4.2.3	721
3.4.2.4	722
Табл. 3.1	Табл. XIII
3.4.2.5	723
3.4.2.6	724
3.4.3	725
3.4.4.1	726
3.4.4.2	727
3.4.4.3	728

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
3.4.4.4	729
3.4.4.5	730
3.4.5.1	731
3.4.5.2	732
3.4.5.3	733
3.4.6.1	734
3.4.6.2	735
3.4.6.3	736
3.4.6.4	737
3.5.1	718
4.1.1	802, 827
4.1.2	–
4.2.1	827
4.2.2	828(a, b)
4.2.3	828(c, d)
4.2.4	829(a, b)
4.2.5	829(c, e)
4.2.6	829(d)
4.2.7	–
4.2.8	–
4.3.1	818
4.3.2	815
4.3.3	816, 817
5.1.1	–
5.1.2	103, 109, 507
5.1.3	106, 512, 513, 562
5.1.4	506,
5.1.5	–
5.1.6	–
5.1.7	503
5.1.8	504?
5.1.9	506
5.1.10	–
5.1.11	–
5.1.12	–
5.1.13	564
5.1.14	565
5.1.15	558
5.1.16	559
5.1.17	582
5.1.18	301
5.2.1	501
5.2.2	502
5.3.1	526
5.3.2	530, 567
Табл. 5.1	Табл. VI
5.3.3	531
5.3.4	532
5.3.5	528
5.3.6	529
5.3.7	527, 566, 569
Табл. 5.2	Табл. IX
Табл. 5.3	Табл. X
5.3.8	567
5.3.9	533(a, d, e)
Табл. 5.4	Табл. VII
5.3.10	

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
5.3.11	508
5.3.12	513
5.3.13	514
5.4.1	535
5.4.2	536
5.4.3	534
5.4.4	537(a, c)
5.4.5	538, 537(b)
5.4.6	539
5.4.7	540
5.4.8	541
5.4.9	542
5.4.10	543
5.4.11	546
5.4.12	547
5.4.13	–
5.5.1	515
5.5.2	516
5.5.3	515(c)
5.5.4	517
Табл. 5.5	Табл. III
5.5.5	518
5.5.6	519
5.6.1	521
5.6.2	–
5.6.3	524
Табл. 5.6	Табл. IV
5.6.4	523(a, b)
5.6.5	525
Табл. 5.7	Табл. V
5.6.6	522
5.7.1	–
5.7.2	562, 306, 307
5.7.3	568
5.7.4	569
5.7.5	–
5.7.6	–
5.8.1	520, 519
5.8.2	520(d), 554
5.8.3	–
5.8.4	508
5.9.1	–
5.9.2	(573)
5.9.3	567, 572(a, b)
5.9.4	572
5.9.5	573
5.9.6	555, (549)
5.9.7	564
5.9.8	–
5.9.9	570(b), 571, 547
5.9.10	–
5.10.1	–
5.10.2	–
5.10.3	–
5.10.4	
5.10.5	
5.10.6	572
5.10.7	–

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
5.10.8	–
5.10.9	570(a)
5.10.10	–
5.10.11	–
5.10.12	–
5.10.13	–
5.10.14	–
5.11.1	
5.11.2	574
5.11.3	575
5.11.4	
5.11.5	
5.11.6	
5.11.7	
5.11.8	
5.11.9	
5.11.10	
5.11.11	
5.12.1	
5.12.2	
5.12.3	
5.12.4	576
5.12.5	577
5.12.6	
5.12.7	
5.12.8	
5.12.9	
5.12.10	
5.12.11	
5.12.12	
5.12.13	
5.12.14	
5.12.15	
5.12.16	
5.12.17	
5.12.18	
5.12.19	
5.12.20	
5.12.21	
5.13.1	
5.14.1	549, 550
5.14.2	550
5.14.3	
6.1	
6.2	
6.3	
6.4	
6.5	
7.1.1	
7.1.2	
7.1.3	
7.1.4	
7.1.5	
7.2.1	
7.2.2	
7.2.3	
7.2.4	
7.2.5	
7.2.6	

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
7.2.7	----------
7.2.8	----------
7.2.9	----------
7.3.1	----------
7.3.2	----------

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
7.3.3	----------
8.1	----------
8.2	----------
8.3	----------
Пр. 1 п.1	---------- 401
Пр. 1 п.2	---------- 402

№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1
Пр. 1 п.3	---------- 403
Пр. 1 п.4	---------- 404
Пр. 1 п.5	---------- 405
Пр. 1 п.6	---------- 406
Табл. I	---------- Табл. I
Табл. II	---------- Табл. II
Прил. 5	--------- Табл. VIII

Приложение VIII

Таблица соответствия пунктов Правил МАГАТЭ-96 (ST-1) и Правил НП-053-04

№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04
101	1.1.1	227	4	405	Прил. 1 п.5
102	–	228	10	406	Прил. 1 п.6
103	5.1.2	229	32	407 - 419	1.3.3, 2.4.10
104	1.1.1	230	36, 1.3.2	501	5.2.1
105		231	37	501(c)	2.12.8
106	1.1.2, 1.3.1, 5.1.3	232	–	502	5.2.2
107	1.1.3	233	38	503	5.1.7
108	1.1.1, 1.1.3, 1.1.4	234	19	504	5.1.8
109	1.2.8, 5.1.2	235	24	505	–
110	–	236	25	506	5.1.4, 5.1.9
201	1, 2	237	–	507	5.1.2
202	–	238	31	508	5.3.11, 5.8.4
203	–	239	21	509	5.3.11
204	–	240	34, 35	512	5.1.3
205	–	241	17	513	5.1.3, 5.3.12
206	–	242	26	514	5.3.13
207	–	243	33	515	5.5.1
208	–	244	12	515(c)	5.5.3
209	–	245	13	516	5.5.2
210	–	246	15, 16, 18	517	5.5.4
211	–	247	–	518	5.5.5
212	–	248	–	519	5.5.6, 5.8.1
213	28	301	5.1.18	520	5.8.1
214	14, 23	302	1.2.2	520(d)	5.8.2
215	29	302 - 306	1.2.1 - 1.2.3	521	5.6.1
216	–	306	1.2.1 - 1.2.3,	522	5.6.6
217	–		5.7.2	523(a, b)	5.6.4
218	6	307	1.2.4, 5.7.2	524	5.6.3
219	30	308, 309	1.2.5	525	5.6.5
220	–	310	1.2.6	526	5.3.1
221	7	311	–	527	5.3.7в)
222	5	312	1.2.7	528	2.12.10, 5.3.5
223	–	401	Прил. 1 п.1	529	5.3.6
224	9	402	Прил. 1 п.2	530	5.3.2, -
225	22	403	Прил. 1 п.3	531	5.3.3
226	11	404	Прил. 1 п.4	532	5.3.4

№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04
533	5.3.9, 5.3.1, 5.3.7в)-	602	2.2.1	656(b i))	2.9.2
		603	2.2.2	657	2.9.12
534	5.4.3	604	2.2.3	658	2.9.6
535	5.4.1	605	2.3.1	659	2.9.7
536	5.4.2	606	2.4.1	660	2.9.8
537(a, c)	5.4.4	607	2.4.2	661	2.9.9
537(b), 538	5.4.5	608	2.4.3	662	2.9.10
539	5.4.6	609	2.4.4	663	2.9.13
540	5.4.7	610	2.4.4	664	2.9.11
541	5.4.8	611	2.4.5	665	2.10.1
542	5.4.9	612	2.4.6	666	2.10.2
543	5.4.10	613	2.4.7	667	2.11.1
546	5.4.11	614	2.4.8	668	2.11.2
547	5.4.12, 5.9.9	615	–	669	2.11.3
548	–	616	2.4.9	670	2.11.4
549	5.9.6, 5.14.1	617 - 619	2.4.11	671	2.12.1, 2.12.8
550	5.14.1, 5.14.2	620	2.5.1	671(a)	2.12.3
551	–	621	2.6.1	672	2.12.1, 2.12.2
552	–	622	2.6.2	673	2.12.7.5
553	–	623	2.6.3	674	2.12.7.6
554	5.8.2	624	–	675	2.12.5
555	5.9.6	625	2.6.4	676	2.12.6
556	5.14.3	626	2.6.5	677 - 679	2.12.7
557	–	627	2.6.6	679	2.12.4
558–	5.1.15	628	2.6.7	680	2.12.4, 2.12.11
559	5.1.16	629	2.7.1	681	2.12.4, 2.12.10, 2.12.12.1
561	5.14.3	630	2.7.2		
562	5.1.3, 5.7.2	631	2.7.3	682	2.12.10, 2.12.12.2
563	–	632	2.7.4		
564	5.1.13, 5.9.7	633	2.8.1	701	3.1.1
565	5.1.14	634	2.8.2	702	3.1.2
566	5.3.7	635	2.8.3	703	3.2.1
567	5.3.2, 5.3.8, 5.9.3, 5.10.5	636	2.8.4	704	3.3.1, 3.3.2, 3.3.3
		637	2.8.5	705	3.3.4
568	5.7.3	638	2.8.14	706	3.3.5
569	5.3.7, 5.7.4	639	2.8.6	707	3.3.6
570(a)	5.10.9	640	2.8.7	708	3.3.7
570(b), 571	5.9.9	641	2.8.8	709	3.3.8
572	5.9.3, 5.9.4, 5.10.6	642	2.8.9	710	3.3.9
		643	2.8.10	711	3.3.10
573	5.9.2, 5.9.5	644	2.8.11	712	3.3.11
574	5.11.2	645	2.8.13	713 - 716	3.4.1
575	5.11.3	646	2.8.12	717	3.1.4
576	5.12.4	647	2.8.15	718	3.5.1
577	5.12.5	648	2.8.16	719	3.4.2.1
578	–	649	2.8.17	720	3.4.2.2
579	–	650	2.9.1	721	3.4.2.3
580	–	651	2.9.3	722	3.4.2.4
581	–	654	2.9.11	723	3.4.2.5
582	5.1.17	655	2.9.4	724	3.4.2.6
601	2.1	656(a), (b ii))	2.9.5	725	3.4.3

№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04	№ пункта ST-1	№ пункта НП-053-04
726	3.4.4.1	810	–	829(d)	4.2.6
727	3.4.4.2	811	–	830	–
728	3.4.4.3	812	–	831	–
729	3.4.4.4	813	–	832	–
730	3.4.4.5	814	–	833	–
731	3.4.5.1	815	4.3.2	834	–
732	3.4.5.2	816 - 817	4.3.3	Табл. I	Табл. I
733	3.4.5.3	818	4.3.1	Табл. II	Табл. II
734	3.4.6.1	819		Табл. III	Табл. 5.5
735	3.4.6.2	820		Табл. IV	Табл. 5.6
736	3.4.6.3	821		Табл. V	Табл. 5.7
737	3.4.6.4	822		Табл. VI	Табл. 5.1
801	–	823		Табл. VII	Табл. 5.4
802	4.1.1	824		Табл. VIII	Прил. 5
803	–	825		Табл. IX	Табл. 5.2
804	–	826		Табл. X	Табл. 5.3
805	–	827	4.1.1, 4.2.1	Табл. XI	Табл. 2.2
806	–	828(a, b)	4.2.2	Табл. XII	Табл. 2.3
807	–	828(c, d)	4.2.3	Табл. XIII	Табл. 3.1
808	–	829(a, b)	4.2.4		
809	–	829(c, e)	4.2.5		

РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(Справочный материал к Правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04)

РБ-039-07

Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка Зернова Э.П.

Отпечатано в НТЦ ЯРБ
Тираж 100 экз.

gost.e-ecolog.ru