

Федеральное бюджетное учреждение
«Научно-технический центр по ядерной и
радиационной безопасности»

Труды НТЦ ЯРБ

Справочные материалы к Федеральным
нормам и правилам в области
использования атомной энергии
«Правила безопасности при
транспортировании радиоактивных
материалов». НП-053-16

А. В. Курындин, А. А. Строганов, А. М. Киркин, С. В. Синегрибов, С. В. Маковский, И. Г. Новаков
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»), А. А. Лавринович, А. И. Кислов (Ростехнадзор).

© Москва, 2019

УДК 621.039.58

ББК 3.39.18

С 74

Справочные материалы к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16). — М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019. — 331 с.

Настоящие «Справочные материалы к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16)» (далее — Справочные материалы) содержат разъяснения по выполнению требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован Минюстом России 24 января 2017 г., регистрационный № 45375), в которые внесены значительные изменения, по сравнению с предыдущей редакцией «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-04), утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 5, связанные с пересмотром в 2012 г. аналогичного документа МАГАТЭ «Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов» SSR-6.

Учитывают положения документов МАГАТЭ: «Справочные материалы к правилам МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных материалов» SSG-26 и «Перечни положений к правилам МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных материалов» SSG-33.

Могут быть использованы специалистами Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее — Ростехнадзор), а также юридическими и физическими лицами, осуществляющими деятельность в области транспортирования радиоактивных материалов, в том числе принимающими участие в проектировании, изготовлении, испытаниях, эксплуатации упаковочных комплектов и упаковок, выдаче сертификатов-разрешений и временном (транзитном) хранении радиоактивных материалов (упаковок) в процессе перевозки.

Рекомендуются к использованию при решении вопросов, связанных с обеспечением безопасности при транспортировании радиоактивных материалов.

Адрес для запросов: 107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5. ФБУ «НТЦ ЯРБ».

УДК 621.039.58

ББК 3.39.18

ISBN 978-5-907011-22-9

© ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019

Оглавление

Перечень принятых сокращений.....	6
Предисловие.....	8
I. Введение	14
1.1. Назначение и область применения.....	14
1.2. Основные положения обеспечения безопасности транспортирования	16
1.3. Классификация и пределы загрузки упаковок	25
II. Требования к радиоактивным материалам, транспортным упаковочным комплектам и упаковкам	33
2.1. Требования к радиоактивным материалам НУА-III	33
2.2. Требования к радиоактивным материалам особого вида.....	34
2.3. Требования к радиоактивным материалам с низкой способностью к рассеянию	35
2.4. Общие требования к упаковкам и транспортным упаковочным комплектам	36
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.....	49
2.9. Требования к упаковкам типа В(U).....	55
2.10. Требования к упаковкам типа В(M).....	66
2.11. Требования к упаковкам типа С.....	68
2.12. Требования к упаковкам, содержащим делящиеся материалы	69
III. Испытания радиоактивных материалов, транспортных упаковочных комплектов и упаковок	86
3.1. Общие положения	86
3.2. Испытания радиоактивного материала НУА-III	91
3.3. Испытания радиоактивного материала особого вида и радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию	92
3.4. Испытания транспортных упаковочных комплектов и упаковок	96
3.5. Испытания упаковок с гексафторидом урана.....	114
IV. Классификация и утверждение сертификатов-разрешений.....	116
4.1. Общие положения	116
4.2. Типы и обозначения сертификатов-разрешений.....	122
4.3. Порядок использования ранее разработанных или изготовленных радиоактивных материалов особого вида и упаковочных комплектов	129

V. Требования к перевозке и временному (транзитному) хранению радиоактивных материалов	134
5.1. Общие положения	134
5.2. Проверка груза перед перевозкой	140
5.3. Пределы значений транспортного индекса, индекса безопасности по критичности, уровня излучения и радиоактивного загрязнения	143
5.4. Маркировка, этикетки, знаки опасности и информационные табло	148
5.5. Требования к перевозке освобожденных упаковок	155
5.6. Требования к перевозке материалов НУА и ОПРЗ	158
5.7. Размещение грузов при перевозке и транзитном хранении	160
5.8. Перевозка порожних транспортных упаковочных комплектов	164
5.9. Требования к перевозке радиоактивных материалов автомобильным транспортом ..	166
5.10. Требования к перевозке радиоактивных материалов железнодорожным транспортом	169
5.11. Требования к перевозке радиоактивных материалов на судах морского и речного флота	174
5.12. Требования к перевозке радиоактивных материалов воздушным транспортом	177
5.13. Особенности оформления транспортных документов при перевозке радиоактивных материалов	182
VI. Радиационный контроль	187
VII. Мероприятия при авариях при перевозке радиоактивных материалов	189
7.1. Классификация аварий и общие положения	189
7.2. Основные требования по проведению работ в случае аварии	192
7.3. Дополнительные требования на случай аварии при перевозке водным транспортом ..	196
Список использованных источников	197
Приложение № 1. Комментарии к определениям, используемым в НП-053-16	204
Список литературы, используемой в приложении № 1	214
Приложение № 2. Q-система для расчета и применения значений A_1 и A_2	215
Введение	215
Предпосылки	215
Основы Q-системы	215
Дозиметрические модели и допущения	216
Список литературы, используемой в приложении № 2	249
Приложение № 3	252
Размещение и крепление упаковок при перевозке	252

Введение	252
Типы систем крепления.....	252
Учет возможных напряжений при транспортировании	253
Примеры конструкций систем крепления и их оценки.....	254
Термины, использованные в приложении № 3	260
Список литературы, используемой в приложении № 3	261
Приложение № 4. Примеры расчетов для определения минимальных разделяющих расстояний	263
Введение	263
Список литературы, используемой в приложении № 4	269
Приложение № 5. Характеристики основных радионуклидов.....	270
Приложение № 6. Рекомендации по условиям перевозки крупногабаритных грузов	306
Общие сведения о крупногабаритных грузах радиоактивных материалов.....	306
Критерии приемлемости транспортирования крупногабаритных грузов радиоактивных материалов	309
Список литературы, используемой в приложении № 6	310
Приложение № 7. Особые ситуации при транспортировании радиоактивных материалов ...	312
Транспортирование радиоактивных материалов неопределенного вида	312
Транспортирование поврежденной упаковки	312
Транспортирование по территории государств, в которых отсутствуют требования безопасности при транспортировании радиоактивных материалов.....	313
Список литературы, используемой в приложении № 7	313
Приложение № 8. Таблица соответствия пунктов НП-053-16* и SSR-6**	314
Приложение № 9. Блок-схема классификации радиоактивных материалов, определения номера оон и типа упаковки	321
Приложение № 10. Матрица требований НП-053-16* и SSR-6** в зависимости от типа упаковки	323

Перечень принятых сокращений

АД	—	аэродинамический диаметр
АСФ	—	аварийно-спасательное формирование
АОМИ (ASTM)	—	Американское общество по материалам и испытаниям
АЭС	—	атомная электростанция
ГКО	—	Государственный компетентный орган
ГК Росатом	—	Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
ДОПОГ возке опасных грузов	—	Европейское соглашение по международной дорожной пере-
ДМ	—	делящийся материал
ИАТА	—	Международная ассоциация воздушного транспорта
ИБК	—	индекс безопасности по критичности
ИКАО (ICAO)	—	Международная организация гражданской авиации
ИСО (ISO)	—	Международная организация по стандартизации
Конвенция СОЛАС море	—	Международная конвенция по охране человеческой жизни на
КПРМ	—	коэффициент перевозок радиоактивного материала
КСГМГ	—	контейнер средней грузоподъемности для массовых грузов
МАГАТЭ	—	Международное агентство по атомной энергии
МГВГ	—	максимальное годовое время грузоперевозки
МГВО	—	максимальное годовое время облучения
МГВП	—	максимальное годовое время нахождения в пути
МКРЗ	—	Международная комиссия по радиационной защите
ММОГ	—	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
НУА (LSA)	—	низкая удельная активность
ОГ	—	опасные грузы
ОИАЭ	—	объект использования атомной энергии
ОМД	—	опорная мощность дозы
ООН	—	Организация Объединенных Наций

ОПБЗ	—	Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке делящихся ядерных материалов
ОПРЗ (SCO)	—	объект с поверхностным радиоактивным загрязнением
ОЯТ	—	отработавшее ядерное топливо
ПБТРВ веществ	—	Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ
ПРЗ	—	программа радиационной защиты
ПС	—	программное средство
ПЭЛ	—	поглощающий элемент
РАО	—	радиоактивные отходы
РВ	—	радиоактивное вещество
РМ	—	радиоактивный материал
РМНР	—	радиоактивный материал с низкой способностью к рассеиванию
РМОВ	—	радиоактивный материал особого вида
РСЧС чрезвычайных ситуаций	—	Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
СТД	—	стандартные температура и давление
СЦР	—	самоподдерживающаяся цепная реакция деления
ТВС	—	тепловыделяющая сборка
ТИ	—	транспортный индекс
ТИ ИКАО грузов по воздуху	—	технические инструкции по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху
ТТО	—	транспортно-технологические операции
ТУК	—	транспортный упаковочный комплект
ФМР	—	фактическое минимальное расстояние
ФНП	—	федеральные нормы и правила
ЯМ	—	ядерный материал
ЯТ	—	ядерное топливо

Предисловие

Транспортирование опасных грузов, в том числе РМ, на различных видах транспорта регламентируется рядом международных документов, таких как «Технические инструкции по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху» (ТИ ИКАО) [1], «Международный морской кодекс по опасным грузам» (ММОГ) [2], «Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении» (СМГС) [3], «Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов» (ДОПОГ) [4] и другие (рис. 1).



Рис. 1. Основные международные нормативные документы, регламентирующие безопасность транспортирования опасных грузов

Перечисленные документы основаны на типовых правилах ООН «Рекомендации по перевозке опасных грузов» [5], которые также принято называть «Оранжевой книгой». Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов 7 класса, то есть РМ, основаны на требованиях документа МАГАТЭ «Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов» (далее – Правила МАГАТЭ), практически все положения которых включены в указанные международные документы.

В связи с тем, что вышеупомянутые документы (за исключением Европейского соглашения RID для железнодорожного транспорта [6]) действуют на территории Российской Федерации, выполнение рекомендаций ООН по безопасности при транспортировании РМ необходимо и может быть реализовано посредством гармонизации федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-04), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 5 (далее — НП-053-04), с Правилами МАГАТЭ.

Редакция федеральных норм и правил, устанавливающих требования безопасности при транспортировании РМ (НП-053-04), разрабатывалась на основе Правил МАГАТЭ редакции 1996 г. с учетом изменений, принятых в 2000 г. [7]. Изменения, внесенные в Правила МАГАТЭ в ходе их пересмотра в 2004, 2005 и 2009 гг. носили редакционный или уточняющий характер и не требовали немедленного изменения национальных нормативных документов, однако в 2012 г. Правила МАГАТЭ [8] претерпели существенные изменения. С целью учета данных изменений разработана новая редакция федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16), утвержденных приказом Ростехнадзора от 15 сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован

Минюстом России 24 января 2017 г., регистрационный № 45375) (далее — НП-053-16). В результате пересмотра изменениям подверглись более 270 пунктов, часть из которых поменялась принципиально, а часть изменений носила лишь редакционный или уточняющий характер. Ниже представлены наиболее значимые изменения требований НП-053-16, а также связанные с ними аспекты транспортирования РМ. Хронология разработки НП-053-16 и изменений Правил МАГАТЭ представлена на рис. 2.

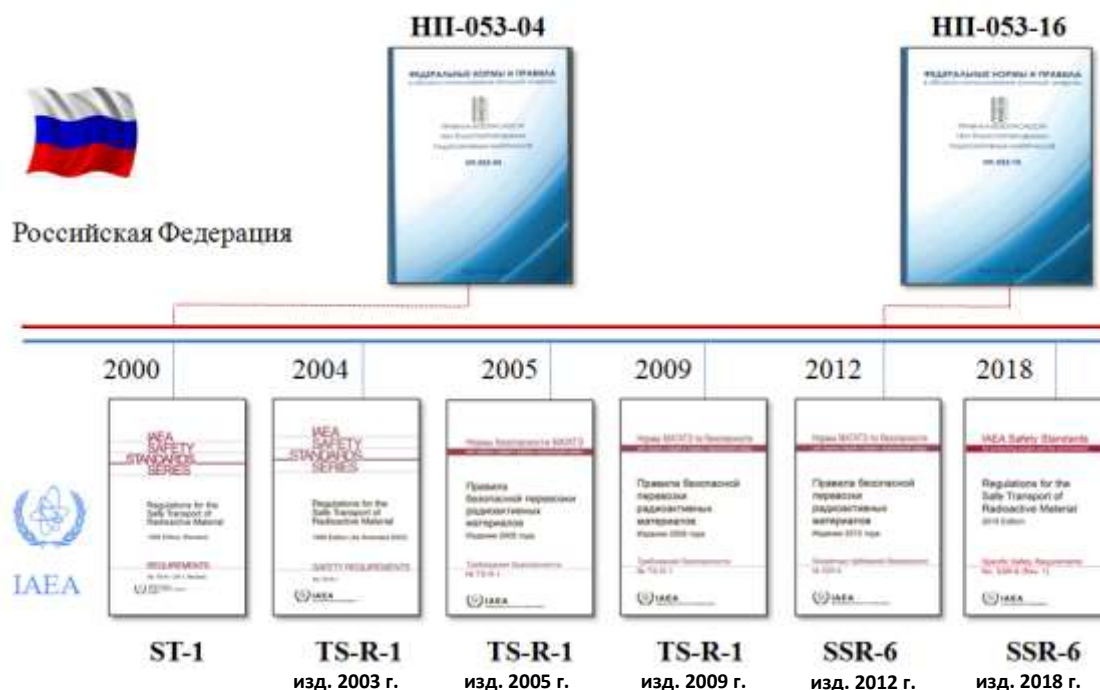


Рис. 2. Хронология разработки НП-053-16 и изменений Правил МАГАТЭ

С целью конкретизации требований к упаковкам, содержащим незначительное количество (образцы) гексафторида урана, или к порожним упаковкам, содержащим неизвлекаемые остатки гексафторида урана, выделена новая категория освобожденных упаковок «упаковки, содержащие менее 0,1 кг гексафторида урана» с отдельным номером ООН 3507.

Также изменениям подверглись пределы активности для грузов РМ, на которые не распространяются требования НП-053-16. Например, уточнен предел активности для груза с изотопами теллура ^{121m}Te , добавлены данные по изотопу свинца ^{201}Pb , а также введена принципиально новая возможность расчета альтернативных пределов активности для груза с РМ, содержащимся в приборе или являющимся частью прибора или другого промышленного изделия, такого, как часы или электронная аппаратура. Такие альтернативные пределы активности для груза должны рассчитываться в соответствии с положениями документа МАГАТЭ «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности» GSR Part 3 [9], а также утверждаться государственным компетентным органом при транспортировании РМ (ГКО). В связи с этим в НП-053-16 внесены соответствующие изменения, предусматривающие необходимость получения сертификата-разрешения нового образца на альтернативные пределы активности для груза приборов или изделий (код сертификата «AL»). Стоит отметить, что в случае осуществления международных перевозок РМ, то есть когда груз должен перевозиться через территорию или на территорию любой другой страны, необходимо аналогичное утверждение ГКО этой страны.

На основе международного опыта осуществления перевозок в Правилах МАГАТЭ значительно изменилась концепция транспортирования ДМ, что также учтено при разработке НП-053-16. Во-первых, изменено определение ДМ. В соответствии с новым определением к неделящимся материалам, помимо необлученного и облученного в реакторе на тепловых нейтронах природного или обедненного урана, также относится материал, в котором общее содержание делящихся нуклидов (^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu и ^{241}Pu) меньше 0,25 г, и любая комбинация из перечисленных материалов. Новый критерий по содержанию делящихся нуклидов основан на том, что для накопления критической массы необходимо собрать в одном месте около десяти тысяч упаковок, что крайне маловероятно.

В то же время существенно уменьшены предельные значения количества ДМ в упаковках, которые освобождаются от выполнения требований НП-053-16 к транспортированию ДМ. Так, в новой редакции НП-053-16 от требований, относящихся к транспортированию ДМ, освобождаются упаковки с материалами, которые подходят под одно из следующих описаний:

- уран с обогащением не более 1 % по ^{235}U при условии, что делящиеся нуклиды распределены равномерно по всему материалу и отсутствуют упорядоченные решетки из ДМ;
- жидкие растворы азотнокислого урана с обогащением не более 2 % по ^{235}U и отношением числа атомов азота к числу атомов урана не менее 2;
- уран с обогащением до 5 % по ^{235}U при условии, что упаковка содержит не более 3,5 г ^{235}U и масса делящихся нуклидов в грузе составляет не более 45 г;
- делящиеся нуклиды с общей массой не более 2,0 г на упаковку при условии, что масса делящихся нуклидов в грузе составляет не более 15 г;
- делящиеся нуклиды с общей массой не более 45 г, упакованные или неупакованные при условии, что транспортирование осуществляется на условиях исключительного использования на одном транспортном средстве;
- ДМ, на который распространяется освобождение, согласно подпункту «е» пункта 2.12.2 НП-053-16, и получен соответствующий сертификат-разрешение.

Следует отметить, что, помимо приведенных выше требований, необходимо также выполнение дополнительных требований по содержанию других делящихся нуклидов в материале, параметрам упаковки и условиям транспортирования, которые в полном объеме представлены в подпунктах «а»—«е» пункта 2.12.2 НП-053-16.

Как видно из представленных данных, максимальные значения содержания делящихся нуклидов в упаковках, освобожденных от требований к ДМ, уменьшены приблизительно в 10 раз по сравнению с предыдущей редакцией [10]. Данные изменения вызваны возможным риском неконтролируемого накопления упаковок с такими материалами на транспортном средстве.

Однако добавление новой возможности получения сертификата-разрешения на конструкцию РМ, упаковки с которым освобождаются от требований к ДМ, позволяет упростить процедуру транспортирования материалов с небольшим содержанием делящихся нуклидов, но не подходящих под критерии освобождения, приведенные в подпунктах «а»—«д» пункта 2.12.2 НП-053-16. В таком случае потребуется обоснование подкритичности ДМ при обычных, нормальных и аварийных условиях транспортирования. Данная возможность особенно актуальна при транспортировании продуктов переработки ОЯТ, когда приходится иметь дело с большими

количествами материалов, содержащих делящиеся нуклиды, но не представляющих опасности с точки зрения ядерной безопасности.

Наряду с ужесточением критериев освобождения упаковок от требований к ДМ в новую редакцию НП-053-16 добавлена возможность транспортирования ДМ в упаковках, сертификат-разрешение на которые не предусматривает возможность транспортирования ДМ. Ядерная безопасность при этом обеспечивается выполнением ряда условий для упаковок и контролем ИБК груза. Для введения ограничения по допустимой массе ДМ в таких упаковках в пункте 2.12.13 НП-053-16 приведены дополнительные формулы для расчета ИБК упаковок в зависимости от их параметров, а также введены дополнительные ограничения на ИБК одной упаковки. Формулы для определения ИБК достаточно просты, и для их использования необходимо знать только массу и общие данные по составу ДМ в упаковке. Контроль накопления ДМ по ИБК груза производится по тем же критериям, как и для упаковок с полученными сертификатами-разрешениями на транспортирование ДМ. Также одним из важных условий являются ограничения по минимальному габаритному размеру упаковки от 10 до 30 см, которые обеспечивают необходимое дистанционирование и низкую удельную плотность ядерных ДМ в системе из нескольких упаковок. Кроме того, общая масса бериллия, водородсодержащего материала, обогащенного дейтерием, графита и других аллотропных форм углерода в отдельной упаковке не должна превышать массу делящихся нуклидов. Для некоторых случаев необходимо дополнительное подтверждение сохранения геометрических характеристик упаковки при испытаниях для проверки способности выдерживать нормальные условия перевозки.

Аналогично, в соответствии с пунктом 2.12.14 НП-053-16, упаковки, содержащие не более 1 кг плутония с суммарным содержанием изотопов ^{239}Pu и ^{241}Pu не более 20 %, освобождаются от требований, предъявляемых к ДМ, а их ядерная безопасность обеспечивается контролем накопления по ИБК.

Представленные выше критерии основаны на исследованиях стран-участниц МАГАТЭ, которые подтвердили обеспечение ядерной безопасности упаковок, удовлетворяющих требованиям пунктов 2.12.13 и 2.12.14 НП-053-16, при обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки.

Продемонстрируем применение данных критериев на примере транспортирования небольшого количества необлученных топливных таблеток из урана с обогащением 5 % по ^{235}U упаковками типа ПУ-2. Так, если грузоотправитель может показать, что при нормальных условиях перевозки минимальный габаритный размер упаковки составляет не менее 30 см, то, в соответствии с подпунктом «б» пункта 2.12.13 НП-053-16, исходя из предела по ИБК, максимальное содержание изотопов ^{235}U в одной упаковке может достигать 85 г, а в одном грузе может перевозиться до 11 таких упаковок с суммарной массой 425 г ^{235}U . Для сравнения, в предыдущей редакции федеральных норм и правил [10] допускалось транспортирование не более 15 г ^{235}U в одной упаковке и не более 290 г в одном грузе без соблюдения требований к ДМ. Однако, если грузоотправитель не может подтвердить отсутствие потери радиоактивного содержимого и минимального габаритного размера не менее 30 см при нормальных условиях перевозки (или отказывается от подтверждения), то в этом случае груз может перевозиться в соответствии с подпунктом «а» пункта 2.12.13 НП-053-16. В таком случае, исходя из допустимого ИБК, масса ^{235}U может составлять до 34 г в одной упаковке и не более 170 г в одном грузе. Если же грузоотправитель может продемонстрировать отсутствие потери радиоактивного содержимого, но минимальный габаритный размер после испытаний на нормальные условия перевозки составляет от 10 до 30 см, то груз с содержанием до 225 г ^{235}U может перевозиться в соответствии с подпунктом «в» пункта 2.12.13 НП-053-16. В зависимости от обогащения по ^{235}U и содержания

других делящихся нуклидов в материале, приведенные выше значения могут изменяться как в большую, так и в меньшую сторону.

Одним из основных способов подтверждения соответствия РМ и упаковок с ними требованиям по безопасности при транспортировании, приведенным в НП-053-16, является выполнение расчетов с использованием специализированных ПС. В связи с этим новая редакция Правил [11] дополнена требованием о необходимости верификации ПС и методов расчета, применяемых для расчетного подтверждения соответствия упаковок требованиям Правил [11]. Данное требование позволяет исключить возможность использования ПС, не предназначенных для проведения расчетов в обоснование безопасности, а также позволяет корректно учесть погрешности расчета. Однако после утверждения НП-053-16 в 2018 г. вступили в силу изменения в Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 № 170-ФЗ [12], согласно которым программы для ЭВМ, используемые для построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии, должны пройти экспертизу в организации научно-технической поддержки Ростехнадзора. Порядок проведения такой экспертизы утвержден приказом Ростехнадзора от 30.07.2018 № 325 [13]. По результатам проведения экспертизы оформляется соответствующий аттестационный паспорт программы для ЭВМ, который подтвердит выполнение требований пункта 3.1.1 НП-053-16.

Безусловно, НП-053-16 является основополагающим документом в области обеспечения безопасности при транспортировании РМ, однако далеко не единственным. Так, обеспечение безопасности при транспортировании РМ также регламентируется следующими нормативными и рекомендательными документами НП-074-06 [14], РБ-127-17 [15] и РБ-110-16 [16], разработанными с учетом положений документов МАГАТЭ TS-G-1.2 [17], TS-G-1.1 [18], TS-G-1.3 [19] и TS-G-1.4 [20]. Схематично сравнение структуры нормативной правовой базы Российской Федерации в области обеспечения безопасности при транспортировании РМ и аналогичных документов МАГАТЭ представлено на рис. 3.

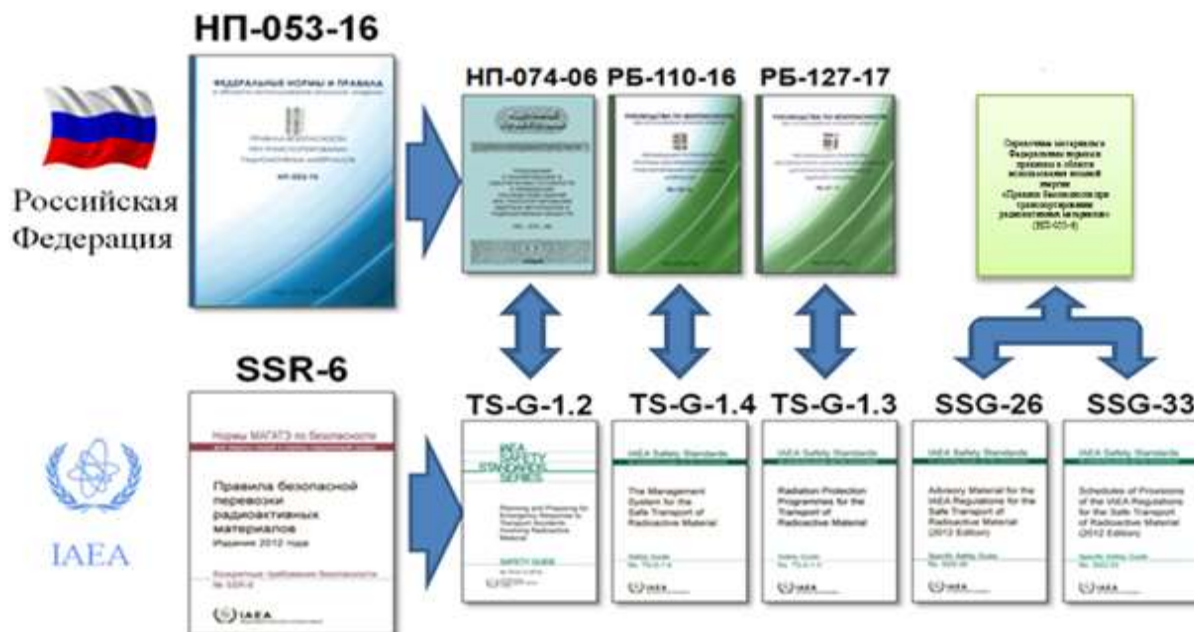


Рис. 3. Сравнение структуры документов в области обеспечения безопасности при транспортировании радиоактивных материалов

Стоит отметить, что на рис. 3 не представлен документ МАГАТЭ «Обеспечение соблюдения правил безопасной перевозки радиоактивных материалов» TS-G-1.5 [21], так как он содержит рекомендации для заявителей, лицензиатов и эксплуатирующих организаций по их взаимодействию с регулирующим органом. В Российской Федерации аналогичные положения отражаются в административных регламентах соответствующих федеральных органов исполнительной власти по оказанию государственных услуг. Например, лицензирование деятельности по обращению с РМ при их транспортировании и соответствующее взаимодействие заявителя и Ростехнадзора осуществляется в соответствии с Административным регламентом предоставления Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии [22].

Представленные в НП-053-16 подходы к обеспечению безопасности при транспортировании РМ гармонизированы с правилами МАГАТЭ SSR-6 [8] и соответствуют международным соглашениям для различных видов транспорта [1—5]. Однако практика пересмотра международных документов показывает, что изменения в них могут вноситься чаще, чем осуществляется пересмотр федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, в связи с чем в НП-053-16 установлен его приоритет над другими документами, регламентирующими обеспечение безопасности при транспортировании РМ.

Следует отметить, что на момент разработки настоящих Справочных материалов в Правила МАГАТЭ SSR-6 [8] редакции 2012 г. в 2018 г. внесены изменения, которые не отражены в настоящих Справочных материалах. Изменения, внесенные в Правила МАГАТЭ в ходе их пересмотра, по большей части носили редакционный или уточняющий характер.

Настоящие Справочные материалы представляют собой информацию в виде комментариев к пунктам НП-053-16 и основаны на положениях документов МАГАТЭ SSG-26 [23] и SSG-33 [24].

I. Введение

1.1. Назначение и область применения

В данном разделе устанавливаются общие цели, на выполнение которых направлены положения НП-053-16. Так, основной целью НП-053-16 является установление требований безопасности, которые должны выполняться для обеспечения безопасности транспортирования РМ на территории Российской Федерации.

1.1.2. Настоящие Правила устанавливают требования безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, в том числе требования к операциям и условиям, которые связаны с перемещением радиоактивного материала и составляют этот процесс (проектирование, изготовление, испытания и выдача сертификатов-разрешений, обслуживание и ремонт упаковочного комплекта; подготовка, загрузка, отправка, перевозка, включая временное (транзитное) хранение; разгрузка и приемка в конечном пункте назначения грузов радиоактивных материалов).

Комментарий

Требованиями НП-053-16 установлены жесткие критерии к конструкции упаковок, выполнение которых направлено на обеспечение безопасности транспортирования РМ. В связи с этим необходимость в осуществлении каких-либо специальных действий в процессе транспортирования сводится к минимуму.

1.1.3. Настоящие Правила не устанавливают требования по обеспечению физической защиты при транспортировании радиоактивных материалов.

Комментарий

Требования по обеспечению физической защиты при транспортировании РМ исключены из НП-053-16 в связи с тем, что данные требования уже содержатся в Постановлении Правительства РФ от 19.06.2007 № 456 «Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» [25] и федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании» (НП-073-11) [26].

1.1.4. Настоящие Правила распространяются на транспортирование радиоактивных материалов всеми видами транспорта наземными, воздушными и водными путями и действуют на всей территории Российской Федерации.

Комментарий

Выполнение требований НП-053-16 обеспечивает постоянный и адекватный уровень защищенности в соответствии с опасностью, представляемой транспортируемыми РМ. При этом необходимо также учитывать положения иных документов, регламентирующих транспортирование опасных грузов, в частности, ТИ ИКАО [1], ММОГ [2], СМГС [3], ДОПОГ [4] и другие. Правила перевозок опасных грузов (ОГ), действующие в России на различных видах транспорта, в части перевозок РМ должны полностью учитывать требования безопасности, содержащиеся в НП-053-16.

1.1.5. Настоящие Правила распространяются на транспортирование радиоактивных материалов, в том числе транспортирование радиоактивных материалов в составе изделий, эксплуатация которых связана с перевозкой, за исключением:

- а) радиоактивных материалов, являющихся неотъемлемой частью перевозочного средства;
- б) радиоактивных материалов, имплантированных или введенных в организм человека или животного с целью диагностики, или лечения;
- в) радиоактивных материалов, находящихся в потребительских товарах, на которые органами, уполномоченными осуществлять санитарно-эпидемиологический надзор, выдано санитарно-эпидемиологическое заключение (постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 октября 2003 г. № 155 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.8.49-03 «Средства индивидуальной защиты кожных покровов персонала радиационно опасных производств» (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 26 ноября 2003 г. № 5282);
- г) природных материалов и руд, содержащих природные радионуклиды, которые могли быть обработаны, при условии, что удельная активность такого материала не превышает более чем в 10 раз значения, указанного в таблице № 1 приложения № 2 к настоящим Правилам или рассчитанного в соответствии с пунктами 2, 4 – 7 приложения № 2; для природных материалов и руд, содержащих природные радионуклиды, которые не находятся в вековом равновесии, расчет концентрации активности должен выполняться в соответствии с пунктом 5 приложения № 2 к настоящим Правилам;
- д) радиоактивных материалов в теле или на теле человека, который подлежит перевозке для лечебных целей в силу того, что он подвергся случайному или преднамеренному поступлению радиоактивного материала или воздействию загрязнения;
- е) нерадиоактивных твердых предметов с радиоактивными веществами, присутствующими на любых поверхностях в количествах, не превышающих предел, определенный в пункте 33 приложения № 1 к настоящим Правилам.

Комментарий

НП-053-16 не распространяются на РМ, которые являются неотъемлемой частью транспортного средства, например, вмонтированные в транспортные средства соединения природного урана, приспособления, использующие тритиевую подсветку, применяемые в авиации, РМ, содержащиеся в тепловыделяющих сборках в ядерном реакторе на атомном ледоколе. Решение о том, является ли РМ неотъемлемой частью транспортного средства, следует принимать в ходе соответствующих лицензионных процедур.

НП-053-16 также не распространяются на транспортирование РМ, находящихся (имплантированных) 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. Для подтверждения наличия кардиостимулятора или других РМ в организме, введенных с целью лечения или диагностики, в соответствующих случаях должно иметься письменное подтверждение, выдаваемое федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять санитарно-эпидемиологический надзор. В то же время НП-053-16 должны применяться при перевозке мертвых животных с имплантированными РМ (например, при перевозках животных на захоронение и др.) с учетом уровня активности в организме.

Кроме того, требования НП-053-16 не распространяются на транспортирование потребительских товаров, под которыми понимаются предметы, доступные широкой публике как конечному пользователю без последующего контроля или ограничения. Примерами таких товаров являются детекторы дыма, или светящиеся циферблаты, которые содержат малые количества РМ. Потребительские товары находятся вне действия НП-053-16 только после продажи конечному пользователю. Любые перевозки, в том числе между производителями, дистрибьюторами и розничными продавцами, находятся в сфере действия НП-053-16, для гарантии того, что при перевозке большого количества таких товаров соблюдаются требования безопасности.

Пределы активности для грузов РМ, на которые не распространяются действия НП-053-16, приведены в таблице № 1 приложения № 2 к НП-053-16.

1.1.6. Настоящие Правила не распространяются на деятельность, связанную с разработкой, изготовлением, испытанием, эксплуатацией и утилизацией ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения.

Комментарий

НП-053-16 не распространяются на перевозки ядерных боеприпасов и ядерных зарядов в составе готовых изделий. При этом НП-053-16 также не распространяются на перевозки РМ в виде сырья, из которого будут изготавливаться ядерные боеприпасы или заряды, либо ЯМ, получаемые в результате утилизации ядерного оружия.

1.1.7. Настоящие Правила не распространяются на внутренние (то есть без выезда на пути сообщения общего пользования) перемещения радиоактивных материалов по территории предприятий, где эти материалы производятся, используются и хранятся, за исключением указанных в настоящих Правилах требований к подготовке упаковочных комплектов и упаковок к перевозке с выездом на пути сообщения общего пользования.

Комментарий

НП-053-16 не распространяются на транспортно-технологические операции (ТТО) с РМ на объектах использования атомной энергии, включая внутриобъектовые перевозки РМ и упаковок с РМ на территории предприятий. Таким образом, НП-053-16 распространяются на перевозки от момента выезда с промплощадки грузоотправителя до момента заезда на промплощадку грузополучателя.

При неопределенности в отнесении перевозок к внутренним или внешним (относящимся к области применения НП-053-16) необходимо обращаться в органы государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии для получения соответствующих разъяснений.

1.2. Основные положения обеспечения безопасности транспортирования

1.2.1. Требования настоящих Правил к грузу и условиям осуществления перевозки основываются на следующих основных положениях.

Комментарий

В данном пункте НП-053-16 перечислены в общем виде основные положения и принципы обеспечения безопасности перевозок РМ, которые более детально, качественно и (или)

количественно представлены в виде соответствующих требований в других разделах НП-053-16. Эти положения и принципы относятся как к техническим, так и к организационным мерам при перевозках РМ.

Следование указанным в данном пункте НП-053-16 положениям и принципам является необходимым, однако они могут быть недостаточными в ряде случаев перевозок РМ. Дополнительно к ним могут предусматриваться меры согласно другим нормативным правовым актам. Например, для грузов РМ, обладающих повышенной токсичностью, могут предусматриваться особые условия перевозки.

1.2.1.1. Ограничение уровней излучения от упаковок и перевозочных средств, радиоактивной загрязненности их поверхностей и выхода радиоактивного содержимого из упаковок.

Комментарий

Требования к допустимым уровням излучения от РМ, упаковок и транспортных средств для различных условий перевозок представлены в разделе 5.3 НП-053-16. Требования к допустимому уровню загрязненности поверхности упаковок приведены в пункте 5.3.9 НП-053-16. Требования к допустимым уровням выхода радиоактивного содержимого из упаковок приведены в разделе 5.3 НП-053-16.

Допустимые уровни излучения и выхода радиоактивного содержимого из упаковок, предназначенных для перевозки РМ со значительными уровнями активности, различаются для нормальных и аварийных условий.

При конструировании могут не устанавливаться ограничения на уровни излучения и выход радиоактивного содержимого из упаковок при условии, если максимальный возможный выход радиоактивного содержимого (например, при полном разрушении упаковки) не превышает установленных в НП-053-16 уровней выхода радиоактивного содержимого.

1.2.1.2. Ограничение количества и радионуклидного состава перевозимого в одной упаковке радиоактивного содержимого в зависимости от способности упаковки обеспечивать в заданных пределах герметичность и радиационную защиту при различных условиях перевозки и способности радиоактивного содержимого к рассеянию.

Комментарий

Ограничение допустимого количества РМ для различных типов упаковок зависит от степени потенциальной опасности материалов, которая, в свою очередь, определяется активностью материалов, радионуклидным составом и другими физико-химическими свойствами, способствующими или не способствующими выходу РМ из упаковок в различных условиях перевозок. Так, при транспортировании РМ с более опасными свойствами применяются более жесткие требования к упаковке, чем при транспортировании РМ с менее опасными свойствами.

1.2.1.3. Ограничение количества делящегося материала в упаковке и (или) установление требований к исключению условий возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления (далее — СЦР) при перевозке таких материалов.

Комментарий

В результате СЦР значительно увеличивается уровень ионизирующего излучения, а также выделяется большое количество тепла. Поэтому для обеспечения безопасности перевозок ДМ требуется принятие мер, предотвращающих возникновение СЦР в условиях перевозки, а также

проведение анализа ядерной безопасности транспортирования, требования к которому приведены в пункте 2.12 НП-053-16.

1.2.1.4. Использование упаковочных комплектов, безопасность эксплуатации которых должна обеспечиваться за счет конструкции упаковочного комплекта при минимальном объеме специальных организационно-технических мероприятий, проводимых при транспортировании.

Комментарий

Одним из основных принципов обеспечения безопасности при перевозках РМ служит осуществление перевозок РМ в упаковочном комплекте, конструкция которого способна обеспечивать безопасность без принятия дополнительных организационных и технических мер. То есть безопасность перевозки РМ должна обеспечиваться конструкцией упаковочного комплекта. При этом данный принцип не снимает ответственности с грузоотправителя, так как именно грузоотправитель отвечает за выбор той или иной конструкции упаковки и правильную подготовку упаковки к перевозке. Грузоотправитель должен соответствующим образом выбирать упаковочный комплект для перевозки РМ, обеспечивать правильную загрузку РМ в данный комплект, проводить подготовку упаковочного комплекта к перевозке, а также осуществлять периодическое техническое обслуживание упаковочного комплекта.

1.2.1.5. Ограничение количества упаковок, перевозимых на одном перевозочном средстве, исходя из степени их радиационной опасности и опасности возникновения СЦР.

Комментарий

Кроме ограничения опасных свойств отдельных упаковок с РМ при перевозках, необходимо ограничивать опасные свойства (воздействия) всего груза в целом, размещаемого на одном транспортном средстве. Так, например, СЦР может возникать при близком размещении нескольких однотипных упаковок с делящимися РМ, в то время как каждая такая упаковка в отдельности может являться подкритичной. Поэтому для упаковок с ДМ, кроме ограничения их количества на транспортном средстве с точки зрения ограничения радиационного воздействия от всего груза, требуется ограничение их количества для предотвращения СЦР.

1.2.1.6. Обеспечение необходимой маркировки, нанесения этикеток (знаков опасности) и информационных табло на груз и перевозочное средство.

Комментарий

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

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.

Использование надписей, этикеток, знаков должно также облегчать выполнение соответствующих функций персоналом, транспортными рабочими, представителями органов внутренних дел, таможенных органов, органов государственного регулирования безопасности и т. д.

1.2.1.7. Наличие российских сертификатов-разрешений, предусмотренных главой IV настоящих Правил.

Комментарий

Подтверждение соответствия выполнения требований НП-053-16 в отношении конструкций РМ и упаковок, а также условий перевозок, осуществляется путем выдачи сертификатов (сертификатов-разрешений) ГКО. В соответствии с постановлением Правительства от 19.03.2001 № 204 в настоящее время функции ГКО возложены на ГК «Росатом».

1.2.2. При транспортировании радиационная безопасность должна обеспечиваться таким образом, чтобы величины индивидуальных доз, коллективных доз и вероятность облучения удерживались на разумно достижимом низком уровне, а дозы индивидуального облучения не превышали соответствующих установленных пределов. Меры, принимаемые грузоотправителем (грузополучателем) для выполнения этих требований, приводятся в программе радиационной защиты.

Комментарий

НП-053-16 требует, чтобы при перевозках РМ не были превышены основные дозовые пределы для персонала и населения, которые установлены в соответствующих нормативных документах органов, осуществляющих государственный санитарно-эпидемиологический надзор. Выполнение требований НП-053-16 обеспечивает не превышение основных дозовых пределов при обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки.

Для оптимизации защиты и обеспечения безопасности требуется принимать во внимание как нормальное, так и потенциальное облучение. К нормальному облучению относится облучение, ожидаемое в обычных и нормальных условиях перевозки. К потенциальному облучению относится облучение, которое может являться результатом либо аварии, либо иного события, либо последовательности вероятных событий, включая поломки оборудования и ошибки персонала. Для оптимизации нормального облучения требуется учет индивидуальных доз и количества людей, подвергающихся облучению. Для оптимизации потенциального облучения следует принимать во внимание вероятность возникновения аварий, либо событий/последовательности событий, которые приводят к повышенному облучению.

Информацию о дозах облучения персонала и населения следует систематизировать и анализировать по мере необходимости. В частности, такой анализ следует выполнять, если происходят значительные изменения в организации перевозок или внедрены новые технологии, относящиеся к РМ. Сбор необходимой информации может быть обеспечен путем комбинации дозиметрических измерений и расчетных оценок. В дополнение к обычным условиям необходимо анализировать и аварийные условия перевозки. Рекомендации по содержанию программы радиационной защиты представлены в руководстве по безопасности при использовании атомной энергии «Состав и содержание программы радиационной защиты при транспортировании радиоактивных материалов» РБ-127-17 (далее – РБ-127-17) [15].

1.2.3. Работники, занятые выполнением работ по обращению с упаковками и неупакованными радиоактивными материалами в ходе их приемки, загрузки, хранения, погрузки, разгрузки и перевозки, должны проходить соответствующее обучение по вопросам ядерной, радиационной безопасности, связанной с их деятельностью, и мерам предосторожности, которые необходимо соблюдать, чтобы обеспечить ограничение их облучения и облучения других лиц, которые могли бы пострадать в результате действий персонала, с обязательной периодической проверкой знаний. Работники, привлекаемые к проведению разовых операций по погрузке, перевозке и разгрузке грузов, перед работой должны быть проинструктированы. Прохождение инструктажа фиксируется в соответствующем журнале (под роспись работника).

Комментарий

Медицинское освидетельствование персонала, связанного с обращением с источниками излучения, в том числе при транспортировании упаковок с РМ, требуется соответствующими документами органов, осуществляющих санитарно-эпидемиологический надзор.

Обеспечение информацией и обучение — составная часть любой системы радиационной защиты. Работники, привлекаемые к перевозке РМ, должны знать радиационные риски своей работы и уметь сводить их к минимуму при всех обстоятельствах. Требования к обучению персонала и проверке его знаний следует устанавливать для всех радиационно-опасных работ, выполняемых персоналом на предприятии.

Конкретные требования к медицинскому освидетельствованию и обучению персонала могут быть детализированы в ПРЗ, рекомендации к составу и содержанию которых представлены в РБ-127-17 [15].

Обучение персонала должно осуществляться с учетом конкретных обязанностей, возлагаемых на персонал, а также с учетом операций, которые планируется проводить с привлечением обучаемого персонала. При обучении также следует учитывать конкретные защитные меры, которые необходимо принимать в случае аварии, и планируемое к использованию персоналом оборудование. В программу обучения следует включать общую информацию о радиационных рисках, сведения о природе ионизирующих излучений, влиянии ионизирующих излучений на здоровье человека и методах их детектирования. Следует проводить как первоначальное обучение при поступлении работников на должность, так и курсы переподготовки с необходимой периодичностью. Следует периодически проверять эффективность обучения.

1.2.4. В случае профессионального облучения в результате выполнения работ, связанных с перевозкой, если согласно выполненной грузоотправителем, грузоперевозчиком или грузополучателем оценке, получение эффективной дозы в размере:

- а) свыше 1 мЗв в год является весьма маловероятным, — не требуются особые графики работ, детальный дозиметрический контроль, программы оценки доз или ведение индивидуального учета;
- б) 1-5 мЗв в год является вполне вероятным, — должны осуществляться программы оценки доз посредством дозиметрического контроля рабочих мест или индивидуального дозиметрического контроля. Соответствующий персонал относится к группе Б;
- в) свыше 5 мЗв в год является вполне вероятным, — должен проводиться индивидуальный дозиметрический контроль. Соответствующий персонал относится к группе А.

Комментарий

Для мониторинга и оценки доз облучения в НП-053-16 установлены три дозовых диапазона (три категории работников в зависимости от прогнозируемого уровня облучения). В отношении рабочих, которые задействованы в транспортировании и относятся к первой категории (подпункт «а» настоящего пункта), не требуется специальных мер по контролю их облучения. Для персонала, относящегося ко второй категории (подпункт «б» настоящего пункта), необходимо разрабатывать программы оценки доз, которые могут быть основаны как на индивидуальном дозиметрическом контроле, так и на дозиметрическом контроле рабочих мест. Мониторинг рабочих мест может выполняться посредством измерения уровня излучения в производственных зонах в начале и в конце каждого этапа перевозки. При необходимости дополнительно следует проводить мониторинг активности воздуха и проверку загрязнения поверхностей. Для

третьей категории (подпункт «в» настоящего пункта) индивидуальный дозиметрический контроль обязателен. Его следует выполнять с применением специальных приборов, таких как термомлюминесцентные дозиметры и при необходимости нейтронные дозиметры.

Следует уделять особое внимание проведению дозиметрического контроля при перевозках на условиях исключительного использования, так как в данном случае допускаются относительно высокие уровни излучения. Для правильной оценки категории облучения следует учитывать облучение, полученное на всех этапах транспортирования, включая перевозку, погрузку и выгрузку.

1.2.5. Радиоактивные материалы должны быть отделены от непроявленных киноплёнок, фотоплёнок, рентгеновских плёнок, фотопластинок и рентгеновских пластинок (далее — фоточувствительные материалы). Определение разделяющего расстояния проводится так, чтобы облучение указанных материалов вследствие перевозки радиоактивных материалов было ограничено до 0,1 мЗв на партию груза фоточувствительных материалов (приложение № 3 к настоящим Правилам).

Комментарий

Кроме предотвращения переобучения персонала и населения, НП-053-16 предусматривают меры по предотвращению недопустимого радиационного воздействия на фоточувствительные материалы путем обеспечения необходимых расстояний между грузами РМ и такими материалами.

В ходе оценки влияния ионизирующего излучения на рентгеновские пластинки [27] определено, что после проявления на них может появляться легкая вуаль, если они были подвержены гамма-облучению дозой, превышающей 0,15 мЗв. Учитывая результаты данного исследования, а также его возможные неопределенности, ограничения на облучение фоточувствительных материалов установлены на уровне 0,1 мЗв.

Время перевозки может варьироваться от нескольких часов (например, при воздушных перевозках) до нескольких недель (например, при морских перевозках). Необходимо обеспечивать различные расстояния между РМ и фоточувствительными материалами в зависимости от продолжительности перевозки, чтобы суммарное облучение партии фоточувствительных материалов в течение перевозки не превышало пределов, установленных в данном пункте. При определении разделяющих расстояний необходимо учитывать особенности транспортного средства, в частности его геометрическую конфигурацию, а также применяемые конструкционные материалы.

Установление разделяющих расстояний не освобождает от необходимости проведения расчетных оценок дозовых нагрузок.

Следует также обеспечивать достаточные разделяющие расстояния между грузами РМ и любыми неидентифицируемыми грузами (например, почтовые отправления), которые могут содержать фоточувствительные материалы. Необходимо также учитывать возможное наличие фоточувствительных материалов в соседних транспортных средствах, не занятых в транспортировании РМ (например, в соседнем автомобиле при наземных перевозках).

1.2.6. Грузоотправитель, грузополучатель и перевозчик груза обязаны осуществлять мероприятия по предупреждению транспортных происшествий и аварий и по ликвидации их последствий в соответствии с требованиями настоящих Правил и правил перевозки грузов (опасных грузов), действующих на различных видах транспорта.

Комментарий

Требования, установленные в НП-053-16, при условии их выполнения проектантом упаковки, грузоотправителем, грузоперевозчиком и грузополучателем, обеспечивают высокий уровень безопасности при перевозке РМ. Тем не менее выполнение в полном объеме данных требований не исключает возможность возникновения аварии. В связи с этим требуются заблаговременное планирование и подготовка мероприятий аварийного реагирования. Аварийное реагирование при транспортировании РМ в большинстве случаев аналогично аварийному реагированию при радиационных авариях на стационарных объектах. Необходимо, чтобы организации, осуществляющие транспортирование РМ, с участием грузоотправителей и грузополучателей устанавливали аварийные процедуры по предупреждению транспортных происшествий и аварий и по ликвидации их последствий.

Указанные процедуры устанавливаются в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии «Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ» (НП-074-06) [14].

1.2.7. Программы обеспечения качества должны разрабатываться и осуществляться применительно к проектированию, изготовлению и эксплуатации всех радиоактивных материалов особого вида (далее — РМОВ), радиоактивных материалов с низкой способностью к рассеянию (далее — РМНР) и упаковочных комплектов, а также в отношении транспортных операций и временного (транзитного) хранения с целью обеспечения выполнения требований настоящих Правил.

Для упаковочных комплектов, разработанных и (или) изготовленных до 5 января 2005 г., допускается отсутствие программ обеспечения качества для стадий разработки и (или) изготовления. В этом случае программы обеспечения качества при эксплуатации должны включать соответствующие компенсирующие положения.

Комментарий

НП-053-16 устанавливают требования, которые должны выполняться на соответствующих этапах подготовки, организации и непосредственного осуществления перевозок РМ. Программа обеспечения качества служит одним из механизмов эффективного контроля выполнения требований НП-053-16 со стороны участников транспортирования. Программы обеспечения качества, требуемые НП-053-16, должны охватывать все работы, влияющие на безопасность перевозки.

Под обеспечением качества понимается систематический и документированный подход к контролю выполнения требований безопасности, гарантирующий, что требуемые условия или уровень безопасности постоянно достигаются. При осуществлении деятельности по транспортированию РМ следует развивать культуру безопасности, а также документировать, например, посредством специальных актов выполнение транспортных операций. Для обеспечения качества в случае неудовлетворительного выполнения операций следует предусматривать необходимые корректирующие меры.

Уровень системы обеспечения качества в организации должен быть достаточным для поддержания состояния упаковочных комплектов в соответствии с требованиями НП-053-16 даже после многократного использования. С этой целью должны быть разработаны соответствующие процедуры технического обслуживания, ремонта и продления ресурса упаковочных

комплектов. Управление надежностью упаковочных комплектов должно осуществляться путем разработки и выполнения программы управления ресурсом.

В НП-053-16 не содержатся конкретные требования к программам обеспечения качества при транспортировании РМ, однако рекомендации по структуре и содержанию данных программ представлены в РБ-110-16 [16].

Под компенсирующими положениями для упаковочных комплектов, разработанных и (или) изготовленных до 5 января 2005 г. в данном пункте понимаются мероприятия по обеспечению качества, выполняемые при эксплуатации упаковочных комплектов и учитывающие возможное отсутствие надлежащих мероприятий по обеспечению качества при изготовлении данных упаковочных комплектов.

1.2.8. Если при перевозке груза не могут быть выполнены отдельные требования безопасности, изложенные в главах II и V настоящих Правил, такая перевозка может быть осуществлена только в специальных условиях.

Комментарий

Концепция специальных условий призвана дать возможность гибкого выбора альтернативных мер безопасности, эквивалентных тем, которые фактически предписаны НП-053-16. При транспортировании в специальных условиях возможно осуществлять тестирование новых технологических решений, а также мер контроля и обеспечения безопасности. Кроме того, в специальных условиях следует перевозить грузы РМ, параметры которых не соответствуют требованиям НП-053-16.

Транспортирование в специальных условиях может применяться в случае небольшого повреждения упаковок, при которых не возникает значительного влияния на безопасность транспортирования РМ. При этом специальные условия не распространяются на перевозку упаковок со значительными повреждениями (после аварий), которые осуществляются в соответствии с положениями Планов работ по ликвидации последствий аварий.

При перевозке в специальных условиях должен обеспечиваться не меньший уровень безопасности, чем при выполнении всех установленных требований НП-053-16 для конкретного груза РМ. Для этих целей целесообразно учитывать защитные свойства транспортного средства, ограничивать скорость движения и (или) исключать всякое другое движение при перевозке груза РМ, а также выбрать специальный маршрут. Каждый случай транспортирования в специальных условиях следует согласовывать с органом регулирования при использовании атомной энергии и ГКО. Рекомендации по обеспечению безопасности при транспортировании крупногабаритных грузов (частный случай специальных условий) приведены в приложении № 6 к настоящим Справочным материалам.

К дополнительным мерам, которые могут использоваться для обеспечения безопасности при перевозках в специальных условиях, можно отнести:

- перевозку на условиях исключительного использования;
- выделение квалифицированного сопровождающего персонала. Сопровождающими могут быть специалисты по радиационной безопасности, снабженные приборами контроля и обученные процедурам противоаварийного реагирования. В случае аварии или иного нештатного события сопровождающий персонал должен быстро определять наличие угрозы радиационного облучения или загрязнения и оказывать соответствующие консультации прибывшим АСФ. При перевозке автомобильным транспортом

сопровождающему персоналу по мере возможности следует находиться в отдельном транспорте, чтобы не оказаться недееспособным в результате самой аварии. Сопровождающий персонал также должен быть снабжен всем оборудованием, необходимым для ликвидации последствий аварии, и знаками для обозначения границ опасной зоны и зоны ограниченного доступа, а также средствами связи. Кроме специалистов по радиационной безопасности, в состав сопровождающего персонала могут включаться представители силовых структур и пожарные;

- при составлении маршрута перевозки следует выбирать наименее опасные дороги и по возможности избегать густонаселенные районы и потенциально опасные места (например, крутые уклоны и железнодорожные переезды);
- при планировании графика перевозки следует избегать периодов интенсивного движения (например, часов пик);
- по возможности перевозки следует делать без остановок и перегрузок в пути;
- по возможности следует ограничить скорость передвижения транспортного средства. Пониженная скорость транспортного средства не должна вызывать дополнительных опасностей, таких, как столкновения с транспортными средствами, движущимися быстрее;
- следует предварительно оповещать службы противоаварийного реагирования (АСФ, МЧС, полицию и др.);
- по мере необходимости следует использовать вспомогательное оборудование, например, особую систему крепления упаковки к перевозочному средству или системы амортизаторов и иные защитные устройства и конструкции.

1.2.9. При транспортировании радиоактивных материалов дополнительно должны быть приняты во внимание другие опасные свойства этих материалов или материалов упаковки в соответствии с правилами перевозки опасных грузов. Необходимо также учитывать возможность образования продуктов, обладающих опасными свойствами, в результате взаимодействия радиоактивных материалов или материалов упаковок с атмосферным воздухом или водой.

Комментарий

Соблюдение положений НП-053-16 не исключает необходимости учитывать опасные свойства РМ, которые не связаны с ионизирующим излучением. Данные опасные свойства должны быть учтены при организации перевозки, а ГКО должен принимать во внимание такие свойства РМ при выдаче сертификатов-разрешений.

Примерами таких опасных свойств РМ могут являться повышенная склонность к коррозии, взрывоопасность, токсичность. Кроме того, в случае выхода содержимое может реагировать с окружающей средой (воздухом, водой и т. п.), создавая в свою очередь опасные вещества. В частности, гексафторид урана (UF_6) реагирует при определенных условиях как с влагой в воздухе, так и с водой с образованием токсичных веществ.

При повреждении системы герметизации упаковки в условиях аварии воздух и (или) вода могут проникать внутрь и в некоторых случаях вступать в химическую реакцию с содержимым. Для отдельных РМ эти химические реакции могут производить щелочи, кислоты, а также отравляющие вещества, потенциально опасные для окружающей среды и людей. Данное обстоятельство следует учитывать в конструкции упаковок и при планировании мероприятий аварийного

реагирования. Следует 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. Ограничения на конструкцию или применение упаковки, связанные с другими опасными свойствами РМ, могут быть более жесткими, чем ограничения, связанные с радиоактивной природой содержимого.

При транспортировании РМ, обладающих другими опасными свойствами, необходимо соблюдать требования соответствующих нормативных документов, регулирующих безопасность обращения с такими опасными грузами, в том числе в части требований к конструкции упаковки и нанесения соответствующей маркировки.

В связи с большим объемом перевозок гексафторида урана в НП-053-16 отдельно учтены требования к упаковкам, содержащим UF_6 , с целью учета присущих ему опасностей. Данные требования представлены в пунктах 2.7.1–2.7.3 НП-053-16.

1.3. Классификация и пределы загрузки упаковок

1.3.1. Требования к упаковкам и упаковочным комплектам зависят от количества и степени опасности перевозимого радиоактивного материала с учетом следующих условий перевозки:

- а) обычные условия перевозки (без аварий и происшествий);
- б) нормальные условия перевозки (незначительные происшествия), имитируемые испытаниями в соответствии с настоящими Правилами;
- в) аварийные условия, имитируемые испытаниями в соответствии с настоящими Правилами.

Комментарий

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

Обычные условия определяются теми воздействиями на груз, которые всегда имеют место на транспорте (ускорения, вибрация, колебания температуры окружающей среды, изменение влажности и т. д.). В НП-053-16, за исключением некоторых положений по температуре, ускорениям и вибрации, не установлены требования к испытаниям для обычных условий перевозки. Необходимо следовать общему требованию об использовании соответствующих норм и стандартов для конструктивного исполнения и изготовления упаковок, установленному в пункте 2.8.14 НП-053-16.

В общем виде нормальные условия или испытания на нормальные условия определяют те ситуации и воздействия при перевозке, после которых перевозка продолжается без принятия каких-либо специальных дополнительных мер.

Под аварийными условиями понимаются ситуации, которые характеризуются существенными отклонениями от обычных условий транспортирования и которые требуют реализации специальных мероприятий по ликвидации их последствий.

1.3.2. Упаковки подразделяются на следующие типы.

1.3.2.1. Освобожденная упаковка — упаковочный комплект, содержащий радиоактивные материалы с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.1, конструкция

которого удовлетворяет общим требованиям к транспортным упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4 настоящих Правил).

1.3.2.2. Промышленная упаковка типа 1 (IP-1) — упаковочный комплект, содержащий материал НУА-I или объект с поверхностным радиоактивным загрязнением (далее — ОПРЗ) ОПРЗ-I с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.2, конструкция которого удовлетворяет общим требованиям к транспортным упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4 настоящих Правил) и пункту 2.8.2 настоящих Правил.

1.3.2.3. Промышленная упаковка типа 2 (IP-2) — упаковочный комплект, содержащий некоторые виды материалов НУА-I, НУА-II, НУА-III или ОПРЗ-II (таблицу № 10 приложения № 4 к настоящим Правилам) с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.2, конструкция которого удовлетворяет общим требованиям к транспортным упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4 настоящих Правил), пункту 2.8.2 настоящих Правил и дополнительным требованиям (подраздел 2.6 настоящих Правил).

1.3.2.4. Промышленная упаковка типа 3 (IP-3) — упаковочный комплект, содержащий некоторые виды материалов НУА-II или НУА-III (таблицу № 10 приложения № 4 к настоящим Правилам) с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.2, конструкция которого удовлетворяет общим требованиям к транспортным упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4 настоящих Правил), пункту 2.8.2 настоящих Правил и дополнительным требованиям (подраздел 2.6 настоящих Правил).

1.3.2.5. Упаковка типа А — упаковочный комплект, содержащий радиоактивный материал с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.4, конструкция которого удовлетворяет общим требованиям к транспортным упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4 настоящих Правил), а также требованиям к упаковкам типа А (подраздел 2.8 настоящих Правил).

1.3.2.6. Упаковка типа В(U) и упаковка типа В(M) — упаковочный комплект, содержащий радиоактивный материал с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.5, конструкция которого удовлетворяет требованиям к упаковкам типа В(U) или В(M) (подразделы 2.9 и 2.10 настоящих Правил).

1.3.2.7. Упаковка типа С — упаковочный комплект, содержащий радиоактивный материал с активностью, не превышающей значений, указанных в пункте 1.3.3.6, конструкция которого удовлетворяет требованиям к упаковкам типа С (подраздел 2.11 настоящих Правил).

Комментарий

Требования НП-053-16 в отношении типов упаковок существенно отличаются в зависимости от характеристик радиоактивного содержимого, что является своего рода дифференцированным подходом. При увеличении опасных свойств радиоактивного содержимого ужесточаются и требования к конструкции упаковки, ее испытаниям и эксплуатации. Например, для освобожденных упаковок нет необходимости в проведении испытаний целостности системы герметизации или биологической защиты в связи с небольшой опасностью содержимого таких упаковок. Напротив, упаковки типа С должны быть способны выдерживать условия тяжелых аварий при перевозке воздушным транспортом, так как их содержимое обладает большой радиоактивностью.

1.3.3. Упаковки должны содержать только те радиоактивные материалы, которые разрешены для данной конструкции упаковки. При этом должны быть выполнены следующие общие требования к количеству и параметрам загружаемых радиоактивных материалов.

Комментарий

Общим требованием к пределам загрузки упаковок служит требование о загрузке только того РМ, для которого упаковка была сконструирована (модернизирована) и прошла соответствующее согласование (утверждение).

1.3.3.1. Требования, предъявляемые к освобожденным упаковкам:

а) для радиоактивного материала иного, чем предметы из природного урана, обедненного урана или природного тория, освобожденная упаковка не должна содержать радиоактивный материал, активность которого превышает следующие значения:

- пределы, указанные в колонках 2 и 3 таблицы № 9 приложения № 4 к настоящим Правилам для каждого отдельного предмета и каждой упаковки, соответственно, для радиоактивного материала, содержащегося в приборе или являющегося частью прибора или другого промышленного изделия, такого как часы или электронная аппаратура, отвечающие требованиям пункта 5.5.4;
- пределы активности, указанные в колонке 4 таблицы № 9 приложения № 4 к настоящим Правилам для радиоактивного материала, не используемого вышеуказанным образом;

б) освобожденная упаковка может содержать любое количество предметов, изготовленных из природного урана, обедненного урана или природного тория при условии, что внешняя поверхность урана или тория покрыта нерадиоактивной оболочкой из металла или другого прочного материала;

в) упаковка должна содержать гексафторид урана менее 0,1 кг с активностью, не превышающей значения, указанные в колонке 4 таблицы № 9 приложения № 4 к настоящим Правилам;

г) порожняя упаковка, ранее содержавшая радиоактивный материал и классифицируемая в качестве освобожденной упаковки, не должна содержать радиоактивный материал в виде снимаемого радиоактивного загрязнения внутренней поверхности с активностью более, чем указано в подпункте «в» пункта 5.8.1.

Комментарий

Допустимые пределы загрузки освобожденных упаковок сильно различаются (в сотни и тысячи раз) в зависимости от физических свойств перевозимого РМ. Увеличение допустимой активности при перевозках приборов и инструментов с РМ обосновано тем, что прибор сам служит дополнительным барьером от опасного воздействия РМ.

1.3.3.2. Для упаковок типа IP-1, IP-2 и IP-3 полная активность материалов НУА или ОПРЗ ограничивается таким образом, чтобы не превышались уровни излучения от материалов НУА или ОПРЗ, указанные в пункте 5.6.1, и пределы активности для перевозочного средства, указанные в таблице № 11 приложения № 4 к настоящим Правилам.

В случае перевозки воздушным транспортом упаковок, содержащих негорючие твердые материалы НУА-II или НУА-III, их активность не должна превышать $3000A_2$.

Комментарий

В случае аварий при транспортировании упаковок с материалами НУА и ОПРЗ предполагается, что наличие незащищенного РМ не приведет к превышению уровня излучения в 10 мЗв/ч на расстоянии 3 м от него, что обеспечивается ограничениями по активности данных материалов, приведенными в НП-053-16. Данные пределы определены с учетом повышенной опасности жидкостей и газов.

1.3.3.3. Освобожденные и промышленные упаковки не должны содержать радиоактивные материалы, форма, физическое или химическое состояние которых отличаются от тех, которые разрешены для данной конструкции упаковки в соответствии с техническими условиями.

Комментарий

В технических условиях на упаковку должны содержаться требования, которым должна соответствовать данная упаковка, в том числе требования к допустимому радиоактивному содержанию упаковки. Как правило, в технических условиях указываются свойства радиоактивного содержимого, включая его активность, агрегатное состояние и другие характеристики.

1.3.3.4. Требования, предъявляемые к упаковкам типа А:

а) упаковки типа А не должны содержать радиоактивные материалы, форма, физическое состояние, химическая форма или радионуклидный состав которых отличаются от тех, которые разрешены для упаковки данной конструкции и указываются в сертификатах-разрешениях на конструкцию упаковки;

б) упаковки типа А не должны содержать радиоактивные материалы, активность которых превышает следующие значения:

A_1 для радиоактивного материала особого вида;

A_2 для всех других радиоактивных материалов;

в) в отношении смесей радионуклидов, состав и соответствующая активность которых известны, к радиоактивному содержимому упаковки типа А применяется следующее условие:

$$\sum_i \frac{B(i)}{A_1(i)} + \sum_j \frac{C(j)}{A_2(j)} \leq 1,$$

где: $B(i)$ — активность i -го радионуклида в качестве радиоактивного материала особого вида;

$A_1(i)$ — значение A_1 для i -го радионуклида;

$C(j)$ — активность j -го радионуклида в качестве радиоактивного материала, иного, чем радиоактивный материал особого вида;

$A_2(j)$ — значение A_2 для j -го радионуклида.

Комментарий

Ограничения активности содержимого упаковок типа А (A_1 для материалов особого вида и A_2 для остальных материалов) для любого радионуклида или комбинации радионуклидов устанавливаются на основе оцененных радиационных последствий разрушения упаковки в результате аварии. 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 РМОВ.

1.3.3.5. Требования, предъявляемые к упаковкам типа В(U) и типа В(M):

а) упаковки типа В(U) и типа В(M) не должны содержать радиоактивные материалы, активность которых превышает значение, разрешенное для упаковки данной конструкции;

б) упаковки типа В(U) и типа В(M) не должны содержать радиоактивные материалы, форма, физическое состояние, химическая форма или радионуклидный состав которых отличаются от тех, которые разрешены для упаковки данной конструкции и указываются в сертификатах-разрешениях на конструкцию упаковки;

в) в случае перевозки воздушным транспортом упаковки типа В(U) и типа В(M) не должны содержать материалы, активность которых превышает следующие значения:

- значения, соответствующие требованию подпункта «а» пункта 2.3.1, — для радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию;
- $3000A_1$ или $100000A_2$ в зависимости от того, какое значение является более низким, — для радиоактивного материала особого вида;
- $3000A_2$ — для всех других радиоактивных материалов.

Комментарий

Предел $3\ 000\ A_2$ является пороговым значением, при превышении которого упаковка должна относиться к упаковке типа В(M). Данный предел установлен на основании данных работы [27], в которой рассматривались аварии при транспортировании упаковок типа В воздушным транспортом. Он же является пороговым значением, для которого требуется утверждение перевозки упаковок типа В(M).

1.3.3.6. Упаковки типа С не должны содержать:

а) радиоактивные материалы, активность которых превышает значение, разрешенное для упаковки данной конструкции;

б) радиоактивные материалы, форма, физическое состояние, химическая форма или радионуклидный состав которых отличаются от тех, которые разрешены для упаковки данной конструкции и указываются в сертификатах-разрешениях на конструкцию упаковки.

Комментарий

Конструкция упаковки типа С должна обеспечивать приемлемый уровень радиационного воздействия при попадании упаковки в тяжелую авиакатастрофу. В пределах активности содержимого упаковки типа С, указываемых в сертификате-разрешении, следует учитывать результаты испытаний упаковок типа С, отражающие серьезные аварийные нагрузки, которые возможны при тяжелой авиакатастрофе. Конструктивные свойства упаковки должны также обеспечивать сохранение необходимой формы РМ, его физическое или химическое состояние, а также совместимость с системой герметизации.

1.3.3.7. Упаковки с делящимися материалами не должны содержать:

а) любой радионуклид или делящиеся материалы, отличающиеся от тех, которые разрешены для данной конструкции упаковки;

б) делящиеся материалы, масса, форма, физическое состояние, химическая форма или пространственное размещение которых отличаются от тех, которые разрешены для упаковки данной конструкции и указаны в сертификатах-разрешениях на конструкцию упаковки.

Комментарий

Кроме соответствующих ограничений по величине активности, упаковки с ДМ имеют ограничения по загрузке (количеству и конфигурации размещаемых ДМ), которые обусловлены необходимостью обеспечения ядерной безопасности.

Важно, чтобы содержание ДМ в упаковке соответствовало утвержденному описанию ее содержимого, поскольку обеспечение ядерной безопасности транспортирования существенно зависит от количества, типа, формы и конфигурации ДМ, наличия фиксированных поглотителей нейтронов и (или) иных неделящихся материалов, перевозящихся в упаковке.

В описание разрешенного содержимого упаковки с ДМ следует включать, в том числе, максимальное количество содержимого, не являющегося ДМ (например, элементы упаковки, внутренние резервуары и т. п.). Следует также приводить максимальное содержание возможных примесей к разрешенному содержимому.

При анализе безопасности следует тщательно учитывать весь диапазон изменения параметров, характеризующих содержимое упаковки. Важно обеспечить точное соответствие фактически загружаемого количества ДМ количеству, определенному в сертификате-разрешении. Любые несоответствия в количестве ДМ могут привести к увеличению коэффициента размножения нейтронов. Кроме того, в случае уменьшения количества ДМ возможна ситуация, при которой возникает оптимальное соотношение ядер ДМ и ядер замедлителя, что также может привести к увеличению коэффициента размножения нейтронов. Кроме того, должен быть обеспечен контроль за нуклидным составом ДМ, загружаемого в упаковку (например, замена ^{235}U на ^{233}U может привести к увеличению коэффициента размножения нейтронов).

1.3.3.8. Содержимое упаковки с гексафторидом урана должно отвечать следующим требованиям:

а) масса гексафторида урана не должна превышать значение, допустимое для данной конструкции упаковки;

б) масса гексафторида урана не должна превышать значение, которое может привести к образованию незаполненного объема менее 5 % при максимальной температуре упаковки, которая указывается для заводских систем, где может использоваться данная упаковка;

в) гексафторид урана должен быть в твердой форме, а внутреннее давление при представлении для перевозки не должно превышать атмосферное давление.

Комментарий

Кроме соответствующих ограничений по величине активности, упаковки с гексафторидом урана имеют дополнительные ограничения в соответствии с требованиями пункта 1.3.3.8 НП-053-16.

Предел массы гексафторида урана в загруженной упаковке определен так, чтобы предотвратить переопрессовку как при заполнении, так и при опорожнении. Этот предел следует определять на основе значений максимальной рабочей температуры контейнера с гексафторидом урана, минимального запаса внутреннего объема контейнера (5 %) и чистоты гексафторида урана в 99,5 %.

Требование, чтобы гексафторид урана был в твердой форме, а внутреннее давление в контейнере с гексафторидом урана было ниже атмосферного при представлении для перевозки, необходимо для безопасного выполнения ТТО и при перевозке. В общем случае контейнеры

заполняют гексафторидом урана при давлениях выше атмосферного в газообразном или жидком состоянии. При данных условиях вероятно нарушение системы герметизации как контейнера, так и системы заполнения на предприятии, что может приводить к выходу гексафторида урана из упаковки сверх установленных пределов. Однако в случае, если гексафторид урана находится в термически стабильном состоянии при нормальных условиях перевозки, нагрев выше его тройной точки (64°C) при нормальном атмосферном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па) маловероятен.

Гексафторид урана расширяется на 47 % (от $0,19 \text{ см}^3/\text{г}$ до $0,28 \text{ см}^3/\text{г}$) при фазовом переходе из твердого состояния (при 20°C) в жидкое (при 64°C). Кроме того, жидкий гексафторид урана будет расширяться дополнительно на 10 % по отношению к объему в твердом состоянии (от $0,28 \text{ см}^3/\text{г}$ в тройной точке до $0,3 \text{ см}^3/\text{г}$) при нагреве от 64°C до 113°C . В результате может наблюдаться дополнительный существенный рост объема гексафторида урана. Поэтому при заполнении контейнера гексафторидом урана, следует уделять особое внимание обеспечению соблюдения предела заполнения контейнеров.

Например, контейнер объемом 3 964 л может принять до 14 257 кг гексафторида урана. При нагреве жидкий гексафторид урана может целиком заполнить контейнер и за счет гидравлических сил деформировать его, а также разорвать контейнер при нагревании выше 113°C . Разрыв за счет гидравлических усилий должен быть исключен путем соблюдения установленных пределов заполнения, основанных на сертифицированном минимальном объеме контейнера и плотности гексафторида урана для всех контейнеров при максимальной температуре, определяемой конструкцией контейнера [28].

При установлении пределов заполнения контейнеров с гексафторидом урана следует учитывать внутренний объем гексафторида урана в разогретом и жидком состоянии, а также незаполненный объем в контейнере. Анализ, устанавливающий предел заполнения и величину этого предела, следует включать в документацию, обосновывающую безопасность конструкции упаковки и направляемую в ГКО в рамках получения соответствующих сертификатов-разрешений.

Перед перевозкой контейнера с гексафторидом урана грузоотправителю следует убедиться, что его внутреннее давление ниже атмосферного путем соответствующих измерений. Так, в соответствии со стандартом ISO 7195 [29], контейнер с гексафторидом урана следует перевозить только после подтверждения того, что давление внутри контейнера меньше атмосферного и равно $6,9 \cdot 10^4$ Па. Результаты данных измерений следует оформлять соответствующими актами.

1.3.3.9. В случае, если упаковка будет отвечать требованиям настоящих Правил при загрузке ее другим радиоактивным материалом (отличным от указанного в соответствующем сертификате-разрешении), загрузка в нее другого радиоактивного материала допускается при условии оформления нового сертификата-разрешения или дополнения к существующему сертификату-разрешению.

Комментарий

Дополнение к сертификату-разрешению на упаковку может выдаваться, например, в случае замены РМ, предполагаемого к транспортированию в данной упаковке, которая влияет на различные параметры упаковки (уровень излучения за защитой, $K_{\text{эфф}}$ и т. д.), однако не приводит к нарушению требований НП-053-16. Срок действия дополнения обычно не превышает срока

действия самого сертификата. Кроме того, дополнение действительно только совместно с оригинальным сертификатом-разрешением.

II. Требования к радиоактивным материалам, транспортным упаковочным комплектам и упаковкам

2.1. Требования к радиоактивным материалам НУА-III

2.1.1. Материал НУА-III должен быть твердым и обладать такими свойствами, чтобы при проведении испытаний всего содержимого упаковки, указанных в подразделе 3.2 настоящих Правил, активность воды не превышала $0,1 A_2$.

Комментарий

Несмотря на достаточно большую активность РМ типа НУА-III данные материалы представляются относительно безопасными в связи с тем, что их активность практически равномерно распределена и тяжело рассеивается, а удельная активность этих материалов ограничена. Однако необходимо максимально снизить рассеиваемость (выщелачивание) данных РМ. Способность РМ типа НУА-III к рассеянию проверяется испытанием на выщелачивание в соответствии с требованиями пункта 3.2 НП-053-16.

В основном к РМ типа НУА-III относятся РАО. Требования данного пункта распространяются на материалы НУА-III, имеющие среднюю удельную активность $2 \cdot 10^{-3} A_2/\text{г}$, что выше предела $10^{-4} A_2/\text{г}$, установленного для материалов НУА-II. Безопасность транспортирования РМ типа НУА-III с повышенной удельной активностью обеспечивается за счет:

- твердой недисперсной формы таких материалов, что исключает образование порошков, а также жидкостей или растворов;
- проведения испытаний на выщелачивание для обоснования достаточной нерастворимости указанных материалов в случае воздействия различных природных условий (например, ливня);
- более высоким уровнем требований к упаковкам типа ПУ-3, которые аналогичны требованиям к упаковкам типа А в случае перевозки твердых материалов;
- при исключительном использовании упаковки типа ПУ-2 отсутствие испытаний на опрыскивание водой и на глубину разрушения компенсируется испытанием на выщелачивание и эксплуатационным контролем, соответственно.

Предельная скорость выщелачивания $0,1 A_2$ за неделю рассчитана для случая с РМ в контейнере, который подвергается воздействию погодных условий так, чтобы наружная поверхность РМ в течение одной недели была покрыта водяной пленкой. В случае попадания данной упаковки в аварию в процессе перевозки, часть жидкости, образовавшейся на поверхности РМ, может испаряться. При этом основываясь на стандартной модели определения величины A_2 , предполагается, что от 10^{-4} до 10^{-3} активности жидкости поступает в организм человека (приложение № 2 к настоящему Справочным материалам). В связи с тем, что, в соответствии с требованиями пунктов 3.4.2.4 и 3.4.2.5 НП-053-16, данная упаковка должна выдерживать испытания на свободное падение и штабелирование, представляется возможность сделать предположение о том, что упаковка способна сохранять свое содержимое. При этом предполагается, что максимальный выход радиоактивного содержимого из упаковки не превосходит 10^{-2} от его общей активности. Учитывая вышеотмеченные предположения, а также тот факт, что суммарное поступление в организм человека

должно быть ограничено величиной $10^{-6} A_2$, чтобы соответствовать уровню безопасности, предусмотренному для упаковок типа А (пункта 2.9.4 НП-053-16), активность рассеиваемого содержимого упаковки (то есть жидкости) не должна превышать $0,1 A_2$.

2.2. Требования к радиоактивным материалам особого вида

2.2.1. Радиоактивный материал особого вида должен иметь по крайней мере один габаритный размер не менее 5 мм.

Комментарий

Введенное в данном пункте НП-053-16 ограничение минимального размера РМОВ значением 5 мм обуславливается необходимостью облегчения обнаружения данного материала при авариях.

2.2.2. Радиоактивный материал особого вида должен обладать такими свойствами или должен быть сконструирован так, чтобы при испытаниях, указанных в пунктах 3.3.1 – 3.3.10 настоящих Правил, были выполнены следующие требования:

а) он не должен ломаться или разрушаться при испытаниях на столкновение, удар и изгиб, указанных в пунктах 3.3.4–3.3.6 или подпункте «а» пункта 3.3.8 (по применимости);

б) он не должен плавиться или расплываться при тепловых испытаниях, указанных в пункте 3.3.7 или подпункте «б» пункта 3.3.8 (по применимости);

в) активность воды после испытаний на выщелачивание согласно пунктам 3.3.9 или 3.3.10 не должна превышать 2 кБк; в качестве альтернативы для закрытых источников степень утечки после соответствующих испытаний методом оценки объемной утечки, указанных в стандарте ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) «Государственный стандарт Российской Федерации. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Методы испытания на утечку» (принят и введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 11 июля 2002 г. № 275-ст, М.: ИПК Издательство стандартов, 2002), не должна превышать соответствующего допустимого предела, который согласуется при выдаче сертификата-разрешения.

Комментарий

Для перевозки РМОВ в основном используются упаковки типа А. НП-053-16 не требуют от таких упаковок способности выдерживать аварийные условия перевозок, а 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 физическими свойствами самого материала. В связи с этим РМОВ должны быть способны выдерживать серьезные механические и тепловые испытания без неприемлемой потери или рассеяния РМ в любое время в течение срока службы.

Результатами испытаний должно быть показано, что выщелачивание испытываемого материала равно или превосходит выщелачивание РМОВ, который планируется перевозить в упаковке. При использовании нерадиоактивного материала в качестве образца измерение утечки материала должно быть связано с пределом активности, определенным в пункте 2.9.2 НП-053-16. При этом могут применяться соответствующие обоснованные масштабные модели. Для закрытого РМ масштабная экстраполяция затруднена, и в этом случае могут использоваться подходящие методы оценки объемной утечки (вакуумный, пузырьковый, гелиевый).

НП-053-16 допускают применение альтернативных методов испытаний оценки утечки для закрытых источников. Когда испытания конструкции капсулы проводятся с нерадиоактивным содержимым, оценка утечки может проводиться методом объемной утечки.

Скорость утечки гелия составляет $10 \text{ мкПа} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ для невыщелачиваемого твердого вещества и $0,1 \text{ мкПа} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ для выщелачиваемого твердого, жидкого или газообразного вещества и в большинстве случаев должна рассматриваться как эквивалентная предельной утечке активности радионуклида до 2 кБк [30]. Скорость утечки $1 \cdot 10^{-2} \text{ мкПа} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ или меньше с использованием сухого воздуха при температуре 298°K и разности давлений от 10^3 до 10^5 Па является доказательством герметичности источника независимо от физической природы содержимого [30].

Методы проведения испытаний на объемную утечку приведены в ГОСТ 51919-2002 [31]. Данный стандарт содержит порядок проведения испытаний с погружением в жидкость, испытаний методом мазка, испытаний пузырьковым методом и т. д.

2.2.3. Для международных перевозок радиоактивного материала особого вида, составной частью которого является герметичная капсула, эта капсула должна быть изготовлена таким образом, чтобы ее можно было открыть только путем разрушения.

Комментарий

Под разрушением герметичной капсулы понимаются такие методы, как резка (механическая, тепловая), сверление, распиливание и т. д. Капсулы с завинчивающимися пробками (крышками) не отвечают указанным требованиям. Невозможность открытия герметичной капсулы должна быть подтверждена перед ее эксплуатацией.

2.3. Требования к радиоактивным материалам с низкой способностью к рассеянию

2.3.1. Общее количество радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию в упаковке должно отвечать следующим требованиям:

- а) уровень излучения на расстоянии 3 м от всего незащищенного радиоактивного материала не должен превышать 10 мЗв/ч ;
- б) при испытаниях, указанных в пунктах 3.4.6.3 и 3.4.6.4, выброс в атмосферу в газообразной или аэрозольной формах частиц с диаметром аэродинамического эквивалента до 100 мкм не должен превышать 100A_2 ; для каждого испытания может использоваться отдельный образец;
- в) при испытании на выщелачивание, указанном в пункте 3.2.1, активность воды не должна превышать 100A_2 ; во время проведения этого испытания следует принимать во внимание возможное разрушение в результате испытаний, указанных в подпункте «б».

Комментарий

Ограничение уровня внешнего излучения на расстоянии 3 м от незащищенного РМ с низкой способностью к рассеянию гарантирует, что потенциальная доза при серьезной аварии с промышленными упаковками останется на достаточно низком уровне.

В соответствии с требованиями данного пункта выброс РМ с низкой способностью к рассеянию при механических и тепловых испытаниях не должен превышать 100 A_2 . Данный предел установлен для частиц с АД 100 мкм . Выход РМ в виде частиц, переносимых по воздуху, может приводить к облучению лиц, находящихся с подветренной стороны от места аварии. При этом

наибольшую опасность представляет ингаляция РМ в течение короткого промежутка времени после аварии.

Основной вклад в данный процесс вносят частицы с АД менее 10 мкм, так как вероятность их поглощения достаточно велика. Частицы с АД около 10 мкм могут попадать в организм человека при дыхании и достигать глубокой области легких, а время их выведения может быть значительным.

Однако с целью заведомого обеспечения радиационной безопасности персонала и населения ограничение на АД установлено на уровне 100 мкм, что позволяет исключить переоблучение за счет ингаляции и других способов воздействия РМ с низкой способностью к рассеянию. Частицы с АД от 10 мкм до 100 мкм не оказывают существенного влияния на уровень внутреннего облучения, однако оказывают влияние на уровень внешнего облучения. Частицы с большим АД быстро осаждаются, что может приводить к локальному загрязнению в непосредственной близости от места аварии, но не оказывает влияния на уровень внутреннего облучения.

В случае аварии, связанной с увеличением температуры (например, пожара), необходимо учитывать возможность возникновения химических реакций, которые могут приводить к образованию аэрозолей, например, продуктов горения или взрыва.

При проведении испытания на столкновение (пункт 3.4.6.4 НП-053-16) следует рассматривать возможность физического взаимодействия между отдельными составляющими РМ с низкой способностью к рассеянию, которое может приводить к значительному изменению формы материала с низкой способностью к рассеянию.

Для РМ с низкой способностью к рассеянию устанавливается также предел по выщелачиванию РМ с целью ограничения растворения и миграции РМ, которые могут вызвать значительное загрязнение почвы и водных источников. Основываясь на предположениях, указанных выше, предел для выщелачивания выбран аналогичным пределу для выброса РМ с низкой способностью к рассеянию.

Образцы, используемые в испытаниях на выщелачивание, предварительно должны подвергаться тепловому испытанию и испытанию на столкновение. В соответствии с требованиями пункта 3.4.6.1 НП-053-16 для проведения каждой из серий вышеуказанных испытаний могут быть использованы отдельные образцы, при этом оба образца следует подвергать испытанию на выщелачивание. В частности, при испытании на выщелачивание возможно использовать части РМ с низкой способностью к рассеянию, которые образовались в ходе испытания на столкновение (отделились от основного материала).

2.4. Общие требования к упаковкам и транспортным упаковочным комплектам

2.4.1. Конструкция упаковки должна обеспечивать простоту и безопасность обращения с ней при погрузке, разгрузке и перевозке с учетом массы, объема и формы. Кроме того, упаковка должна быть сконструирована так, чтобы на время перевозки ее можно было надлежащим образом закрепить на перевозочном средстве или внутри него.

Комментарий

Крепление упаковок внутри транспортного средства или на нем необходимо для исключения падения упаковок во время движения и связанных с этим повреждений. Кроме того, в

результате падения упаковок вероятна их потеря. Тяжелые незакрепленные упаковки своими самопроизвольными перемещениями могут оказывать влияние на устойчивость транспортного средства.

Падение упаковок с транспортного средства и их потеря, кроме непосредственно нанесения повреждения транспортному средству и нанесения травм людям, могут также представлять радиационную опасность.

Под «закреплением» в НП-053-16 подразумевается применение (при необходимости) различных устройств, ограничивающих перемещение упаковки внутри транспортного средства (например, тросы, строповки и другие устройства). Особое внимание на закрепление следует обращать при транспортировании грузового контейнера или транспортного пакета, содержащих несколько упаковок.

2.4.2. Элементы крепления на упаковке, предназначенные для ее перемещения (подъема), не должны отказывать при обращении с ними в соответствии с инструкцией по эксплуатации, а в случае их поломки упаковка должна удовлетворять соответствующим требованиям настоящих Правил в зависимости от типа упаковки. Должны учитываться коэффициенты запаса (по прочности и др.) на случай перемещения (подъема) упаковки рывком.

Комментарий

При выборе материалов и конструкций подъемных приспособлений должны учитываться нагрузки, возникающие при нормальных и обычных условиях транспортирования. В случае превышения обычных нагрузок, действующих на упаковку при перевозке, или при поломке подъемных приспособлений упаковка после получения таких повреждений должна продолжать соответствовать другим требованиям НП-053-16 и обеспечивать ее дальнейшую безопасную перевозку.

При выборе материалов для элементов крепления следует рассматривать материалы, которые не испытывают пластических деформаций в диапазоне нагрузок, характерных для нормальных и обычных условий транспортирования. Кроме того, следует учитывать усталостную прочность и износ элементов крепления.

Места предполагаемого возможного усталостного разрушения должны проверяться методами неразрушающего контроля, а в эксплуатационную документацию следует включать соответствующие положения.

2.4.3. Приспособления, размещенные на внешней поверхности упаковки, которые можно (санкционированно или нет) использовать для ее перемещения (подъема), должны выдерживать ее массу в соответствии с требованиями пункта 2.4.2 настоящих Правил, либо они должны быть сняты или иным образом сделаны не пригодными для использования во время перевозки.

Комментарий

Требование направлено на предотвращение случайного использования элементов упаковки, которые не предназначены для операций по обращению с ней.

2.4.4. Упаковочный комплект должен быть сконструирован и изготовлен, насколько это практически возможно, так, чтобы его внешние поверхности не имели выступающих частей, и их дезактивация не представляла трудностей, а конструкция наружной поверхности не допускала скапливания воды.

Комментарий

Введение данного требования вызвано необходимостью учета воздействий, возникающих при обычных условиях транспортирования, включая удары, трение, разрывы и другие виды воздействий на выступающие части на внешней поверхности упаковки. Такие воздействия могут являться причиной разрушения системы герметизации упаковки.

В случае если в конструкции упаковки предусматриваются элементы, предназначенные для обеспечения безопасности при обслуживании, эксплуатации или хранении, необходимо предусмотреть возможность как выполнения данными элементами своих функций, так и свести к минимуму конструктивные выступы и места, затрудненные для дезактивации, не нарушая при этом требования НП-053-16.

С целью исключения скапливания воды на поверхности упаковочного комплекта, а также снижения уровней загрязнения следует обеспечить, в том числе, качественную обработку поверхности и максимально снизить пористость поверхности. В случае невозможности или нецелесообразности полного исключения скапливания жидкостей на поверхности упаковки, в процессе транспортирования необходимо предусмотреть организационные мероприятия, направленные на очистку поверхностей упаковки.

Скопление и удержание воды (от дождя или других источников) на внешней поверхности упаковки могут приводить к нарушению целостности упаковки в результате образования ржавчины, а также к вымыванию поверхностного загрязнения и его распространению в окружающей среде. Кроме того, вода на поверхности может быть ошибочно идентифицирована как утечка из упаковки.

2.4.5. Любые устройства, добавляемые к упаковке во время перевозки, которые не являются частью упаковки, не должны уменьшать ее безопасность.

Комментарий

Данным требованием запрещается добавление не предусмотренных конструкцией упаковки вспомогательных устройств (элементов), наличие которых может привести к нарушению выполнения основными элементами упаковки своих функций, в нормальных, обычных и аварийных условиях перевозки.

2.4.6. Упаковка должна обладать способностью противостоять воздействию любого ускорения, вибрации или резонанса при вибрации, которые могут возникнуть при обычных условиях перевозки, без какого-либо ухудшения эффективности запорных устройств или целостности всей упаковки. Гайки, болты и другие элементы крепления должны быть сконструированы так, чтобы не допускалось их самопроизвольное ослабление даже при многократном применении.

В качестве максимальных значений ускорений могут быть приняты максимальные ускорения для различных видов транспорта, указанные в таблице № 1 приложения № 4 к настоящим Правилам.

Комментарий

Воздействие любого ускорения или вибрации может оказывать существенное негативное влияние на элементы упаковки.

В конструкции упаковки следует предусматривать устройства и (или) механизмы, обеспечивающие надежное закрепление элементов упаковки, уязвимых к вышеуказанным воздействиям.

При выборе крепления необходимо учитывать величины ускорений или вибраций, возможных при нормальных, обычных и аварийных условиях перевозки.

2.4.7. Радиоактивное содержимое, материалы упаковочного комплекта и любые другие элементы (например, элементы крепления упаковки на перевозочном средстве), которые могут контактировать друг с другом, должны быть физически и химически совместимы. Необходимо учитывать их состояние и взаимодействие в условиях облучения.

Комментарий

При анализе химической совместимости между радиоактивным содержимым и различными материалами элементов упаковочного комплекта следует принимать во внимание такие эффекты, как коррозия, охрупчивание, ускоренное старение и растворение эластомеров и изделий из резины, полимеризация, пиролиз и другие эффекты, которые могут привести к газообразованию и изменениям химической структуры.

При анализе совместимости следует учитывать материалы, являющиеся побочными продуктами процесса производства, очистки или ремонта упаковочного комплекта, например, чистящие вещества, жир, нефть и т. п. Кроме того, следует учитывать остатки прежнего содержимого упаковки.

При проведении анализа физической совместимости следует принимать во внимание термическое расширение материалов и радиоактивного содержимого в представляющем интерес температурном диапазоне, учитывать изменения размеров, прочностных характеристик и физического состояния материалов и радиоактивного содержимого. В частности, следует обеспечивать достаточный свободный объем с целью исключения разрушения вследствие различных скоростей расширения содержимого и системы герметизации в рассматриваемом температурном диапазоне.

2.4.8. Все клапаны, через которые может произойти выход радиоактивного содержимого, должны быть конструкционно защищены от несанкционированного воздействия на них.

Комментарий

К несанкционированным могут быть отнесены как действия посторонних лиц, так и персонала. Конструкция упаковки должна предусматривать замки, запоры, защитные крышки, препятствующие открытию клапанов, вентилях без предварительного снятия таких устройств специальным инструментом. Целесообразно также опечатывать клапана или замки.

2.4.9. Конструкция упаковки должна учитывать и другие опасные свойства радиоактивного содержимого и элементов упаковочного комплекта.

Комментарий

Радиационная опасность может быть не единственной опасностью, связанной с содержимым упаковки РМ. Возможны и другие виды опасности, в том числе пирофорность, окисляющие свойства.

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 человека. Данный факт следует учитывать в конструкции упаковок и при планировании процедур аварийного реагирования с целью снижения последствий таких реакций. Следует принимать во внимание количество вовлеченных

материалов, возможную кинетику реакций и возможное повышение концентрации или разбавление в окружающей среде, что может накладывать более жесткие ограничения на конструкцию или применение упаковки, чем ограничения, связанные с радиоактивной природой содержимого.

2.4.10. Конструкция упаковки должна разрабатываться с учетом температур и давления во внешней среде, которые могут возникнуть в обычных условиях перевозки.

Комментарий

Материал упаковки должен выдерживать изменения атмосферного давления и температуры, типичные для обычных условий перевозки, без повреждения элементов упаковки.

Диапазоны атмосферного давления 60–101 кПа и температур от -40 до +38°C приемлемы для наземных видов перевозки. Для наземного транспортирования освобожденных упаковок, упаковок типа ПУ-1, ПУ-2, ПУ-3 и упаковок типа В(М) в пределах конкретных территорий возможно применять другие значения диапазонов температур окружающей среды и давления при условии обоснованности данных диапазонов, а также принятия достаточных мер административного контроля, исключающих применение упаковок за пределами указанных территорий.

2.4.11. Упаковка должна быть сконструирована таким образом, чтобы она создавала достаточную защиту, при которой в обычных условиях перевозки с радиоактивным содержимым, предусмотренной конструкцией этой упаковки, которое приводит к максимальному уровню излучения за защитой упаковки, в надлежащих случаях в любой точке внешней поверхности упаковки обеспечивалось не превышение значений уровня излучения, определенных в пунктах 5.5.2, 5.3.3 и 5.3.4 настоящих Правил, при этом должны учитываться положения пункта 5.9.2 и подпункта «в» пункта 5.7.3.

Комментарий

Экспериментальными или расчетными методами, выполненными с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, необходимо продемонстрировать, что упаковка обеспечивает не превышение максимальных уровней излучения, установленных в правилах пределов.

Экспертиза ПС проводится в порядке, установленном в приказе Ростехнадзора от 30.07.2018 № 325 [13].

2.4.12. Для перевозки воздушным транспортом все типы упаковок должны отвечать следующим дополнительным требованиям:

- температура доступных поверхностей упаковок не должна превышать 50°C при температуре окружающей среды 38°C без учета инсоляции;
- упаковки должны быть сконструированы таким образом, чтобы в диапазоне внешних температур от -40 до +55°C не нарушалась целостность системы герметизации;
- упаковки должны обладать способностью противостоять без утечки уменьшению давления окружающей среды до 5 кПа или должны быть способны выдержать без утечки внутреннее давление, которое создает перепад давления, равный не менее чем максимальному нормальному рабочему давлению плюс 95 кПа.

Комментарий

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

При расчетах температурных режимов, выполненных с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, могут учитываться барьеры или экраны, предназначенные для защиты людей, без проведения испытаний этих барьеров или экранов.

Требуемый ИКАО (ICAO) [32] диапазон изменения температуры окружающей среды от – 40 до + 55°С охватывает значения, характерные для воздушного транспортирования.

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. Перепад давления, который возникает при увеличении высоты, также следует принимать во внимание при конструировании упаковки.

Устойчивость упаковки к МНРД, а также дополнительному перепаду давления в 95 кПа позволит со значительным консервативным запасом исключить утечку или рассеяние радиоактивного содержимого при разгерметизации самолета на максимальной высоте полета гражданской авиации с учетом любого внутреннего давления упаковки.

2.5. Требования к освобожденным упаковкам

2.5.1. Освобожденные упаковки должны удовлетворять требованиям, указанным в пунктах 2.4.1–2.4.11, а при перевозке воздушным транспортом — дополнительным требованиям, приведенным в пункте 2.4.12 настоящих Правил.

Комментарий

Разрешенное радиоактивное содержимое освобожденных упаковок ограничено крайне низкими уровнями. В связи с этим потенциальный риск незначителен и нет необходимости в испытаниях целостности системы герметизации или биологической защиты. Освобожденные упаковки должны отвечать только общим требованиям к упаковкам.

2.6. Требования к промышленным упаковкам

Упаковки типа ПУ-1 предназначены только для удержания своего радиоактивного содержимого 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 включают незначительные происшествия. Кроме того, упаковки типа ПУ-3 обеспечивают ту же целостность, что и упаковки типа А, предназначенные для перевозки твердых материалов.

2.6.1. Промышленные упаковки типа 1 (IP-1) должны удовлетворять требованиям, указанным в пунктах 2.4.1–2.4.11 и 2.8.2, при перевозке воздушным транспортом — дополнительным требованиям, приведенным в пункте 2.4.12.

Комментарий

Промышленные упаковки типа ПУ-1 должны отвечать только общим требованиям к упаковкам и упаковочным комплектам. Конкретных количественных требований к промышленным упаковкам типа ПУ-1 не предъявляется, за исключением ограничений по их радиоактивному содержанию.

2.6.2. Промышленные упаковки типа 2 (IP-2) должны удовлетворять требованиям к промышленным упаковкам типа 1 (IP-1), как указано в пункте 2.6.1, и, кроме того, после испытаний, указанных в пунктах 3.4.2.4 и 3.4.2.5, или испытаний для групп упаковки I и II по классификации Организации Объединенных Наций (далее – ООН) должны предотвращать:

- а) выход или рассеяние радиоактивного содержимого;
- б) нарушение целостности радиационной защиты, которая приводила бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на внешней поверхности упаковки.

При испытаниях, согласно классификации ООН, упаковка должна также отвечать требованиям, указанным в главе «Общие рекомендации по упаковке» Рекомендаций Организации Объединенных Наций по перевозке опасных грузов (издание ООН – ST/SG/AC.10/1, Нью-Йорк; Женева: ООН, 2011. – ISBN 978-92-1-139141-1).

Комментарий

С целью предотвращения выхода радиоактивного содержимого упаковки типа ПУ-2 должны быть снабжены системой герметизации, функционирующей при обычных и нормальных условиях перевозки. При этом в ходе обоснования выхода и распространения РМ рекомендуется учитывать низкую способность к рассеянию некоторых материалов НУА и ОПРЗ, а также их ограниченную удельную активность и возможность образования поверхностного загрязнения.

В случае если упаковка предназначена для твердого, гранулированного или жидкого содержимого, рекомендуется проводить ее испытания с использованием нерадиоактивных материалов с последующим определением отсутствия выхода содержимого. В случае если планируется транспортирование жидких РМ, при испытаниях может быть применен абсорбирующий материал. Тщательная визуальная инспекция упаковки может подтвердить, что целостность упаковки сохранена. При достаточной точности измерительных приборов возможно также проведение взвешивания упаковки до и после испытания, подтверждающего отсутствие выхода РМ.

В случае транспортирования газообразного содержимого могут использоваться метод определения всасывания или метод опрессовки с легко идентифицируемым газом (или летучей жидкостью, моделирующей присутствие газообразного вещества).

Потерю защиты следует оценивать на основе измерений, сделанных до и после испытаний. По результатам измерений должен быть сделан вывод о соответствии (несоответствии) упаковки требованиям НП-053-16.

Правилами допускается использование испытаний, классифицируемых в соответствии с Рекомендациями ООН [33], которые содержат общие положения, касающиеся конструкции упаковки и испытаний на ее работоспособность. При этом, в соответствии с Рекомендациями ООН, герметичность не относится к критериям, на соответствие которым следует оценивать защитные свойства упаковки, что необходимо принимать во внимание при использовании данных рекомендаций.

В связи с тем, что Рекомендации ООН в части испытаний на работоспособность упаковки аналогичны соответствующим требованиям НП-053-16, для испытаний упаковок типа ПУ-2 данные требования автоматически удовлетворяются всеми упаковочными комплектами ООН групп I и II. Данное обстоятельство означает, что упаковочные комплекты, маркированные знаками X или Y, в соответствии с Рекомендациями ООН, потенциально пригодны для перевозки материалов НУА (LSA) и ОППЗ (SCO), требующих использования упаковки типа ПУ-2, в случае отсутствия 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.

Упаковочные комплекты ООН групп I и II, то есть упаковочные комплекты, соответствующие спецификациям, приведенным в главе 9 Рекомендаций ООН, могут быть использованы как упаковки типа ПУ-2 при условии отсутствия потерь или рассеяния содержимого в течение и после испытаний. При условии соответствия содержимого, планируемого к перевозке, содержанию, разрешенному для конкретного упаковочного комплекта, особые требования к защите не предъявляются. Накладываемые на перевозку ограничения могут быть определены из маркировки, которая должна быть указана на упаковочных комплектах, классифицируемых в соответствии с Рекомендациями ООН. Однако в соответствии с Рекомендациями ООН допустима некоторая утечка из-под запирающих устройств при ударе. Данное допущение не соответствует требованиям пункта 2.6.2 НП-053-16 о полном отсутствии утечки или рассеяния содержимого и должно быть подтверждено дополнительно.

2.6.3. Промышленные упаковки типа 3 (IP-3) должны удовлетворять требованиям к промышленным упаковкам типа 1 (IP-1), как указано в пункте 2.6.1, и требованиям, приведенным в пунктах 2.8.2–2.8.15.

Комментарий

В общем случае 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 для упаковок типа А с жидким содержимым, что обусловлено ограничением удельной активности жидких РМ.

Исключение выхода содержимого из упаковок типа ПУ-3 предполагает такое же функционирование системы герметизации упаковки типа ПУ-3, как упаковок типа А с твердыми РМ. При этом следует принимать во внимание более высокие значения удельной активности РМ, которые могут перевозиться в упаковке типа ПУ-3, и отсутствие оперативного контроля. В случае перевозки жидкого материала НУА дополнительно следует предусматривать достаточное свободное пространство с целью исключения разрушения системы герметизации.

2.6.4. Цистерны также могут использоваться как промышленные упаковки типов 2 и 3 (IP-2 и IP-3) при условии, если:

а) они удовлетворяют требованиям к промышленным упаковкам типа 1 (IP-1), указанным в пункте 2.6.1;

б) они сконструированы в соответствии с нормами, предписанными главой «Рекомендации по смешанной перевозке опасных грузов в контейнерах-цистернах» Рекомендаций Организации Объединенных Наций по перевозке опасных грузов (издание ООН – ST/SG/AC.10/1, Нью-Йорк;

Женева: ООН, 2011. – ISBN 978-92-1-139141-1), или другими эквивалентными требованиями и способны выдерживать испытательное давление 265 кПа;

в) они сконструированы так, чтобы любая предусматриваемая дополнительная защита обладала способностью противостоять статическим и динамическим нагрузкам, возникающим при нормальном обращении и в обычных условиях перевозки, и не теряла защитных свойств, что приводило бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на внешней поверхности переносных цистерн.

Комментарий

Безопасность цистерн, предназначенных для перевозки опасных грузов, обеспечивается за счет их конструкции и транспортирования в соответствии с международными правилами перевозки опасных грузов.

Общие конструкционные критерии для цистерн в части безопасного обращения с ними, штабелирования и транспортирования могут быть выполнены, если опорная конструкция (рама) данных цистерн разработана в соответствии со стандартом ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995) [34], в соответствии с которым все статические усилия, возникающие в процессе обслуживания, складирования и транспортирования, не должны приводить к возникновению избыточных напряжений в оболочке цистерны.

Требования стандарта ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995) [34], предъявляемые к цистернам, эквивалентны положениям главы «Рекомендации по смешанной перевозке опасных грузов в контейнерах-цистернах» Рекомендаций ООН по перевозке опасных грузов [33].

Требования о сохранении защиты выполняются в случае, если после испытаний на защитном материале не образуются существенные трещины, защитный материал остается устойчивым и надежно закрепленным, а уровень излучения на внешней поверхности увеличивается не более чем на 20 %. Если цистерна оборудована каркасом, изготовленным в соответствии со стандартом ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995) [34], расчеты (измерения) уровня излучения, выполненные с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, могут учитывать поверхности каркаса как соответствующие внешние поверхности для расчетов (измерений).

2.6.5. Цистерны, не являющиеся переносными, могут использоваться как промышленные упаковки типов 2 и 3 (IP-2 и IP-3) для перевозки жидких радиоактивных материалов и газов НУА-I и НУА-II в соответствии с таблицей № 10 приложения № 4 при условии, если они удовлетворяют нормам, эквивалентным тем, которые указаны в подпункте «а» пункта 2.6.4 и подпункте «в» пункта 2.6.4 и сконструированы в соответствии с требованиями, действующими в Российской Федерации для перевозки опасных грузов.

Комментарий

При выборе норм, эквивалентных требованиям пунктов 2.6.4 а) и в) НП-053-16, для цистерн, не являющихся переносными, рекомендуется использовать либо приложение В.1А к ДОПОГ [4] в части требований к безопасному транспортированию автоцистерн, либо приложения X и XI RID [6] в части требований к безопасному транспортированию железнодорожных цистерн.

2.6.6. Грузовые контейнеры могут использоваться как промышленные упаковки типов 2 и 3 (IP-2 и IP-3) при условии, если:

а) их радиоактивное содержимое находится в твердом состоянии;

б) они отвечают требованиям к промышленным упаковкам типа 1 (IP-1), указанным в пункте 2.6.1;

в) они сконструированы так, что удовлетворяют требованиям (за исключением размеров и загрузки), предписанным стандартом ГОСТ Р 51876-2008 (ИСО 1496-1:1990) «Национальный стандарт Российской Федерации. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 1. Контейнеры общего назначения» (утвержден приказом Федеральной службы по техническому регулированию и метрологии от 3 сентября 2008 г. № 195-ст, введен в действие 1 января 2009 г., М.: Страндартинформ, 2008), и при испытаниях, предписанных этим документом, и ускорениях, имеющих место при обычных условиях перевозки, предотвращаются:

- выход или рассеяние радиоактивного содержимого;
- нарушение целостности радиационной защиты, которая приводила бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на внешней поверхности грузового контейнера.

Комментарий

Грузовые контейнеры, разработанные и испытанные в соответствии с ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995) [34], считаются не пригодными для жидкостей. Система герметизации данных контейнеров должна соответствовать требованиям, установленным в НП-053-16. Только закрытые грузовые контейнеры (либо контейнеры с отверстиями наверху, при условии, что в течение транспортирования данные отверстия надежно закрыты) могут быть использованы для демонстрации соответствия требованиям, предъявляемым к системам герметизации упаковочных комплектов типа ПУ-3 и типа ПУ-2 в части отсутствия утечки и рассеяния содержимого. Для демонстрации этого необходим мониторинг в процессе и после испытаний.

Для грузовых контейнеров должны дополнительно проводиться испытания, подтверждающие сохранение и удержание содержимого при ускорениях в обычных условиях перевозки, поскольку стандарт ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995) [34] не включает динамических испытаний. Данные испытания должны подтвердить способность элементов крепления, использованных внутри грузового контейнера для фиксации содержимого, выдерживать нагрузки, типичные для обычных условий транспортирования. Кроме того, данными испытаниями должно быть подтверждено, что повреждения радиационной защиты при обычных условиях не приводят к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на внешней поверхности грузового контейнера. Целостность радиационной защиты следует оценивать на основе измерений, выполненных до и после испытаний.

2.6.7. Металлические контейнеры средней грузоподъемности для массовых грузов (далее — КСГМГ) могут также использоваться в качестве промышленных упаковок типа 2 или 3 (IP-2 или IP-3) при условии, если:

а) они удовлетворяют требованиям к промышленным упаковкам типа IP-1, указанным в пункте 2.6.1;

б) они сконструированы так, чтобы удовлетворять требованиям, предписываемым для групп упаковки I или II ООН в главе «Требования к изготовлению и испытаниям контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов» Рекомендаций Организации Объединенных Наций по перевозке опасных грузов (издание ООН – ST/SG/AC.10/1), и, будучи подвергнутыми испытаниям, предписываемым этим документом, в условиях, когда при испытании на падение

выбирается такая ориентация, при которой наносится максимальное повреждение, они предотвращают:

- выход или рассеяние радиоактивного содержимого;
- нарушение целостности защиты, которое приводило бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на любой внешней поверхности контейнера средней грузоподъемности для массовых грузов.

Комментарий

КСГМГ, конструкция и параметры которых соответствуют рекомендациям главы «Требования к изготовлению и испытаниям контейнеров средней грузоподъемности для массовых грузов» Рекомендаций ООН по перевозке опасных грузов [33], считаются эквивалентными упаковкам, разработанным и испытанным в соответствии с требованиями к упаковкам типа ПУ-2 и типа ПУ-3, за исключением требований к радиационной защите.

При этом для КСГМГ объемом более 0,45 м³ дополнительно необходимо выполнить испытание на свободное падение, при котором упаковке наносится максимальное повреждение. После проведения данного испытания КСГМГ должен предотвращать: выход или рассеяние радиоактивного содержимого; нарушение целостности радиационной защиты, которое приводило бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на любой внешней поверхности контейнера средней грузоподъемности для массивных грузов.

Использование КСГМГ для транспортирования РМ возможно только при использовании металлических конструкций, поскольку они обеспечивают соответствие требованиям к упаковкам типа ПУ-2 и типа ПУ-3.

2.7. Требования к упаковкам, содержащим гексафторид урана

Гексафторид урана представляет собой РМ, обладающий значительной химической опасностью. Однако Рекомендации ООН требуют, чтобы основное внимание уделялось радиоактивной природе вещества, а химическая опасность рассматривалась как дополнительная к радиационному риску.

2.7.1. За исключением случаев, предусмотренных в пункте 2.7.4, гексафторид урана помещается в упаковки и перевозится в соответствии с положениями, содержащимися в стандарте ИСО 7195 «Упаковка гексафторида урана (UF₆) для перевозки» (Женева: ИСО, 2005. – ISO 7195:2005(E)) (далее — ИСО 7195), а также в соответствии с требованиями пунктов 2.7.2 и 2.7.3. Упаковка также должна удовлетворять требованиям иных разделов настоящих Правил, имеющим отношение к ядерным и радиационным характеристикам материала.

Комментарий

В зависимости от степени обогащения и общего количества делящегося ²³⁵U 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 НП-053-16. Однако многие требования к гексафториду урана, предъявляемые стандартом ISO 7195 [29], относятся также к физическим свойствам и химической токсической опасности 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. Требования пунктов 2.7.1–2.7.4 НП-053-16 направлены на предотвращение опасности, обусловленной особыми физическими и химическими свойствами гексафторида урана, а не на обеспечение ядерной и радиационной безопасности.

При перевозке порожних упаковок (после извлечения гексафторида урана) также следует учитывать, что в упаковке остаются «нелетучие остатки» (твердые оксиды, оксифториды и фториды урана), а также некоторое количество гексафторида урана. В целях обеспечения безопасности при транспортировании необходимо определить остаточное количество гексафторида урана (меньше 0,1 кг или 0,1 кг и больше), а также должен быть обоснован надежный способ обеспечения полноты извлечения гексафторида урана из упаковки до содержания менее 0,1 кг.

2.7.2. Каждая упаковка, предназначенная для содержания 0,1 кг или более гексафторида урана, должна быть сконструирована таким образом, чтобы она удовлетворяла следующим требованиям:

- а) выдерживала без утечки и недопустимого напряжения, как указывается в пункте 6.6.7 стандарта ИСО 7195, испытание, указанное в пункте 3.5.1, за исключением, предусмотренным в пункте 2.7.4;
- б) выдерживала без утечки или рассеяния гексафторида урана испытание, указанное в пункте 3.4.2.4;
- в) выдерживала без нарушения системы герметизации испытание, указанное в пункте 3.4.4.3, за исключением, предусмотренным в пункте 2.7.4.

Комментарий

В НП-053-16 не предъявляется особых требований к упаковкам, содержащим менее 0,1 кг гексафторида урана, так как данное количество гексафторида урана значительно ниже предела токсической опасности и взрывоопасности, который равен 10 кг [35, 36].

Методы оценки состояния системы герметизации могут различаться в зависимости от типа испытаний. Так, при гидравлическом испытании (пункт 3.5.1 НП-053-16) упаковка может быть заполнена водой, а фактическая утечка может определяться посредством идентификации наличия воды за пределами упаковки.

Выполнение критерия приемлемости после испытания на свободное падение (пункт 3.4.2.4. НП-053-16) может быть подтверждено посредством проверки упаковки на утечку из нее газа. При организации процедуры проведения данной проверки, а также выборе параметров давления следует руководствоваться требованиями стандарта ISO 7195 [29].

В ходе теплового испытания упаковки, содержащей гексафторид урана (пункт 3.4.4.3. НП-053-16), необходимо не допускать разрыва оболочки. Должна быть подтверждена надежность системы герметизации при проведении данного испытания.

Для демонстрации соответствия упаковок, содержащих гексафторид урана, требованиям пункта 2.7.2 в) НП-053-16 следует принимать во внимание влияние параметров, способных изменять теплофизические свойства гексафторида урана и упаковочного комплекта, возможные при тепловом испытании. Следует как минимум учитывать следующее:

- наиболее неблагоприятную ориентацию упаковки;

- изменение агрегатного состояния гексафторида урана и его влияние на изменение давления в упаковке [37,38];
- весь ряд допустимых значений коэффициентов заполнения объема (давление в упаковке 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 [39]);
- фактические свойства конструкционных материалов при высоких температурах (например, значительное снижение прочности стали на разрыв происходит при температурах выше 500 °С [40]);
- наличие дефектов в конструкционных материалах может приводить к разрыву упаковки (максимальный размер дефекта в конструкции следует обосновывать на основании результатов анализа конструкции и процесса производства, а также приемочных критериев).

Утончение стенки упаковки или других элементов упаковочного комплекта, вызванное коррозией, может приводить к снижению их работоспособности. Следует устанавливать приемлемую минимальную толщину стенки, а также разрабатывать и применять методы для определения толщины стенки как для незаполненной, так и для заполненной упаковки с гексафторидом [41, 42].

Проведение испытаний упаковочных комплектов с гексафторидом урана с целью демонстрации соответствия требованиям НП-053-16 может быть значительно затруднено в связи с угрозой для окружающей среды, персонала и населения. В ряде случаев демонстрация соответствия может быть выполнена с использованием заменителя гексафторида урана, проведением лабораторных испытаний, а также использованием результатов расчетов, выполненных с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке.

2.7.3. Упаковки, содержащие 0,1 кг или более гексафторида урана, не должны оснащаться устройствами для сброса давления.

Комментарий

Представляется маловероятным наличие устройства для сброса давления, которое бы было достаточно надежным для обеспечения необходимого уровня утечки и соответствующим образом закрывалось при снижении давления до приемлемого уровня.

2.7.4. На конструкцию и перевозку упаковки, содержащей 0,1 кг или более гексафторида урана, не в полной мере отвечающей требованиям пунктов 2.7.1–2.7.3, могут быть выданы сертификат-разрешение на конструкцию и сертификат-разрешение на перевозку в следующих случаях:

- а) упаковки сконструированы в соответствии с иными требованиями, чем те, которые изложены в стандарте ИСО 7195 и в пункте 2.7.2, и тем не менее насколько это практически возможно, удовлетворяют требованиям пункта 2.7.2;
- б) упаковки сконструированы таким образом, чтобы удерживать без утечки и недопустимого напряжения испытательное давление менее 2,76 МПа, как указано в пункте 3.5.1;
- в) в случае, если упаковки, предназначенные для размещения в них 9000 кг или более гексафторида урана, не отвечают требованиям подпункта «в» пункта 2.7.2.

Во всех других отношениях должны выполняться требования, указанные в пунктах 2.7.1–2.7.3.

Комментарий

В соответствии с требованиями данного пункта, ГКО может выдать сертификат-разрешение на конструкцию упаковки, сконструированную для перевозки 0,1 кг или более гексафторида урана и которая не рассчитана на внешнее давление 2,76 МПа, но рассчитана на внутреннее давление не менее 1,38 МПа. Наличие данного требования позволяет использовать старые конструкции упаковок и обеспечивает достаточный период времени для перехода на новые стандарты для всех упаковок.

Проведенные к настоящему времени испытания и расчетные обоснования не могут однозначно гарантировать устойчивость системы герметизации упаковки при тепловом испытании. Например, ряд испытаний и расчетов показывают, что такая упаковка выдерживает испытание на пожар в течение 29, а не 30 мин. При этом к настоящему времени произведено большое количество таких упаковок. Данный пункт НП-053-16 позволяет ГКО выдавать сертификат-разрешение на конструкцию такой упаковки. При международной перевозке необходимо многостороннее утверждение такой конструкции.

2.8. Требования к упаковкам типа А

2.8.1. Упаковка типа А должна быть сконструирована так, чтобы выполнялись соответствующие требования, указанные в подразделе 2.4 и в пунктах 2.8.2–2.8.17.

Комментарий

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

2.8.2. Наименьший общий габаритный размер упаковки должен быть как минимум 0,1 м.

Комментарий

Минимальный размер 10 см был принят по ряду причин. Так, очень маленькая упаковка может быть утеряна. Кроме того, в соответствии с международной практикой транспортирования опасных грузов, этикетки на упаковках должны быть в форме квадрата, размером 10 см. Для нанесения такой этикетки требуется, чтобы размеры упаковки были по крайней мере 10 см.

2.8.3. На внешней поверхности упаковки должно быть устройство, например пломба, которое трудно повреждается и в нетронутом виде служит свидетельством того, что упаковка не открывалась.

Комментарий

Данное требование обеспечивает получателя упаковки гарантированной информацией о том, был ли несанкционированный доступ к содержимому и (или) извлекалось ли оно в процессе перевозки.

Тип и масса упаковки будут определять тип подходящего для данной упаковки устройства, повреждение которого будет сигнализировать о несанкционированном доступе. Необходимо показать, что выбранное устройство не будет испорчено при нормальных условиях перевозки. Примерами таких устройств являются:

а) липкая или самоклеящаяся лента, которая не может быть использована повторно;

б) пломбы на конце шнура или проволоки, на которые наносится фирменный знак установленного образца.

2.8.4. Любые имеющиеся на упаковках приспособления для крепления должны быть сконструированы так, чтобы как в нормальных, так и в аварийных условиях перевозки возникающие в этих приспособлениях нагрузки не снижали способность упаковки удовлетворять требованиям настоящих Правил.

Комментарий

Система крепления не должна влиять на безопасность упаковки в нормальных и аварийных условиях перевозки. Для выполнения данного требования элементы системы крепления упаковки могут быть сконструированы так, чтобы они разрушались в первую очередь.

Подъемные приспособления могут быть использованы и как элементы системы крепления, при этом необходимо обеспечивать техническую возможность их двойного использования. Подъемные элементы и элементы системы крепления следует маркировать, чтобы обозначать их назначение, за исключением случаев, когда невозможно их альтернативное использование (например, подъемное приспособление крюкового типа не может быть нормально использовано для крепления).

Разрушаемость систем крепления обеспечит также защиту работников (персонала) в случае лобовых столкновений, а также защиту упаковок от чрезмерных нагрузок при боковых ударах [43]. Подробности относительно рекомендуемых конструктивных соображений по упаковкам и системам их крепления приведены в приложении № 3 к настоящим Справочным материалам.

2.8.5. Конструкция упаковки должна быть рассчитана на диапазон температур компонентов упаковочного комплекта от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$. Следует учитывать температуру замерзания жидкого содержимого и возможное ухудшение свойств материалов упаковочного комплекта в указанном диапазоне температур.

Если упаковка предназначена для перевозки в ограниченном районе и (или) в определенное время года, и (или) на определенных перевозочных средствах, то могут приниматься значения температуры исходя из климатических условий районов, времени года и условий, обеспечиваемых конструкцией перевозочных средств. В сертификате-разрешении на конструкцию упаковки должно быть указано об ограничении климатических условий района эксплуатации упаковки, а на ее внешней поверхности должна быть соответствующая постоянная надпись.

Если упаковка эксплуатируется в районах, где температура окружающей среды может быть менее -40°C , то в сертификате-разрешении на перевозку должны быть указаны специальные организационные и/или технические меры, обеспечивающие температуру компонентов упаковочного комплекта не ниже -40°C .

Комментарий

Компоненты упаковки типа А следует разрабатывать для температурного диапазона от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$, 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. При конструировании следует учитывать возможный более широкий диапазон изменения внешней температуры в ходе перевозки или

обращения с упаковкой, если имеется значительное внутреннее тепловыделение. При обосновании температурных режимов необходимо учитывать следующие аспекты:

- расширение (сжатие) конструкционных элементов и элементов уплотнения;
- разложение материалов или изменение их фазового состояния в экстремальных условиях;
- пластичность материалов упаковки.

Ограничение условий эксплуатации упаковки в более узком диапазоне температур согласовывается с ГКО при выдаче сертификата-разрешения на конструкцию упаковки.

Необходимо также предусматривать ряд специальных мер, обеспечивающих работоспособность упаковки при пониженных температурах.

2.8.6. Упаковка должна включать систему герметизации, надежно закрываемую запирающим устройством, не открываемым случайно или в результате изменения давления, которое может возникнуть внутри упаковки в нормальных условиях перевозки.

Комментарий

В качестве способов крепления могут использоваться, в том числе:

- сварные швы;
- винтовая резьба;
- защелкивающиеся крышки;
- обжатие;
- вальцовка;
- зачеканивание;
- термоусадочные материалы;
- липкие ленты или клеи.

2.8.7. Радиоактивный материал особого вида может рассматриваться в качестве компонента системы герметизации.

Комментарий

Данное условие практически позволяет перевозить РМОВ в упаковках без серьезных требований к системе герметизации упаковки.

2.8.8. Если система герметизации является отдельной частью упаковки, то она должна быть снабжена запирающим устройством, не зависящим от любого другого элемента упаковочного комплекта.

Комментарий

Целью данного требования является обеспечение выполнения основной функции системы герметизации при нормальных и аварийных условиях перевозки и удержания радиоактивного содержимого, даже если наружные компоненты упаковки повреждены или потеряны.

2.8.9. Конструкция любого элемента системы герметизации должна учитывать при необходимости радиолитическое разложение жидкостей и других материалов, а также образование газа в результате химических реакций и радиолиза.

Комментарий

Определенные материалы конструкции упаковки могут вступать в химические реакции и радиолитическое взаимодействие с некоторыми из РМ, предназначенных для перевозки в упаковках типа А. Для подтверждения отсутствия влияния таких реакций на безопасность транспортирования может возникать необходимость в проведении специфических испытаний, чтобы гарантировать невозможность повреждения системы герметизации как от самих реакций, так и от повышения давления вследствие этих реакций.

2.8.10. Система герметизации должна удерживать радиоактивное содержимое в случае уменьшения давления окружающей среды до 60 кПа.

Комментарий

Это требование направлено на предотвращение чрезмерного перепада давления, возникающего в упаковке, которая была заполнена при атмосферном давлении на уровне моря (или ниже) и затем была перевезена на более высокую отметку. Уменьшение давления окружающей среды до 60 кПа соответствует перемещению упаковки с поверхности на уровне моря на высоту около 4 000 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 внутреннее давление, вызванное изменением высоты, а также выдерживать изменение давления, вызванное расширением ее содержимого.

2.8.11. Вся арматура, кроме предохранительных клапанов (клапанов сброса давления), должна иметь полости и заглушки для предотвращения любых утечек через арматуру.

Комментарий

Данное требование направлено на предотвращение поступления РМ в окружающую среду, вызванного утечкой содержимого через клапаны. В зависимости от специфики конструкции устройства для предотвращения утечек могут позволить помочь предотвратить несанкционированное открытие клапана или, в случае открытия, выход содержимого. Примерами таких устройств могут быть, в том числе:

- 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 утечки.

2.8.12. Упаковка в нормальных условиях перевозки (пункты 3.4.2.1 – 3.4.2.6) должна предотвращать:

- а) выход или рассеяние радиоактивного содержимого;
- б) потерю целостности радиационной защиты, которая приводила бы к увеличению более чем на 20 % уровня излучения на внешней поверхности упаковки.

Комментарий

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. При этом не предполагается абсолютная герметичность упаковки. Методы проверки и степень герметичности могут быть различными в зависимости от конструкции упаковки и радиоактивного содержимого.

Для твердого и жидкого содержимого соответствие данному требованию может быть обосновано с использованием упаковки, содержащей образцы нерадиоактивного материала. При этом возможно применять вакуумный метод или другие методы, совмещаемые с визуальной оценкой состояния упаковки и выхода содержимого. Для жидкостей в качестве индикатора могут использоваться поглощающие материалы. Оценка также может проводиться взвешиванием упаковки до и после вакуумирования.

В случае газообразного радиоактивного содержимого визуальный осмотр недостаточен. В этом случае могут использоваться метод всасывания воздуха, компрессионные методы с идентифицируемым пробным газом или пузырьковые методы.

Подтверждение неизменности уровня излучения на поверхности упаковок, характеризующихся отсутствием деформаций, смещения радиоактивного содержимого внутри упаковки или смещения радиационной защиты, может быть осуществлено косвенными методами посредством визуального обследования. В ходе данного обследования необходимо убедиться в отсутствии дефектов и каких-либо повреждений радиационной защиты.

Если результаты визуального осмотра свидетельствуют о деформации упаковок или смещениях РМ внутри упаковок, необходимы замеры уровней ионизирующего излучения.

Методы оценки потери (ослабления) защитных свойств могут быть различными, что может приводить к расхождениям в результатах. С целью компенсации данной проблемы возможно определить часть площади поверхности упаковки, обладающей наихудшими радиационными характеристиками, на которой оценивается уровень излучения. Данная часть поверхности упаковки может быть отмечена с целью выделения конкретных областей поверхности, предназначенных для проведения оценки, а также для определения положения тестовых источников, пригодных для упаковки (^{60}Co или ^{24}Na для упаковок общего использования или специфических нуклидов для иных конструкций упаковки). Кроме того, разделение поверхности на области может потребоваться для учета влияния повышенных локальных уровней излучения при оценке потери защиты.

2.8.13. Система радиационной защиты, включающая компонент упаковки, который является частью системы герметизации, должна быть сконструирована таким образом, чтобы предотвращался случайный выход этого компонента за пределы защиты. Если радиационная защита с таким компонентом внутри нее образует отдельный узел, то система радиационной защиты должна надежно закрываться запирающим устройством, не зависящим от любого другого элемента упаковочного комплекта.

Комментарий

Данное требование направлено на обеспечение постоянного присутствия радиационной защиты вокруг РМ для минимизации любого повышения уровня излучения на поверхности упаковки. Если радиационная защита основана на отдельном устройстве, правильное крепление

данного устройства обеспечивает невозможность непреднамеренного выхода системы герметизации из строя.

Для закрепления радиационной защиты могут быть использованы, в том числе:

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

2.8.14. Конструктивное исполнение и методы изготовления упаковки и ее элементов должны отвечать соответствующим нормам и стандартам.

Комментарий

Данное требование направлено на установление достаточного контроля за конструкцией и процессом изготовления упаковок. Проектантам и изготовителям следует соблюдать требования соответствующих международных и российских документов в области стандартизации (ГОСТ, стандартов ISO и др.).

Внедрение конструкций упаковок, либо методов изготовления или испытания упаковок, несоответствующих положениям документов по стандартизации, не допускается. Для этих целей необходимо разработать соответствующий стандарт, охватывающий любую новую конструкторскую концепцию, технологию изготовления или испытания, или материала, планируемого к применению.

2.8.15. Конструкция упаковки, предназначенной для жидкого радиоактивного содержимого, должна предусматривать наличие дополнительного незаполняемого объема для компенсации температурных изменений содержимого, динамических эффектов и динамики заполнения.

Комментарий

К упаковкам типа А, предназначенным для жидкостей, предъявляются дополнительные требования в части способности сохранять герметичность и удерживать содержимое, учитывающие способность жидкого содержимого к выходу и рассеянию из упаковки.

Незаполняемый объем – это пространство упаковки, заполненное газом, которое может быть занято жидким содержимым, расширяющимся из-за изменений в окружающей среде в условиях транспортирования. Достаточный незаполняемый объем гарантирует, что система герметизации не подвергнется чрезмерному давлению вследствие расширения жидкого содержимого упаковки.

При определении достаточного незаполняемого объема необходимо учитывать предельные значения температуры, при которой эксплуатируется упаковка (пункт 2.8.5 НП-053-16). Может потребоваться анализ для обеспечения того, чтобы не оставался чрезмерный незаполняемый объем, так как это может вызвать неприемлемые динамические нагрузки в упаковке в ходе ее перевозки. Кроме того, волны или всплески могут происходить в ходе операций по наполнению при работе с большими количествами жидкости, и проектанту определенных конструкций упаковок следует рассматривать и эти аспекты.

2.8.16. Упаковка типа А, предназначенная для жидкого радиоактивного содержимого, должна удовлетворять требованиям, указанным в подпункте «а» пункта 2.8.12, после испытаний, указанных в пункте 3.4.3.1, и иметь:

- либо достаточное количество абсорбирующего материала для поглощения удвоенного объема жидкого радиоактивного содержимого; такой абсорбирующий материал должен быть расположен так, чтобы в случае утечки осуществлялся его непосредственный контакт с жидкостью;
- либо систему герметизации, состоящую из первичной внутренней и вторичной наружной изолирующих частей, сконструированных так, чтобы обеспечивалось удержание жидкого радиоактивного содержимого внутри вторичной наружной изолирующей части даже в случае утечки из первичной внутренней изолирующей части.

Комментарий

Данное требование направлено на обеспечение дополнительного барьера безопасности на случай утечки жидкого радиоактивного содержимого из упаковки типа А. При конструировании упаковок типа А, предназначенных для жидкого РМ, необходимо либо обеспечить повышенную (по сравнению с упаковками для твердого содержимого) способность упаковки к удержанию радиоактивного содержимого, либо предусмотреть дополнительную систему герметизации, уменьшающую вероятность выхода жидкости из упаковки.

2.8.17. Упаковка типа А, предназначенная для газов, должна предотвращать потерю или рассеяние радиоактивного содержимого, если она подверглась испытаниям, указанным в пункте 3.4.3.1. Это требование не распространяется на упаковку типа А, предназначенную для трития или благородных газов.

Комментарий

Выполнение данного требования предполагает наличие у упаковок типа А, предназначенных для газообразных РМ, системы герметизации, достаточной для полного предотвращения рассеяния его содержимого после испытаний на удар и (или) глубину разрушения. Исключение, сделанное для упаковок, содержащих тритий или благородные газы, основано на дозиметрических моделях для этих материалов (Q-система, см. приложение № 2 к настоящим Справочным материалам).

2.9. Требования к упаковкам типа В(U)

2.9.1. Упаковки типа В(U) должны удовлетворять общим требованиям к упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4), требованиям к упаковкам типа А согласно пунктам 2.8.2–2.8.15, за исключением подпункта «а» пункта 2.8.12. Требования пункта 2.8.4 распространяются также и на аварийные условия перевозки.

Комментарий

Основным требованием к упаковкам типа В(U) должно быть способность выдерживать наиболее серьезные аварийные условия при перевозке без потери системы герметизации или увеличения внешнего излучения до уровней, представляющих угрозу населению или лицам, привлеченным к ликвидации последствий аварий. Данная упаковка должна обеспечивать безопасную ликвидацию последствий аварий (комментарии к пункту 5.3.9 НП-053-16), однако к ней не предъявляются требования по обеспечению возможности последующего использования по прямому назначению.

В соответствии с требованиями НП-053-16 к РМ для транспортирования РМ с активностью более A_2 (A_1 для РМОВ) (за исключением материалов НУА и ОПРЗ) должны использоваться

упаковки либо типа В(U), либо типа В(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 исполнения и степени надежности обеспечения заданных свойств по герметичности и защите. Упаковки типа В(U) обеспечивают заданные свойства практически полностью за счет своей конструкции, а для упаковок типа В(M) в целях компенсации меньшей конструктивной надежности требуется проведение некоторых дополнительных организационно-технических мероприятий при подготовке к осуществлению перевозки и (или) в ходе перевозки.

В соответствии с требованиями НП-053-16, предъявляемыми к упаковкам типа В(U), при международных перевозках требуется утверждение их конструкции только компетентным органом страны происхождения упаковки. Для упаковок типа В(M) требуется утверждение компетентными органами всех стран, участвующих в перевозках. Это различие следует учитывать при разработке упаковок для международных перевозок.

2.9.2. При нормальных условиях перевозки (в соответствии с испытаниями, приведенными в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6) и в условиях окружающей среды, указанных в пункте 2.9.10, система герметизации упаковки и элементы биологической защиты упаковки должны выполнять свои функции при тепловом воздействии радиоактивного содержимого упаковки в течении одной недели (без обслуживания упаковки). При конструировании упаковки необходимо учитывать воздействие максимально возможного остаточного тепловыделения радиоактивного содержимого упаковки, которое приводит к:

- а) изменению расположения, геометрической формы или физического состояния радиоактивного содержимого или, если радиоактивный материал заключен в емкость или оболочку, к деформации или плавлению емкости, оболочки или радиоактивного содержимого;
- б) снижению эффективности радиационной защиты упаковочного комплекта из-за разного теплового расширения, растрескивания или плавления материала радиационной защиты;
- в) ускорению коррозии.

Комментарий

Для упаковок типа В(U) требуется дополнительный анализ температур элементов упаковочного комплекта применительно к конкретной конструкции. В основном это предусматривается потому, что упаковки типа В (U) могут быть разработаны для содержимого, которое выделяет значительное количество тепла, и температуры элементов такой упаковки могут превышать установленное для упаковок типа А значение 70°C. Цель задания конкретного максимального значения температуры окружающей среды 38°C (пункт 2.9.10 НП-053-16) 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°C 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, имитируемые испытаниями в соответствии с требованиями пунктов 3.4.2.1 и 3.4.2.6 НП-053-16, без потери содержимого или снижения радиационной защиты.

2.9.3. Упаковка, содержащая тепловую защиту с целью удовлетворения требованиям тепловых испытаний, указанным в пункте 3.4.4.3, должна быть сконструирована так, чтобы тепловая защита сохраняла свою эффективность после испытаний упаковки, указанных в пунктах 3.4.2.1 –

3.4.2.6 и 3.4.4.2. Тепловая защита, находящаяся снаружи упаковки, должна сохранять свои функции при приложении усилий на разрыв, разрез, скольжение, трение или при неаккуратном обращении.

Комментарий

Покрытия для тепловой защиты делятся на две группы: подвергаемые химическим изменениям под воздействием тепла (например, аблятивные материалы и вспучивающиеся покрытия) и устойчивые к данному воздействию (включая керамические материалы).

Обе группы подвержены механическим повреждениям. Аблятивные и вспучивающиеся материалы, как правило, мягкие и могут быть повреждены скольжением по грубым поверхностям (таким как бетон или гравий). Керамические материалы обычно хрупкие и не в состоянии выдерживать удар без разрушения.

Инциденты, которые могли бы вызывать повреждение материалов тепловой защиты, могут включать: взаимодействие с другими упаковками и поверхностями транспортного средства в процессе перевозки; взаимодействие с поверхностью дороги; соскальзывание по поврежденному рельсовому пути или по краю металлического предмета; подъем и опускание упаковок с зацеплением соседних конструкций или оборудования; удары других упаковок (не обязательно содержащих РМ) в процессе складирования или транспортирования и другие ситуации, которые не входят в условия испытаний, установленных требованиями в пунктах 3.4.2.4–3.4.4.2 НП-053-16. Упаковки при испытании на свободное падение не получают повреждений поверхности, возможные при перекатывающихся и скользящих движениях, то есть видов движения, обычно связанных с авариями транспортных средств. Таким образом, упаковки, испытываемые впоследствии на тепловое воздействие, могут иметь покрытие, которое при аварии может быть повреждено.

Повреждение тепловой защиты может уменьшать эффективность по крайней мере части ее поверхности. Разработчику упаковки следует оценивать влияние повреждений такого типа.

Необходимо учитывать старение защитных материалов и воздействие на них условий окружающей среды. Также следует учитывать то, что свойства некоторых материалов изменяются со временем от воздействия температуры, влажности или других условий.

Покрытие может быть защищено применением дополнительных направляющих или буферов, предотвращающих истирающее воздействие на материал при скольжении. Прочный внешний кожух из металла может обеспечивать хорошую защиту, однако при его использовании необходимо учитывать возможное изменение тепловых характеристик упаковки. Наружная поверхность упаковки может быть сконструирована так, чтобы тепловая защита была установлена в углублениях.

2.9.4. Упаковка должна быть сконструирована так, чтобы выполнялись следующие требования:

а) при нормальных условиях перевозки в соответствии с испытаниями, предусмотренными в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6, утечка радиоактивного содержимого ограничивается величиной не более $10^{-6}A_2$ в час;

б) при аварийных условиях перевозки в соответствии с испытаниями, предусмотренными в пунктах 3.4.4.1, 3.4.4.3, 3.4.4.4, подпункте «б» пункта 3.4.4.2, и испытаниями:

либо согласно подпункту «в» пункта 3.4.4.2 для упаковки с массой не более 500 кг общей плотностью не более 1000 кг/м^3 , определенной по внешним размерам, и с радиоактивным содержимым более $1000A_2$, не являющимся радиоактивным материалом особого вида;

либо согласно подпункту «а» пункта 3.4.4.2 для всех других упаковок упаковка сохраняет радиационную защиту, обеспечивающую на расстоянии 1 м от поверхности упаковки уровень излучения не выше 10 мЗв/ч при наличии радиоактивного содержимого, на которое рассчитана упаковка, приводящего к максимальной мощности дозы облучения за защитой упаковки, а суммарная утечка радиоактивного содержимого в течение одной недели не превышает $10A_2$ для криптона-85 и A_2 — для всех других радионуклидов.

При наличии смесей различных радионуклидов для оценки утечки радиоактивного содержимого должны применяться положения, изложенные в приложении № 2, кроме криптона-85, для которого может применяться эффективное значение $A_2(i)$, равное $10A_2$. При оценке выхода радиоактивного содержимого во время испытаний на нормальные условия согласно подпункту «а» пункта 2.9.4 учитываются пределы внешнего загрязнения, указанные в пункте 5.3.9.

Комментарий

В связи с тем, что абсолютную герметичность упаковки обеспечить невозможно, необходимо определить максимально допустимую скорость утечки радиоактивного содержимого. Предел скорости выхода не более чем $10^{-6} A_2$ в час для упаковок типа V(U) после испытаний, имитирующих нормальные условия перевозки, обуславливается параметрами наиболее неблагоприятных ожидаемых условий, соответствующих ситуациям, при которых персонал подвергается радиоактивному воздействию вследствие утечки РМ из упаковки в ходе перевозки автомобильным транспортом. Описание моделей, использованных для вывода этой и других скоростей утечки, приведено в приложении № 2 к настоящим Справочным материалам.

НП-053-16 требуют, чтобы упаковки типа V(U) конструировались так, чтобы ограничивать потерю радиоактивного содержимого до приемлемого низкого уровня. Указанные в данном пункте критерии определяют требуемую работоспособность системы герметизации через потенциальную опасность конкретного радионуклида в упаковке. Однако прямое измерение зачастую невозможно, в связи с чем необходимо рассматривать каждый радионуклид в отдельности в той физической и химической форме, которая ожидается после механических, тепловых испытаний и испытания на погружение в воду. С целью количественного определения утечки могут использоваться методы, изложенные в стандартах ANSI N14.5 [44] и ISO 12807 [45]. В испытаниях на утечку измеряется поток вещества, пересекающего границы системы герметизации. Поток может содержать газ, жидкость, порошок, реальное радиоактивное содержимое или его имитатор. Следует применять средства для корреляции измеренного потока с утечкой РМ при определенных условиях. Утечка этого РМ может сравниваться с максимальной скоростью утечки, регламентируемой НП-053-16. В случае использования газа в качестве реперного скорость утечки может быть определена как массовая скорость потока. В случае использования жидкости может быть определена либо скорость утечки как объемная скорость потока, либо общая объемная утечка. В случае использования порошка общая утечка может быть выражена в виде массы. В случае использования РМ утечка может быть также выражена в виде активности.

Основной метод вычислений предполагает знание двух параметров концентрации радиоактивного содержимого в упаковке и его объемной утечки. Необходимо, чтобы результат расчетов с использованием данных параметров был ниже, чем разрешенная скорость утечки.

Для упаковок, содержащих РМ в жидкой или газообразной форме, скорость утечки активности (Бк/ч) должна быть переведена в объемную скорость утечки ($\text{м}^3/\text{с}$). Когда содержимое состоит из смеси радионуклидов (R_1, R_2, R_3 , и т. д.), может быть использовано следующее соотношение:

$$\frac{\text{Потенциально возможная утечка } R_1}{\text{Допустимая утечка } R_1} + \frac{\text{Потенциально возможная утечка } R_2}{\text{Допустимая утечка } R_2} + \dots + \frac{\text{Потенциально возможная утечка } R_n}{\text{Допустимая утечка } R_n} \leq 1. \quad (1)$$

Учитывая данное выражение, а также предположение о том, 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, отмеченных в пункте 2.9.4 а) НП-053-16:

$$\sum_i \frac{C_{(i)}}{A_{2(i)}} \leq \frac{10^{-6}}{3600L} = \frac{2,78 \cdot 10^{-10}}{L}, \quad (2)$$

для условий, отмеченных в пункте 2.9.4 б) НП-053-16:

$$\sum_i \frac{C_{(i)}}{A_{2(i)}} \leq \frac{1}{7 \cdot 24 \cdot 3600L} = \frac{1,65 \cdot 10^{-6}}{L}, \quad (3)$$

где:

$C_{(i)}$ — удельная активность каждого радионуклида (в ТБк/ м^3) в жидкости или газе при СТД;

$A_{2(i)}$ — значения пределов активности i -го радионуклида, приведенное в таблице № 1 приложения № 2 к НП-053-16 в ТБк для этого нуклида;

L — допустимая скорость утечки в $\text{м}^3/\text{с}$ жидкости или газа при СТД.

Значение $C_{(i)}$ может также быть определено как:

$$C_{(i)} = G_{(i)} \cdot S_{(i)} \cdot 10^9, \quad (4)$$

где:

$G_{(i)}$ — концентрация i -го радионуклида (в $\text{кг}/\text{м}^3$) в жидкости или газе при СТД;

$S_{(i)}$ — удельная (в Бк/г) активность чистого i -го радионуклида, приведенная в таблице № 5.1 приложения № 5 к настоящим Справочным материалам.

Отметим, что если известен изотопный (в % весовых) состав РМ, то:

$$G_{(i)} = F_{(i)} g, \quad (5)$$

где:

$F_{(i)}$ — доля i -го радионуклида в химическом элементе (весовой процент/100);

g — концентрация химического элемента (в $\text{кг}/\text{м}^3$) в жидкости или газе, т. е.:

$$C_{(i)} = F_{(i)} g \cdot S_{(i)} \cdot 10^9. \quad (6)$$

Допустимая скорость утечки после испытаний для нормальных условий перевозки приведена в размерности ТБк/ч, а для аварийных условий – ТБк/неделю, так как вероятность постоянной скорости утечки после аварии крайне мала (то есть скорость утечки из упаковки может быть очень высокой в короткий период времени, следующий непосредственно после аварии, но при этом впоследствии скорость может существенно снизиться).

Рассчитанная допустимая утечка радиоактивной жидкости или газа может быть преобразована в эквивалентную утечку газа в испытании при определенных условиях с учетом перепада давления, температуры и вязкости посредством уравнений для ламинарных и (или) молекулярных условий течения потока, примеры которых приведены в ANSI N14.5-1977 [44] или ISO 12807 [45]. В конкретных случаях, если высокий перепад давления может приводить к высокой расчетной скорости газа, турбулентный поток может быть ограничивающим обстоятельством, и это следует принимать во внимание.

Утечка газа, определенная указанным выше методом, может варьироваться от $1 \text{ Па}\cdot\text{м}^3/\text{с}$ до менее чем $10^{-10} \text{ Па}\cdot\text{м}^3/\text{с}$ в зависимости от величин A_2 радионуклидов и их концентрации в упаковке. На практике обычно нет необходимости в том, чтобы средства измерений обладали чувствительностью большей, чем $10^{-8} \text{ Па}\cdot\text{м}^3/\text{с}$.

На поверхности системы герметизации следует предусматривать вентиляционные или дренажные системы, а также отверстия, которые смогут обеспечить сброс жидкости из системы герметизации в случае увеличенного давления. Необходимо подтверждать работоспособность всех элементов данной системы. При этом можно использовать либо результаты испытаний, либо расчетный анализ для различных условий перевозки, выполненный с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке. При этом необходимо учитывать различные воздействия на упаковку, включая механическое и тепловое воздействие.

Если упаковка предназначена для дисперсных материалов, могут быть использованы экспериментальные данные о переносе твердых частиц через дискретные каналы утечки или через уплотнения.

Упаковки, предназначенные для перевозки ОЯТ, следует рассматривать особо. В ОЯТ активность сосредоточена в твэлах, уровень герметичности которых оценивается пределами их безопасной эксплуатации (НП-082-07). В аварийных условиях перевозки облученные твэлы могут быть повреждены с последующим выходом радиоактивности в объем системы герметизации упаковки. Поэтому для оценки герметичности упаковки как при нормальных условиях, так и в аварийных условиях перевозки необходимы данные о нуклидном составе ОЯТ, возможной степени повреждения оболочки твэла и механизме выхода радиоактивности из твэла в систему герметизации упаковки.

Описанные выше методы оценки требований к герметичности упаковки обычно применяются в двух вариантах:

- а) если упаковка конструируется для конкретной цели, ее радиоактивное содержимое точно определено, и норма герметичности может быть установлена на этапе конструирования;
- б) если требуется, чтобы существующая упаковка с известной нормой по герметичности была использована не по назначению, для которого она была разработана, и необходимо определять максимально допустимое количество радиоактивного содержимого.

В случае утечки смеси радионуклидов из упаковки типа В(U) эффективное значение A_2 может быть вычислено методом, описанным в пункте 5 приложения № 2 к НП-053-16, путем использования долей активности составляющих радионуклидов $f(i)$, соответствующих форме смеси, которые реально могут проходить через уплотнения. Необходимо учитывать, что часть содержимого может быть в виде твердых частиц, слишком больших для прохода через каналы в уплотнении. В случае утечки жидкостей и газов их фракционные доли соответствуют долям газообразных или растворенных радионуклидов.

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 молекулярной диффузии. Если РМ является газообразным (например, газообразный продукт деления), то скорость утечки за счет проницаемости определяется парциальным давлением газа, а не общим давлением в системе герметизации. Способность эластичных материалов к абсорбции газов также может быть принята во внимание.

В случае использования некоторых крупных упаковок очень малая утечка РМ в течение длительного периода времени может приводить к загрязнению внешней поверхности, что может потребовать применения средств по снижению утечки при нормальных условиях перевозки для превышения допустимого предела загрязнения поверхности (пункты 5.3.9 и 33 приложения № 1 к НП-053-16).

В конструкции упаковок максимальные уровни излучения устанавливаются как для поверхностей (пункты 5.3.3 и 5.3.4 НП-053-16), так и на расстоянии 1 м от поверхности (как определено в пункте 5.3.1 НП-053-16). После выполнения испытаний для аварийных условий допускается увеличение уровня излучения при условии, что предел 10 мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности не превышает, если упаковка содержит максимально допустимое количество активности.

Когда для упаковки типа В(У) 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.

Демонстрация соответствия приемочному критерию не более чем 10 мЗв/ч на расстоянии 1 м от поверхности упаковки типа В(У) после испытаний может быть проведена несколькими способами: расчетами, выполненными с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, испытаниями на моделях, частях или компонентах упаковки, испытаниями на прототипах и т. п. или путем комбинации испытаний. При проверке соблюдения требований следует уделять внимание возможным локальным повышенным уровням излучения в местах образования трещин или зазоров, которые могут являться дефектом конструкции или возникать в процессе испытаний.

Когда проверка соблюдения НП-053-16 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. Для толсто-стенной защиты обычно применяется сцинтилляционный детектор, (например, NaI, активизированный таллием, небольшого диаметра (около 50 мм), потому что он допускает использование низкоактивных источников (например, ^{60}Co) 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 уровня излучения и усреднению результатов. Если радиоактивное содержимое, для которого разработана упаковка, не используется в испытании, необходимы дополнительные расчеты для пересчета измеренного уровня на тот, который имел бы место в случае использования в испытании содержимого конструкции упаковки (комментарии к пункту 23 приложения № 1 к настоящим Справочным материалам).

Использование свинца в качестве защитного материала требует особого внимания. Свинец имеет низкую температуру плавления и высокий коэффициент расширения, поэтому его следует защищать от воздействия тепла. Если он содержится в относительно тонкой стальной оболочке, которая может быть пробита в процессе механических испытаний на удар, то, если свинец расплавится при

пожаре, защита будет потеряна. Также из-за своего высокого коэффициента расширения свинец может порвать оболочку в ходе тепловых испытаний. 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. Также необходимо учитывать, что свинец не всегда плавится однородно вследствие неоднородности конструкции упаковочного комплекта и внешних условий. При этом локальное расширение свинца может приводить к повреждению оболочки и соответствующей его утечке и, следовательно, к снижению защитной способности упаковки.

2.9.5. Соблюдение допустимых пределов выхода радиоактивного содержимого из упаковки не должно зависеть от фильтров и принудительной системы охлаждения.

Комментарий

Данное требование введено с целью исключения воздействия фильтров и систем охлаждения на выход радиоактивного содержимого из упаковок. Усложнение конструкции, дополнительная неопределенность и недостаточная надежность, обусловленные использованием в конструкции фильтров и механических систем охлаждения, могут оказать существенное негативное влияние на радиационное воздействие упаковки.

Тем не менее, требование данного пункта НП-053-16 не исключает наличия в упаковках типа В(U) фильтров и механических систем охлаждения.

2.9.6. Упаковка не должна иметь устройств сброса давления из системы герметизации, которые допускали бы выход радиоактивного содержимого в окружающую среду при обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки в соответствии с испытаниями, указанными в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6 и 3.4.4.1–3.4.4.4.

Комментарий

Данное требование не исключает наличия системы сброса давления в упаковке типа В(U). Тем не менее, необходимо, чтобы сброс давления не осуществлялся при нормальных и аварийных условиях перевозки.

2.9.7. Упаковка должна быть сконструирована так, чтобы при создании перед испытаниями в системе герметизации максимального нормального рабочего давления и при последующих испытаниях, имитирующих нормальные и аварийные условия перевозки, указанных в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6 и 3.4.4.1–3.4.4.4, напряжения в системе герметизации не достигали значений, в результате действия которых упаковка перестала бы отвечать соответствующим требованиям.

Комментарий

Данное требование введено в связи с тем, что внутреннее давление в упаковке может возрастать после ее герметизации. Причинами этого могут быть воздействие на упаковку высокой окружающей температуры, инсоляция, радиоактивный распад, химические реакции, радиолиз в упаковках, заполненных водой, или комбинация вышеперечисленных механизмов. Для описания данных механизмов используют понятие максимального нормального рабочего давления (МНРД) — давления, которое можно ожидать в результате действия перечисленных факторов в нормальных условиях перевозки (пункт 16 приложения № 1 к НП-053-16).

Превышение МНРД может неблагоприятно влиять на работоспособность упаковки, поэтому его необходимо учитывать при оценке работоспособности в нормальных и аварийных условиях, а также при проведении соответствующих испытаний.

При конструировании упаковки следует определять степень, при которой напряжения в различных элементах деформируют систему герметизации и нарушают целостность ее уплотнения. Рекомендуется также оценивать снижение сжатия уплотнений, вызываемое, например, растяжением болтов и локальным повреждением вследствие механического воздействия. Деформация упаковки вследствие удара может быть определена непосредственно по результатам испытания на свободное падение. Деформация упаковки вследствие теплового воздействия может быть определена с использованием расчетов, выполненных при помощи ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке.

Рекомендуется, чтобы напряжения в системе герметизации в нормальных условиях перевозки при МНРД находились в пределах упругой области.

При проектировании упаковки необходимо обеспечить такие значения напряжения, которые не приведут в аварийных условиях перевозки к значительной утечке радиоактивного содержимого, превышающей значения, установленные в пункте 2.9.4 НП-053-16. Уровень внешнего излучения в результате аварии не должен превышать уровней, установленных в пункте 2.9.4 НП-053-16.

При использовании расчетных методов для оценки эксплуатационных характеристик упаковки МНРД рекомендуется рассматривать в качестве параметра, при превышении которого нормальные условия перевозки переходят в аварийные.

2.9.8. Максимальное нормальное рабочее давление в упаковке не должно превышать 700 кПа.

Комментарий

Максимальное значение МНРД, установленное на уровне 700 кПа, является пределом для упаковок типа В(U). Данная величина выбрана в соответствии с требованиями SSR-6 [8].

2.9.9. При обычных условиях перевозки максимальная температура на любой легкодоступной поверхности упаковки не должна превышать 50°C в отсутствие инсоляции, если упаковка не перевозится на условиях исключительного использования.

При перевозке на условиях исключительного использования, кроме перевозки воздушным транспортом, температура на любой легкодоступной поверхности упаковки с учетом использования защитных средств (ограждений) для ограничения доступа работников транспорта не должна превышать 85°C. Испытаний защитных средств (ограждений) проводить не требуется.

Комментарий

Температуры поверхности упаковок, содержащих РМ, генерирующие тепло, будут выше температуры окружающей среды. Данное требование введено с целью установления ограничений для температуры поверхности, защиты соседних упаковок от возможного повреждения, а также защиты персонала, обслуживающего упаковки.

Предел температуры поверхности упаковки, установленный на уровне 50°C, исключает перегревание соседних упаковок, а также заведомо исключает получение ожогов персоналом при прикосновении к поверхности упаковки.

При перевозках на условиях исключительного использования обеспечивается более тщательный контроль за возможным повреждением соседних упаковок. Максимальная температура

поверхности упаковки на уровне 85°C обеспечивает достаточный уровень защиты персонала при случайном соприкосновении с упаковками с учетом использования защитных ограждений. Данные защитные ограждения не являются частью конструкции упаковки, поэтому они исключены из любых испытаний, проводимых с упаковкой.

Понятие «легкодоступная поверхность» используется для обозначения тех поверхностей, которых может коснуться человек. Например, поверхности, для доступа к которым необходимо использовать дополнительные инструменты, не являются легкодоступными. Кроме того, не следует считать легкодоступными поверхности между тесно расположенными ребрами. При этом, если данные ребра расположены широко (например, на ширину ладони человека или более), то поверхность между ними может считаться легкодоступной.

Барьеры или экраны могут быть использованы для защиты от высоких температур поверхности. Защита может обеспечиваться путем установки металлического экрана или кожуха, эффективно предохраняющего от доступа или контакта с упаковкой при обычных условиях перевозки. Барьеры должны рассматриваться как легкодоступные поверхности, и поэтому к ним применяются соответствующие температурные пределы. Использование барьеров или экранов не должно снижать способность упаковки удовлетворять требованиям к теплообмену и ее безопасности. Сохранение такого экрана или иного устройства не требуется при проведении испытаний на соответствие нормативным требованиям для утверждения конструкции упаковки.

2.9.10. Упаковка должна быть сконструирована в расчете на диапазон температур окружающей среды от -40 до +38°C и параметры инсоляции, указанные в таблице № 2 приложения № 4 к настоящим Правилам.

Для перевозки упаковки в закрытом перевозочном средстве, в котором температура может быть выше 38°C, упаковка типа В(U) должна быть сконструирована с учетом этой повышенной температуры при температуре окружающей среды 38°C. При этом учитывается инсоляция для транспортного средства согласно таблице № 2 приложения № 4 к настоящим Правилам, а инсоляция для упаковки не учитывается.

Комментарий

Учет пониженных температур важен 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. Некоторые материалы, обеспечивающие хорошие характеристики при высоких температурах, теряют эластичность при температурах -20°C или ниже. Это может приводить к узким зазорам шириной в несколько микронов, возникающих из-за различного теплового расширения металлических деталей и эластомера. Нижний температурный предел -40°C и верхний температурный предел +38°C являются разумными граничными величинами для температур окружающей среды, которые могут встречаться в большинстве географических районов в течение года, в том числе в России.

В процессе перевозки упаковка может быть нагрета солнечными лучами. Предполагается, что упаковки находятся под прямым воздействием солнечных лучей. В таблице № 2 приложения № 4 к НП-053-16 приведены консервативные величины теплового потока, воздействию которого может подвергаться упаковка. Максимальная величина теплового потока достигается для обращенной вверх горизонтальной поверхности, получающей максимальное тепловое воздействие. При определении данных значений также принято, что вертикальная поверхность

нагревается только 12 ч и с половинной эффективностью (по сравнению с горизонтальной поверхностью, обращенной вверх), поэтому табличная величина инсоляции вертикальной поверхности составляет одну четверть от максимальной величины для обращенной вверх плоской поверхности. Для искривленных поверхностей, меняющих ориентацию от горизонтального до вертикального положения, допускается принимать предположение о том, что их максимальный нагрев составляет половину от аналогичной величины для плоских поверхностей, обращенных вверх.

Для поверхностей, не расположенных горизонтально, может быть использована более точная зависимость теплового потока от времени, описывающая инсоляцию в течение дня для плоских и искривленных поверхностей.

При проведении расчетных оценок температурных режимов ТУК с РМ необходимо использовать ПС, прошедшие экспертизу в установленном порядке, и удовлетворяющие следующим условиям:

- ПС позволяет учитывать или консервативно оценивать особенности пространственного распределения тепла в упаковке, обусловленные параметрами окружающей среды, геометрией упаковки и источника тепла;
- ПС позволяет создавать расчетные модели с уровнем масштабируемости, обеспечивающим возможность определения температурных режимов как на поверхности ТУК, так и, например, на поверхности оболочки твэла или закрытого радионуклидного источника с достаточной точностью;
- ПС позволяет учитывать нестационарные граничные условия;
- ПС позволяет учитывать зависимость теплофизических свойств материалов от температуры в диапазоне температур конструкционных материалов, соответствующем нормальным и аварийным условиям перевозки;
- ПС позволяет учитывать анизотропию теплофизических свойств материалов в случае применения в конструкции упаковки материалов с такими свойствами.

Кроме того, при проведении расчетных оценок необходимо принять во внимание элементы упаковки, уменьшающие инсоляцию любой поверхности (то есть затеняющие поверхность упаковки). Однако, если эффективность подобных элементов может быть уменьшена в результате любых воздействий на упаковку, возможных в ходе испытаний, соответствующих нормальным условиям перевозки, данные элементы не следует учитывать при проведении расчетных оценок.

Оценка температурных режимов упаковки при перевозке РМ может быть выполнена посредством как расчетов, выполненных с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, так и испытаний. Испытания 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. При необходимости следует делать поправку на температуру окружающей среды и другие параметры.

При оценке работоспособности конструкции упаковки при низких температурах следует не учитывать нагрев от радиоактивного содержимого, так как он не является постоянным. При этом в ходе оценки работоспособности конструкции упаковки при высоких температурах

следует учитывать влияние максимально возможного тепловыделения радиоактивного содержимого.

Следует учитывать, что под нормативным предельным значением температуры 38°C понимается именно температура окружающей среды, а не температура в закрытом вагоне или в другом закрытом транспортном средстве, где размещается упаковка и где температура воздуха может превышать 38°C. В связи с вышесказанным при конструировании упаковки необходимо учитывать температуры в реальных условиях транспортирования.

2.9.11. Упаковка для радиоактивного содержимого, активность которого превышает $10^5 A_2$, должна быть сконструирована таким образом, чтобы в случае ее испытания на глубоководное погружение согласно пункту 3.4.4.5 не разрушалась система герметизации, отсутствовал выход конструктивных элементов твердого радиоактивного содержимого из упаковки.

Комментарий

Представленные в НП-053-16 сценарии аварий предусматривают возможное затопление упаковки.

При попадании упаковки в воду радиационное воздействие на население может проявляться через пищевые цепочки и потребление воды.

С целью сохранения радиационного воздействия на разумно достижимом низком уровне при данных ситуациях в НП-053-16 введено требование о проведении испытаний погружением упаковок с облученным топливом, содержащих активность, кратную A_2 , в воду на глубину 200 м. Глубина 200 м приблизительно соответствует глубине континентального шельфа.

2.9.12. Упаковка, содержащая радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию, должна быть сконструирована таким образом, чтобы любые компоненты, добавленные к радиоактивному материалу с низкой способностью к рассеянию, или любые внутренние компоненты упаковочного комплекта не могли негативно воздействовать на характеристики радиоактивного материала с низкой способностью к рассеянию.

Комментарий

Следует уделять особое внимание взаимодействию между РМ с низкой способностью к рассеянию и упаковочным комплектом в нормальных и аварийных условиях перевозки. Это взаимодействие не должно повреждать герметичную оболочку или другую матрицу, в которой заключен материал с низкой способностью к рассеянию, а также не должно способствовать разрушению самого материала в такой степени, которая приводила бы к изменениям свойств РМ выше пределов, установленных требованиями пункта 2.3.1 НП-053-16.

2.10. Требования к упаковкам типа В(М)

2.10.1. Упаковки типа В(М) должны быть сконструированы так, чтобы удовлетворялись общие требования к упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4), требования к упаковкам типа А согласно пунктам 2.8.2–2.8.15, за исключением подпункта «а» пункта 2.8.12, и требования к упаковкам типа В(У), указанные в пунктах 2.9.2–2.9.4. Требования к упаковкам типа В(У), изложенные в пунктах 2.9.5–2.9.12, для упаковок типа В(М) должны быть выполнены по мере возможности.

Комментарий

Компенсация невыполнения отдельных технических требований для упаковок типа В(М) должна осуществляться за счет специальных технических и организационных мер.

Основная цель данного требования заключается в том, чтобы нормы безопасности для упаковок типа В(М), в соответствии с которыми они конструируются и эксплуатируются, обеспечивали уровень безопасности, эквивалентный тому, который предусматривается для упаковок типа В(У).

2.10.2. Периодический сброс давления из упаковок типа В(М) во время перевозки может быть разрешен, если условия эксплуатационного контроля за ним внесены в сертификат-разрешение на конструкцию упаковки. При таком сбросе в любом случае должно быть обеспечено не превышение допустимой потери активности в нормальных условиях перевозки согласно подпункту «а» пункта 2.9.4.

Комментарий

Данное требование введено с целью регулирования перевозки упаковок, давление в которых возрастает в результате различных процессов (комментарии к пункту 2.9.7 НП-053-16), что может в конечном счете вызвать разрушение упаковки или сократить срок ее службы. Для исключения данного обстоятельства пункт 2.10.2 НП-053-16 разрешает включать в конструкцию упаковки устройства для периодического сброса давления. В соответствии с требованиями НП-053-16 такие упаковки являются упаковками типа В(М).

Для обеспечения уровня безопасности, эквивалентного тому, который должен быть обеспечен упаковкой типа В(У), в конструкции упаковки должны быть предусмотрены фильтры или альтернативные ограничители. При этом сброс давления должен проводиться только в присутствии квалифицированного дозиметриста.

Поскольку не существует определенного нормативного предела выхода радиоактивности при периодическом сбросе давления в случае наличия эксплуатационного контроля, проектанту необходимо обосновать, что при данной операции не произойдет превышения установленных доз облучения персонала и населения.

При данном обосновании необходимо учитывать:

- а) облучение вследствие радиоактивной утечки и внешнего излучения от упаковки в нормальных условиях перевозки;
- б) расположение и ориентацию клапана сброса давления по отношению к рабочему месту оператора и находящемуся поблизости персоналу;
- в) продолжительность пребывания персонала в непосредственной близости от упаковки;
- г) физическую и химическую природу сбрасываемого материала;
- д) дозы облучения персонала и населения, вызванные облучением от других источников.

Выход радиоактивности при нормальных и аварийных условиях перевозки в отсутствие эксплуатационного контроля не должен превышать пределов, установленных в пункте 2.9.4 НП-053-16.

2.11. Требования к упаковкам типа С

2.11.1. Упаковка типа С должна быть сконструирована таким образом, чтобы удовлетворялись общие требования к упаковочным комплектам и упаковкам (подраздел 2.4), требования к упаковкам типа А согласно пунктам 2.8.2–2.8.15, за исключением требований, указанных в подпункте «а» пункта 2.8.12, а также требования к упаковкам типа В(U) согласно пунктам 2.9.2, 2.9.5–2.9.10, 2.9.12 и, кроме того, пунктам 2.11.2–2.11.4.

Комментарий

Упаковки типа С должны быть способны выдерживать условия тяжелых аварий при перевозке воздушным транспортом без потери радиоактивного содержимого или повышения уровня внешнего излучения в таких масштабах, которые могли бы представлять опасность для населения или лиц, участвующих в аварийном реагировании. При этом упаковка не обязательно должна быть пригодна для повторного использования.

2.11.2. Упаковка типа С должна удовлетворять требованиям, предусмотренным в подпункте «б» пункта 2.9.4 и пункте 2.9.7, после погружения в среду, характеризуемую тепловой проводимостью 0,33 Вт/(м·К) и температурой 38°C в стационарном состоянии. В качестве исходных условий оценки должно быть принято, что любая тепловая изоляция упаковки не повреждена, упаковка находится в условиях максимального нормального рабочего давления, а температура внешней среды составляет 38°C.

Комментарий

После авиакатастрофы и (или) выпадения упаковок из воздушного судна данные упаковки могут быть завалены обломками или слоем грунта. Данное обстоятельство может приводить к росту температуры и внутреннего давления.

Для демонстрации соответствия упаковки типа С нормам безопасности могут использоваться аналитические методы, эксперименты или ПС, прошедшие экспертизу в установленном порядке.

2.11.3. Упаковка типа С должна быть сконструирована таким образом, чтобы при максимальном нормальном рабочем давлении:

а) при испытаниях, имитирующих нормальные условия перевозки, предусмотренных в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6, утечка радиоактивного содержимого из упаковки не превышала 10^{-6} А₂ в час;

б) при испытаниях в последовательности, предусмотренной в пункте 3.4.6.1, упаковка отвечала следующим требованиям:

- сохраняла достаточные защитные свойства, обеспечивающие на расстоянии 1 м от поверхности упаковки уровень излучения не выше 10 мЗв/ч при наличии максимального радиоактивного содержимого, на которое рассчитана упаковка;
- активность общей утечки радиоактивного содержимого за одну неделю не будет превышать 10А₂ для криптона-85 и А₂ для всех других радионуклидов.

При наличии смесей различных радионуклидов применяются положения, изложенные в приложении № 2, кроме криптона-85, для которого может применяться эффективное значение, равное 10А₂. При оценке выхода радиоактивного содержимого во время испытаний на нормальные условия согласно подпункту «а» пункта 2.11.3 учитываются пределы внешнего загрязнения, указанные в пункте 5.3.9.

Комментарий

Упаковка типа С должна обеспечивать такой же уровень защиты при воздушных перевозках, как и упаковки типа В(U) и типа В(М) при перевозках наземным и морским транспортом. Для достижения этой цели необходимо обеспечивать, чтобы при испытаниях упаковок типа С на способность выдерживать аварийные условия транспортирования уровни внешнего излучения и пределы потери активности были такие же, как у упаковок типа В(U).

2.11.4. Упаковка типа С должна быть сконструирована таким образом, чтобы в случае испытания на глубоководное погружение согласно пункту 3.4.4.5 не разрушалась система герметизации и отсутствовал выход конструктивных элементов твердого радиоактивного содержимого из упаковки.

Комментарий

При авиакатастрофе над поверхностью воды упаковка типа С может быть погружена в воду. На нее может воздействовать большое гидростатическое давление, зависящее от глубины погружения.

Указанная глубина 200 м приблизительно соответствует максимальной глубине континентального шельфа.

2.12. Требования к упаковкам, содержащим делящиеся материалы

2.12.1. Конструкции упаковок, содержащих делящиеся материалы, должны отвечать требованиям к промышленным упаковкам или упаковкам типа А, или типа В(U), или типа В(М), или типа С, или упаковкам с гексафторидом урана с учетом свойств и активности радиоактивного содержимого, а также требованиям настоящего подраздела.

Комментарий

Требования к упаковкам, содержащим ДМ, являются дополнительными требованиями, предъявляемыми для обеспечения подкритичности упаковок с ДМ в нормальных и аварийных условиях перевозки. Все другие применимые требования НП-053-16 должны быть также удовлетворены.

2.12.2. Делящийся материал и упаковки, содержащие делящийся материал, освобождаются от требований настоящего подраздела и других требований настоящих Правил, относящихся к транспортированию делящихся материалов, если они перевозятся в соответствии с требованиями пункта 5.3.6 настоящих Правил и удовлетворяют одному из следующих условий:

а) уран, обогащенный по урану-235 не более 1 % масс., с общим содержанием плутония и урана-233, не превышающим 1 % от массы урана-235, при условии, что делящиеся нуклиды распределены практически равномерно по всему материалу; кроме того, если уран-235 присутствует в виде металла, окиси или карбида, то он не должен располагаться в виде упорядоченной решетки;

б) жидкие растворы азотнокислого урана, обогащенного по урану-235 не более 2 % масс., с общим содержанием плутония и урана-233 в количестве, не превышающем 0,002 % от массы урана, и с отношением числа атомов азота к числу атомов урана не менее 2;

в) уран с максимальным обогащением по урану-235 до 5 % масс. при условии, что:

- упаковка содержит не более 3,5 г урана-235;

- общее содержание плутония и урана-233 в упаковке не превышает 1 % от массы урана-235;
- на перевозку упаковок распространяется ограничение в отношении груза, предусмотренное подпунктом «в» пункта 5.3.6;

г) делящиеся нуклиды с общей массой не более 2,0 г на упаковку при условии, что на перевозку упаковок распространяется ограничение в отношении груза, предусмотренное подпунктом «г» пункта 5.3.6;

д) делящиеся нуклиды с общей массой не более 45 г, упакованные или неупакованные, подлежащие ограничению в отношении груза, предусмотренному подпунктом «д» пункта 5.3.6;

е) делящийся материал, который отвечает требованиям пунктов 2.12.3, 4.1.1 и подпункта «б» пункта 5.3.6.

Все положения настоящего пункта применяются только к материалу в упаковках, которые отвечают требованиям пункта 2.8.2 настоящих Правил, если соответствующее положение конкретно не допускает неупакованный материал.

Комментарий

Упаковки, содержащие ДМ, которые отвечают любому из требований подпунктов а) – е) пункта 2.12.2 НП-053-16, освобождаются от требований по обеспечению ядерной безопасности, указанных в пунктах 2.12.4 – 2.12.12 НП-053-16.

Упаковки с РМ, характеристики которых соответствуют условиям, приведенным в данном пункте, остаются подкритическими при любых условиях перевозки, даже с учетом возможного наличия материалов, повышающих размножающую способность упаковки, в частности, воды.

Данные пределы выбраны в соответствии с рядом публикаций, в частности, [46–48].

2.12.3. Делящийся материал, освобожденный в соответствии с подпунктом «е» пункта 2.12.2 от требований настоящего подраздела и других требований настоящих Правил, относящихся к транспортированию делящихся материалов, должен быть подкритичным без необходимости введения контроля его накопления при следующих условиях:

- условия, предусматриваемые пунктом 2.12.4;
- условия, совместимые с положениями подпункта «б» пункта 2.12.12.1 и подпункта «б» пункта 2.12.12.2 в отношении упаковок;
- в случае перевозки воздушным транспортом — условия, указанные в подпункте «а» пункта 2.12.11.

Комментарий

Ядерная безопасность в отношении освобожденного ДМ должна обеспечиваться без осуществления каких-либо дополнительных организационных мер со стороны грузоотправителя, грузоперевозчика и грузополучателя.

Упаковка, содержащая ДМ, освобожденный от выполнения требований НП-053-16 к ДМ, должна оставаться подкритичной при обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки с учетом изменения количества, плотности и распределения воды или других замедлителей в упаковке, перераспределения РМ внутри упаковки, изменения расположения упаковок при транспортировании и изменения внутренней конфигурации упаковки. Кроме того, следует

учитывать возможное попадание упаковок в воду или снег, а также эффекты изменения температуры.

При анализе ядерной безопасности следует учитывать состояние упаковки, в котором она находится после испытаний на нормальные (пункт 3.4.2 НП-053-16) и аварийные условия перевозки (испытания, указанные в пункте 3.4.4 НП-053-16).

При транспортировании воздушным транспортом данная упаковка должна быть подкритичной после испытаний, предусмотренных для упаковок типа С (пункт 3.4.6 НП-053-16).

2.12.4. Делящийся материал должен упаковываться и перевозиться таким образом, чтобы сохранялась подкритичность при обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки.

Необходимо учитывать, что при перевозке упаковок, содержащих делящийся материал, существует возможность:

- протечки воды в упаковку или из нее;
- снижения эффективности вмонтированных в упаковку поглотителей или замедлителей нейтронов;
- перераспределения содержимого либо внутри упаковки, либо в результате его выхода из упаковки;
- уменьшения расстояний внутри упаковки или между упаковками;
- попадания упаковок в воду или в снег;
- эффектов от изменения температуры.

Комментарий

Конструкция упаковок, содержащих ДМ, должна исключать возникновение критичности (критичность достигается, когда цепная реакция деления становится самоподдерживающейся вследствие баланса между рождающимися нейтронами и теряемыми нейтронами за счет поглощения и утечки из системы). При анализе безопасности следует учитывать параметры, которые влияют на взаимодействие нейтронов. Должен быть организован контроль за массой делящегося вещества в упаковке. Дополнительно следует учитывать следующее:

а) выбор формы системы локализации для упаковочного комплекта влияет на утечку нейтронов вследствие изменения соотношения поверхности и объема. Например, тонкие цилиндры, характеризующиеся большей утечкой по сравнению со сферами и цилиндрами, с соотношением высоты к диаметру, близким к 1;

б) выбор материала упаковочного комплекта влияет на утечку нейтронов за счет обратного отражения;

в) нейтроны, покидающие упаковку, содержащую ДМ, могут войти в другую упаковку с ДМ и произвести акт деления. Взаимодействие нейтронов зависит от размеров упаковок и их пространственного расположения. Взаимодействие между различными упаковками должно быть ограничено;

г) в конструкции упаковки могут использоваться фиксированные нейтронные поглотители;

д) в конструкции упаковки должно быть максимально снижено количество пустот для ограничения количества воды, которая может попасть в упаковку.

В случаях, когда ядерная безопасность зависит от присутствия поглотителей нейтронов, необходимо, чтобы поглотитель был твердым и являлся неотъемлемой частью контейнера. Испытаниями следует подтверждать, что после их выполнения количество и распределение поглотителей нейтронов в элементах упаковочного комплекта изменились так же незначительно, как и аналогичные параметры, принятые при анализе ядерной безопасности. При проверке на соответствие оценкам ядерной безопасности следует учитывать неопределенности методов расчетов.

В зависимости от конструкции упаковки и особых условий, предусматриваемых при перевозке и обращении с упаковками, может возникать необходимость учета при анализе ядерной безопасности других возможных факторов. Например, если результаты испытаний показывают перемещение ДМ или поглотителя в упаковке, при проведении анализа ядерной безопасности следует рассматривать неопределенности, связанные с такими перемещениями. Необходимо учитывать различия между испытанными образцами и реальными упаковками.

Особое внимание при анализе ядерной безопасности следует уделять воде, которая влияет на ядерную безопасность несколькими способами. Когда она смешана с ДМ, результирующее замедление нейтронов может значительно увеличивать размножающие свойства системы. Как отражатель нейтронов, вода так же увеличивает коэффициент размножения нейтронов. Если водный отражатель расположен за пределами системы локализации, он менее эффективен. Также, он менее эффективен, находясь за пределами упаковки. Толстые слои воды (~30 см), плотность которой составляет 1 кг/м^3 , между упаковками могут снижать нейтронное взаимодействие упаковок до незначительных значений [49, 50].

При проведении анализа ядерной безопасности следует учитывать изменения геометрии упаковки. Следует рассматривать все состояния воды, включая снег, лед и пар, если это может приводить к увеличению $K_{\text{эфф}}$.

Поглотители нейтронов иногда применяются в упаковках для уменьшения эффекта взаимодействия между упаковками. Потеря эффективности поглотителей нейтронов, например, за счет коррозии и перераспределения может заметно влиять на коэффициент размножения нейтронов.

В сертификатах-разрешениях на конструкцию упаковок, содержащих ДМ, указывается разрешенное содержимое упаковки. Перед каждой перевозкой следует проверять, что содержащееся содержимое имеет характеристики, представленные в перечне разрешенного содержимого. Если сменные поглотители нейтронов или другие сменные устройства специально разрешены сертификатом-разрешением, то проверками и (или) испытаниями следует подтвердить присутствие, правильное положение и (или) концентрацию этих поглотителей нейтронов или устройств, обеспечивающих подкритичность. Процедурой подтверждения или испытаниями следует гарантировать, что наличие, правильное положение и (или) концентрация нейтронного поглотителя или контролирующих устройств в пределах упаковки соответствуют принятым в оценке ядерной безопасности.

При установлении запаса подкритичности следует рассматривать возможные изменения расположения упаковочного комплекта или содержимого. При появлении признаков изменения размеров во время испытания на аварийные условия перевозки следует проводить анализ чувствительности коэффициента размножения упаковки к этим изменениям. Потеря ДМ из упаковок должна быть ограничена таким количеством, которое заведомо не может быть критичным с учетом оптимального водного замедлителя и отражателя в виде слоя воды толщиной более 20 см. Следует также учитывать уменьшение расстояний между упаковками, вероятное

вследствие возможных повреждений упаковки при перевозке. Допуски на размеры и состав материалов следует учитывать таким образом, чтобы они приводили к увеличению $K_{эфф}$.

2.12.5. Эффективный коэффициент размножения $K_{эфф}$ отдельной упаковки не должен превышать 0,95 в обычных, нормальных и аварийных условиях перевозки.

Комментарий

$K_{эфф}$ не должен превышать 0,95 с учетом всех погрешностей и неопределенностей, возникающих при проведении расчетов.

Запас подкритичности $\Delta K_{эфф}/K_{эфф} < 0,05$ выбран с целью компенсации возможных ошибок при анализе ядерной безопасности.

Для проведения расчетов $K_{эфф}$ необходимо использовать ПС, прошедшие экспертизу в установленном порядке и удовлетворяющие следующим условиям:

- параметры анализируемой системы входят в область допустимых параметров согласно паспорту ПС;
- ПС позволяет моделировать ЯТ (конструкцию ТВС, нуклидный состав топлива, распределение нуклидного состава по ТВС), а также систему хранения и транспортирования ЯТ (стеллажей для хранения ТВС, ТУК и т. д.) с достаточной и известной точностью;
- ПС включает в себя соответствующие библиотеки оцененных ядерных данных, содержащие информацию о нейтронных сечениях взаимодействия нейтронов с нуклидами;
- ПС включает в себя библиотеки термализации для замедлителей, которые присутствуют или могут присутствовать в рассматриваемой системе хранения и транспортирования.

2.12.6. Упаковочный комплект после того, как он был подвергнут предусмотренным пунктами 3.4.2.1–3.4.2.6 испытаниям, имитирующим нормальные условия перевозки, должен:

- сохранять минимальные габаритные размеры не менее 10 см;
- исключать проникновение внутрь куба с ребром 10 см.

Комментарий

При испытаниях должно исключаться уменьшение габаритных размеров упаковки до величин менее 10 см.

Предотвращение проникновения куба с ребром 10 см позволяет обеспечивать достаточную защиту РМ от внешних воздействий.

2.12.7. Упаковка должна быть сконструирована с учетом диапазона температур внешней среды от -40 до $+38^{\circ}\text{C}$, если только в сертификате-разрешении на конструкцию упаковки не будут оговорены иные условия.

Комментарий

Выход за пределы температурного диапазона от -40 до $+38^{\circ}\text{C}$ может быть приемлемым при условии соответствующего обоснования. Если температура окружающей среды может оказывать влияние на ядерную безопасность упаковки при нормальных и аварийных условиях перевозки, то в сертификате-разрешении следует указать область температур, в которой обеспечивается ядерная безопасность перевозки.

2.12.8. При анализе ядерной безопасности отдельной изолированной упаковки и системы упаковок необходимо выполнять требования пунктов 2.12.8.1–2.12.8.14 настоящих Правил.

2.12.8.1. Все упаковки на перевозочном средстве необходимо рассматривать расположенными вплотную друг к другу настолько близко, насколько позволяет их конструкция с учетом деформации в нормальных и аварийных условиях перевозки и насколько это приводит к максимальному $K_{эфф}$.

Комментарий

Значение $K_{эфф}$ при максимальном сближении упаковок как правило увеличивается по сравнению со штатной расстановкой упаковок за счет нейтронного взаимодействия между упаковками.

ПС и (или) методики, используемые при анализе, должны иметь возможность учета изменения расстояния между упаковками, а также возможность моделирования изменения геометрических параметров упаковок при нормальных и аварийных условиях транспортирования.

2.12.8.2. Для отдельной изолированной упаковки необходимо учитывать, что вода может полностью вытечь из упаковки или наоборот проникнуть во все свободное пространство, включая пространство внутри системы герметизации. Если конструкция упаковки имеет специальные средства для предотвращения проникновения или утечки воды в определенные свободные объемы, то для этих объемов допускается предполагать отсутствие протечки. В качестве таких специальных средств необходимо использовать ряд барьеров для воды, как минимум два из которых должны остаться водонепроницаемыми при испытаниях, указанных в пункте 2.12.12.2, в сочетании с проведением испытаний для проверки уплотнения каждой упаковки перед каждой перевозкой. Для упаковочных комплектов, содержащих только гексафторид урана с обогащением урана до 5 % масс. по урану-235 в качестве специальных средств допускается использовать упаковочные комплекты, для которых выполняются следующие условия:

- а) после проведения испытаний, предусмотренных в пункте 2.12.12.2, отсутствует непосредственный контакт клапана с любым другим компонентом упаковочного комплекта, кроме как в первоначальной точке крепления;
- б) после проведения испытаний, указанных в пункте 3.4.4.3, клапаны остаются устойчивыми к утечке;
- в) для каждой упаковки перед каждой перевозкой проводятся испытания для проверки всех уплотнений.

Комментарий

Из-за существенного влияния, которое может оказывать вода на размножение нейтронов, анализ ядерной безопасности упаковки требует учета присутствия воды во всех полостях упаковки в той степени, которая вызывает максимальное размножение нейтронов. Присутствие воды может быть исключено только для полостей, защищенных специальными устройствами, которые остаются водонепроницаемыми в аварийных условиях перевозки. Следует рассматривать вероятные условия перевозки, которые могут приводить к затоплению полостей упаковок, приводящему к увеличению значения $K_{эфф}$.

Размножающие свойства упаковок, содержащих гексафторид урана, крайне сильно зависят от количества водорода в упаковке. В связи с этим следует уделять внимание ограничению возможности проникновения воды в упаковки. Лицам, ответственным за испытание, подготовку,

эксплуатацию и перевозку этих упаковок, следует быть осведомленными о данной особенности упаковок и гарантировать, что попадание водородосодержащих веществ в упаковку исключено или их количество минимизировано.

2.12.8.3. Необходимо учитывать такие количество, распределение и плотность замедлителя нейтронов (в частности, воды), находящегося в упаковке и между упаковками в аварийных условиях, которые приводят к максимальному $K_{эфф}$ с учетом общего положения, касающегося проникновения и утечки воды в соответствии с пунктом 2.12.8.2.

Комментарий

Следует учитывать проникновение замедлителей в упаковку и пространство между упаковками в аварийных условиях перевозки.

Изменение плотности воды приводит к изменению замедляющей и поглощающей способностей, что, в свою очередь, изменяет $K_{эфф}$ всей рассматриваемой системы. Плотность воды, соответствующая максимальной размножающей способности ДМ, различается в зависимости от геометрической конфигурации системы, а также свойств самих ДМ. В связи с вышесказанным, необходимо проведение анализа всего возможного диапазона изменения плотности замедлителей в упаковке и между упаковками.

При учете распределения воды в упаковке следует учесть возможную разницу уровня между различными элементами упаковки (разноуровневость). Такая ситуация может возникать, например, в упаковках, предназначенных для транспортирования ЯТ, в которых ТВС размещаются в металлических чехлах (трубах). Превышение уровня воды в данных чехлах над уровнем воды между чехлами (трубами), связанное с быстрым заполнением (осушением) упаковки, может привести к увеличению $K_{эфф}$ системы.

В качестве замедлителей могут выступать элементы упаковки, например, нейтронная защита упаковок с ОЯТ, в составе которых используются водородсодержащие материалы. Следует учитывать возможное расплавление таких материалов и проникновение их во внутреннее пространство упаковки, если это гарантированно не исключено.

2.12.8.4. Необходимо предполагать для отдельной изолированной упаковки или группы упаковок наличие вокруг них полного отражателя из воды (или присутствующего в анализируемой системе наиболее эффективного отражающего материала) толщиной не менее 20 см дополнительно к отражающей способности конструктивных элементов упаковки.

Комментарий

Вода выбрана в качестве наиболее вероятного отражателя, благодаря своему широкому распространению в природе и относительно благоприятным свойствам, увеличивающим $K_{эфф}$ системы. Добавление отражателя в систему уменьшает утечку нейтронов и, следовательно, увеличивает $K_{эфф}$ системы. Полный отражатель практически полностью предотвращает утечку нейтронов из системы. Толщина данного отражателя составляет около трех длин диффузии нейтронов в материале отражателя, что для воды составляет приблизительно 10 см. При этом в расчетах консервативно предполагают наличие отражателя из воды толщиной не менее 20 см.

2.12.8.5. В случае, если химическая или физическая форма, изотопный состав, масса или концентрация, степень замедления нейтронов или плотность либо геометрическая конфигурация неизвестны, необходимо предполагать, что каждый неизвестный параметр имеет такое

значение, при котором размножение нейтронов достигает максимального уровня, соответствующего известным условиям и параметрам этих оценок.

Комментарий

Значения неизвестных или неопределенных параметров следует выбирать так, чтобы они приводили к максимальному значению коэффициента размножения нейтронов при выполнении оценок, описанных в пунктах 2.12.1–2.12.12 НП-053-16. На практике это требование может быть удовлетворено путем учета этих неопределенностей соответствующими допущениями. Важно определять комбинацию параметров, которая приводит к максимальному размножению нейтронов. Таким образом, оценка ядерной безопасности должна включать как определение неизвестных параметров, так и анализ 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 не превышает 0,95.

2.12.8.6. Облученное ядерное топливо необходимо рассматривать как свежее, если $K_{эфф}$ при выгорании уменьшается, и как облученное до величины, соответствующей максимальному $K_{эфф}$, если $K_{эфф}$ при выгорании увеличивается.

Допускается использовать глубину выгорания как параметр ядерной безопасности, если глубина выгорания измеряется с помощью специальных установок. Запись об этом должна быть внесена в сертификат-разрешение на конструкцию упаковки.

Комментарий

Нуклидный состав, использованный для анализа ядерной безопасности транспортирования ЯТ, должен быть выбран на основе консервативных оценок. Облучение обычно уменьшает содержание делящихся нуклидов (изотопов урана, тория и плутония), но приводит к образованию трансурановых актинидов, которые могут как делиться под действием нейтронов, так и поглощать их без деления. Кроме того, при облучении в топливе накапливаются продукты деления, как правило, характеризующиеся большим сечением поглощения нейтронов без деления, вне зависимости от того, являются ли эти продукты деления радиоактивными или стабильными. Комбинированное влияние таких изменений на нуклидный состав, как правило, приводит к снижению $K_{эфф}$ по сравнению со «свежим» ЯТ. Однако $K_{эфф}$ может увеличиваться при облучении за счет наличия выгорающих поглотителей, если прирост $K_{эфф}$ из-за выгорания данных поглотителей больше, чем потеря $K_{эфф}$ за счет изменения изотопного состава топлива. Кроме того, в ОЯТ реакторов на быстрых нейтронах возможно накопление делящихся изотопов актинидов в количестве, не большем, чем содержалось в исходном ЯТ. При анализе ядерной безопасности следует принимать глубину выгорания топлива, соответствующую максимальному $K_{эфф}$, за исключением случаев, когда значение глубины выгорания ОЯТ допускается рассматривать как параметр ядерной безопасности.

Если обосновывать ядерную безопасность в приближении «свежего топлива», не представляется возможным и требуется использовать значение глубины выгорания как параметра ядерной безопасности, необходимо проведение измерений, подтверждающих, что консервативно определенное значение глубины выгорания не меньше, чем значение, принимаемое при обосновании ядерной безопасности. При проведении данных измерений следует учитывать распределение глубины выгорания по высоте.

При обосновании ядерной безопасности транспортирования ЯТ с использованием глубины выгорания в качестве параметра ядерной безопасности следует учитывать изменение в процессе выгорания ЯТ концентраций следующих основных нуклидов: ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu . Другие нуклиды рекомендуется учитывать при обосновании ядерной безопасности только в случае, если их содержание в ОЯТ может быть достоверно определено (с учетом погрешности методов определения), а также выполняются следующие условия:

- нуклид обладает существенным сечением взаимодействия с нейтронами;
- нуклид содержится в ОЯТ в значимых количествах;
- нуклид и его основные соединения являются нелетучими при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии;
- нуклид является стабильным, или период его полураспада значительно превышает интервал времени с момента выгрузки ОЯТ из реактора до окончания обращения с ним в анализируемой системе.

В ходе подготовки к проведению расчетов изменения нуклидного состава ЯТ в процессе выгорания при обосновании ядерной безопасности следует провести сбор необходимых исходных данных, включая:

- среднее за кампанию удельное энерговыделение в ТВС, либо его изменение в течение кампании;
- геометрические параметры и материальный состав ТВС и активной зоны реактора;
- температуру и плотность топлива, теплоносителя, замедлителя и отражателя;
- данные по изменению содержания борной кислоты в теплоносителе в течение кампании;
- движение и расположение органов регулирования системы управления и защиты реактора, включая движение ТВС в составе органов регулирования (например, для реакторов типа ВВЭР-440), с целью учета возможных эффектов неравномерности глубины выгорания ТВС по высоте;
- остановки на планово-предупредительный ремонт и перегрузки.

В ходе подготовки к проведению расчетов $K_{эфф}$ в процессе выгорания при обосновании ядерной безопасности необходимо провести сбор исходных данных, включая:

- геометрические параметры и материальный состав ОЯТ и конструктивных элементов системы хранения и транспортирования ОЯТ;
- шаг расположения твэлов, ТВС и упаковок с ними при хранении и транспортировании, а также возможное изменение шага при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии;
- возможные изменения распределения (например, изменение уровня воды) и плотности замедлителя при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии;
- наличие поглотителей нейтронов (за исключением извлекаемых поглотителей).

При анализе ядерной безопасности с учетом глубины выгорания должно быть продемонстрировано, что состав и распределение радионуклидов обеспечат консервативную оценку $K_{эфф}$

после учета всех неопределенностей. Консерватизм можно продемонстрировать, игнорируя все или часть актинидов, поглощающих нейтроны, и (или) продуктов деления. Аксиальное распределение радионуклидов в топливной сборке очень важно, так как области с пониженным выгоранием на концах сборки могут вызвать увеличение $K_{эфф}$ по сравнению со сборкой, для которой предполагается среднее выгорание по всей высоте [51–53].

Для проведения расчетов изменения нуклидного состава ЯТ в процессе выгорания должны использоваться ПС, прошедшие экспертизу в установленном порядке и удовлетворяющие следующим условиям:

- параметры анализируемой системы входят в область допустимых параметров согласно паспорту ПС;
- ПС позволяет рассчитывать с необходимой точностью изменение содержания нуклидов, которые будут учитываться при проведении расчетов $K_{эфф}$;
- ПС позволяет учитывать в расчетах условия облучения ЯТ в реакторе и, при необходимости, изменение данных условий в ходе кампании (например, учитывать температуру топлива, теплоносителя и замедлителя, распределение плотности теплоносителя по высоте активной зоны, изменение концентрации выгорающего поглотителя и т. д.);
- ПС позволяет учитывать или консервативно оценивать неравномерность выгорания топлива по радиусу и высоте ТВС;
- ПС включает в себя соответствующие библиотеки оцененных ядерных данных, содержащие информацию о нейтронных сечениях взаимодействия нейтронов с нуклидами для рассматриваемого спектра нейтронов в реакторе;
- ПС включает в себя библиотеки термализации для присутствующих в реакторе замедлителей нейтронов;
- ПС включает в себя библиотеки, содержащие данные по образованию продуктов деления в процессе выгорания ЯТ для рассматриваемого спектра нейтронов в реакторе;
- ПС позволяет моделировать ЯТ, а также активную зону реактора с достаточной и известной точностью.

2.12.8.7. При учете поглощающих элементов в тепловыделяющих сборках ядерных реакторов или упаковках, необходимо доказать, что их функции сохранятся в заданных пределах в нормальных и аварийных условиях перевозки.

Комментарий

Зачастую в ТВС ядерных реакторов содержатся твэлы, в состав которых входит выгорающий поглотитель (твэги). Наличие твэгов в ТВС допускается учитывать при анализе ядерной безопасности упаковки, предназначенной для транспортирования «свежих» ТВС. Однако при анализе ядерной безопасности транспортирования ОЯТ учет твэгов затруднителен, так как поглотитель, содержащийся в твэгах, частично или полностью выгорает во время работы в реакторе.

Помимо этого, в ТВС могут содержаться поглощающие элементы (ПЭЛ), снижающие $K_{эфф}$. При учете ПЭЛ при анализе ядерной безопасности их сохранность в нормальных и аварийных условиях перевозки должна быть обоснована. Дополнительно необходимо обосновывать эффективность поглощающих свойств ПЭЛ в случае, если ПЭЛ облучались в активной зоне реактора.

2.12.8.8. Не допускается учитывать наличие в упаковке жидких поглотителей нейтронов.

Комментарий

Непрерывное присутствие поглотителей в виде растворов или поглотителей, растворимых в воде, не может быть гарантировано, и, следовательно, безопасность при использовании таких поглотителей не обеспечивается.

2.12.8.9. Необходимо определять и рассматривать наиболее опасную конфигурацию, замедление нейтронов и полный отражатель для делящегося материала в случае, если он может выйти за пределы упаковки (упаковок) на перевозочном средстве в нормальных и аварийных условиях перевозки.

Комментарий

В случае если при аварии возможен выход ДМ за пределы упаковки, следует анализировать их наиболее консервативную с точки зрения ядерной безопасности конфигурацию. В большинстве случаев наихудшей конфигурацией является сфера из ДМ с оптимальным разбавлением водой, которая окружена полным отражателем.

2.12.8.10. Необходимо определять и рассматривать конфигурацию делящегося материала и других элементов упаковки, которая приводит к наибольшему $K_{эфф}$ и может иметь место в нормальных и аварийных условиях перевозки.

Комментарий

В нормальных и аварийных условиях перевозки возможно изменение конфигурации ДМ в упаковке. Например, при падениях упаковки, предназначенной для транспортирования ЯТ, возможно смещение твэлов в ТВС, а также ТВС в целом, что может привести к увеличению $K_{эфф}$. Следует также учитывать влияние возможной деформации элементов упаковки на величину $K_{эфф}$.

В случае если точный материальный состав ДМ не определен, при анализе ядерной безопасности следует предполагать такой материальный состав, который соответствует максимальному значению $K_{эфф}$.

2.12.8.11. Необходимо учитывать возможность увеличения $K_{эфф}$ в результате повышения или понижения температуры в нормальных и аварийных условиях перевозки.

Комментарий

ПС, используемые при анализе ядерной безопасности, должны иметь возможность учета температур ЯМ и материалов упаковки.

При изменении температуры ДМ, содержащих резонансный поглотитель, возможно возникновение эффекта Доплера, заключающегося в увеличении $K_{эфф}$ при понижении температуры за счет изменения величин сечений взаимодействия ДМ. При незначительном содержании резонансного поглотителя в ДМ возможен обратный эффект, заключающийся в увеличении $K_{эфф}$ при увеличении температуры.

Кроме того, изменение плотности водородсодержащих веществ (в частности, воды), которым сопровождается изменение их температуры, может также приводить к изменению $K_{эфф}$.

2.12.8.12. Необходимо учитывать погрешность методик расчета, вносить соответствующие поправки.

Комментарий

При использовании для анализа ядерной безопасности аттестованных ПС следует учитывать погрешности данных ПС, указанные в аттестационных паспортах. В случае использования для проведения расчетов аналитических методик погрешность использования данных методик должна быть обоснована.

2.12.8.13. Необходимо учитывать допуски на размеры при изготовлении и эксплуатации упаковок.

Комментарий

Для учета допусков при проведении расчетов $K_{эфф}$ следует изменять значения исходных размеров элементов упаковок на величину допуска таким образом, чтобы это приводило к увеличению $K_{эфф}$ всей системы в целом. Следует, в частности, учитывать допуски на размеры чехлов для ТВС, размеры нейтронной защиты и других элементов.

Следует также учитывать допуски на нуклидный состав ДМ, а также допуски на содержание поглотителей в поглощающих элементах упаковки.

2.12.8.14. Необходимо учитывать повреждения упаковки при моделировании нормальных и аварийных условий перевозки, приводящие к увеличению $K_{эфф}$, и предполагать, что эти повреждения распространяются на все упаковки группы.

Комментарий

ПС или методики, используемые при анализе ядерной безопасности транспортирования ДМ, должны позволять учитывать повреждения упаковок, возможные при нормальных и аварийных условиях перевозки. При анализе следует предполагать, что упаковки получили такие повреждения, которые соответствуют наибольшему $K_{эфф}$.

2.12.9. Если в целях ядерной безопасности упаковочный комплект включает поглотители нейтронов, то должны быть предусмотрены проверка эффективности поглотителей в процессе изготовления и периодические проверки их наличия в процессе эксплуатации при необходимости.

Методы проверки наличия поглотителей в процессе эксплуатации могут предусматривать как контроль документации с обоснованием надежности данного метода, так и прямые или косвенные измерения. Эти методы должны быть включены в инструкцию по эксплуатации упаковочного комплекта.

Комментарий

Проверку эффективности поглотителей нейтронов следует осуществлять преимущественно перед отправкой упаковки посредством ее сравнения с требованиями, установленными в эксплуатационной документации. В случае если в упаковке предусмотрены гомогенные поглотители нейтронов (например, борированная вода), должен быть предусмотрен контроль концентрации данных поглотителей.

2.12.10. Индекс безопасности по критичности (далее – ИБК) для упаковок с делящимся материалом вычисляется путем деления 50 на минимальное из чисел N (то есть $ИБК = 50/N$), определенных следующим образом:

а) в нормальных условиях пятикратное число упаковок N должно оставаться подкритичным при любом их расположении в условиях, определенных в соответствии с пунктом 2.12.12.1;

б) в аварийных условиях двукратное число упаковок N должно оставаться подкритичным при любом их расположении в условиях, определенных в соответствии с пунктами 2.12.12.2 и 2.12.12.3.

Значение ИБК может равняться нулю при условии, если неограниченное количество упаковок является подкритичным (то есть N является бесконечным).

ИБК для каждого груза определяется как сумма ИБК всех упаковок, содержащихся в этом грузе.

Комментарий

Данный 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 пунктах 2.12.12.1, 2.12.12.2 и 2.12.12.3, так и в пункте 2.12.5 НП-053-16. Необходимо осуществлять проверку обоих условий для определения ИБК, установленных в данном пункте. Результаты любого из указанных испытаний могут вызывать изменения в упаковочном комплекте или содержимом, которые могли бы повлиять на замедление в системе и (или) на нейтронное взаимодействие между упаковками, вызывая, таким образом, изменение $K_{эфф}$.

Следует анализировать всевозможные конфигурации из $5N$ упаковок, каждая из которых находится в условиях, определенных в пункте 2.12.12.1 б) НП-053-16, и всевозможные конфигурации из $2N$ упаковок, каждая из которых находится в условиях, определенных в пункте 2.12.12.2 НП-053-16. Если оба условия при выбранном количестве упаковок 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.

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.

Всем упаковкам, содержащим ДМ (за исключением упаковок, соответствующих требованиям пункта 2.12.2 НП-053-16), предписан соответствующий ИБК, и значение ИБК следует отражать на этикетке, как показано на рис. 5 приложения № 5 к НП-053-16. Перед началом перевозки количество транспортируемых упаковок должно проверяться на соответствие ИБК.

2.12.11. Для упаковок, которые предполагается перевозить воздушным транспортом, должны быть выполнены следующие требования:

а) упаковка должна быть подкритичной в процессе испытаний для упаковок типа С, предусмотренных в пункте 3.4.6.1. Предполагается, что вода не проникает внутрь упаковки, а вокруг нее находится полный отражатель из воды толщиной не менее 20 см;

б) не учитываются при анализе ядерной безопасности упаковки специальные средства, предусмотренные в пункте 2.12.8.2, если после проведения испытаний, указанных в пунктах 3.4.6.1 и 3.4.5.3, не предотвращается проникновение воды в свободные объемы или утечка воды из них.

Комментарий

Данное требование введено с целью установления более жестких ограничений к перевозке упаковок, содержащих ДМ, воздушным транспортом, так как последствия аварий на

воздушном транспорте могут быть значительно тяжелее последствий аварий при транспортировании другими видами транспорта.

Пункт 2.12.11 а) НП-053-16 требует, чтобы единичная упаковка при отсутствии воды внутри была подкритичной после испытания для упаковки типа С в соответствии с требованиями пункта 3.4.6.1 НП-053-16. Это требование предусмотрено, чтобы предотвращать образование критичной конфигурации, которая может возникнуть из-за возможных геометрических изменений в единичной упаковке. Приняты условия отражения не менее чем 20 см воды (комментарии к пункту 2.12.8.4 НП-053-16). Необходимо, чтобы анализируемые условия были консервативными. Если состояние упаковки после испытаний не может быть продемонстрировано, следует делать предположения о наихудшем расположении упаковки и ее содержимого, принимая во внимание все замедлители и конструктивные элементы упаковочного комплекта. Следует обеспечить, чтобы принятые допущения соответствовали возможным наихудшим вариантам механических и тепловых испытаний, и чтобы все возможные положения упаковки были рассмотрены при проведении анализа.

Следует учитывать эффективность замедлителя, возможность потери нейтронных поглотителей, перегруппировку компонентов упаковки и содержимого, геометрические изменения и температурные эффекты. В случае если работоспособность специальных средств, предотвращающих проникновение воды в упаковку, не подтверждена после испытаний, предусмотренными требованиями пунктов 3.4.6.1 и 3.4.5.3 НП-053-16, при анализе ядерной безопасности следует предполагать, что данные средства не эффективны.

2.12.12. Для оценки способности упаковок обеспечивать ядерную безопасность нормальные и аварийные условия при перевозке имитируются следующими испытаниями.

2.12.12.1. Нормальные условия при перевозке имитируются испытаниями, указанными в пунктах 3.4.2.1–3.4.2.6.

При расчетах $K_{эфф}$ в нормальных условиях перевозки предполагается:

- а) промежутки между упаковками остаются незаполненными, а функции отражателя выполняет окружающий со всех сторон группу упаковок слой воды толщиной не менее 20 см;
- б) состояние упаковок соответствует условиям, в которых они находятся после проведения испытаний, указанных в пункте 3.4.2.

Комментарий

Используемые ПС должны пройти экспертизу в установленном порядке и позволять моделировать состояние упаковок, в котором они находятся после испытаний на удар, штабелирование и глубину разрушения. Допускается использовать упрощающие приближения вместо моделирования реальных повреждений упаковок при условии обоснования их консервативности. При проведении расчетов, моделирующих нормальные условия перевозки, допускается использовать предположение о том, что вода в промежутках между упаковками отсутствует.

Моделирование слоя воды толщиной 20 см обосновано в комментариях к пункту 2.12.8.4 НП-053-16.

2.12.12.2. Аварийные условия при перевозке имитируются следующими испытаниями и условиями, приводящими к максимальному размножению нейтронов:

- а) после испытаний, предусмотренных в пунктах 3.4.2.2–3.4.2.6, проводятся те из испытаний подпунктов «б» или «в» данного пункта, которые приводят к большему значению $K_{эфф}$;

б) испытания, предусмотренные в подпункте «б» пункта 3.4.4.2, а также либо испытания, предусмотренные в подпункте «в» пункта 3.4.4.2, для упаковок, масса которых не превышает 500 кг и общая плотность, исходя из внешних размеров, составляет не более 1000 кг/м^3 , либо испытания, указанные в подпункте «а» пункта 3.4.4.2 для всех остальных упаковок; затем следуют испытания, предусмотренные в пункте 3.4.4.3, а завершающими являются испытания, предусмотренные в пункте 3.4.5;

в) испытания, предусмотренные в пункте 3.4.4.4.

Комментарий

Пункт 2.12.12.3 в) НП-053-16 накладывает серьезное ограничение на любой ДМ, для которого возможен выход из упаковки при аварийных условиях. Следует принимать все меры предосторожности для предотвращения выхода ДМ за пределы системы герметизации. Множество возможных конфигураций для ДМ, выходящего из системы герметизации, и возможность последующих химических или физических изменений обуславливают необходимость того, чтобы суммарное количество ДМ, который выходит из партии упаковок, было меньше, чем минимальная критическая масса для данного типа ДМ при оптимальных условиях замедления и отражения в виде 20 см слоя воды при ее плотности равной 1000 кг/м^3 . Следует принимать, что из каждой упаковки в партии выходит равное количество материала.

Моделирование слоя воды толщиной 20 см обосновано в комментариях к пункту 2.12.8.4 НП-053-16.

2.12.12.3. При расчетах $K_{эфф}$ в аварийных условиях перевозки предполагается, что:

а) промежутки между упаковками должны быть заполнены водородсодержащим замедлителем, а функции отражателя для всей группы упаковок выполняет окружающий ее со всех сторон слой воды толщиной не менее 20 см;

б) состояние упаковок соответствует условиям, в которых они находятся после проведения испытаний, предусмотренных пунктом 2.12.12.2;

в) если происходит утечка делящегося материала за пределы системы герметизации в результате испытаний согласно пункту 2.12.12.2, следует учитывать, что такая утечка происходит из каждой упаковки группы, а конфигурация и замедление нейтронов для всего делящегося материала таковы, что происходит максимальное размножение нейтронов, при котором функции отражателя выполняет окружающий слой воды толщиной не менее 20 см.

Комментарий

В отличие от условий, которые моделируются для нормальных условий перевозки (пункт 2.12.12.1 НП-053-16), при анализе ядерной безопасности в аварийных условиях перевозки необходимо предполагать, что все промежутки между упаковками заполнены водой. Для упрощения моделирования при анализе допускается рассматривать бесконечный массив упаковок с одинаковой конфигурацией, так как это допущение является консервативным.

При анализе ядерной безопасности в случае выхода ДМ за пределы системы герметизации следует предполагать, что ДМ приняли такую конфигурацию, которая соответствует максимальному значению $K_{эфф}$. В большинстве случаев наихудшей конфигурацией является сфера из ДМ с оптимальным разбавлением водой, которая окружена полным отражателем.

Используемые ПС должны пройти экспертизу в установленном порядке и позволять моделировать состояние упаковок, в котором они находятся после испытаний на аварийные условия

перевозки. Допускается использовать упрощающие приближения вместо моделирования реальных повреждений упаковок при условии обоснования их консервативности.

Моделирование слоя воды толщиной 20 см обосновано в комментариях к пункту 2.12.8.4 НП-053-16.

2.12.13. Упаковки с делящимся материалом освобождаются от требований пунктов 2.12.5 – 2.12.12 настоящих Правил, если отвечают требованиям подпункта «г» и одному из положений подпунктов «а» – «в» настоящего пункта:

а) упаковка содержит делящийся материал в любой форме, при этом:

наименьший габаритный размер упаковки составляет не менее 10 см;

ИБК упаковки, определенный по ниже представленной формуле, не превышает 10:

$$\text{ИБК} = 50 \cdot 5 \cdot \left(\frac{\text{масса урана}-235, \text{г}}{Z} + \frac{\text{масса других делящихся нуклидов, г}}{280} \right),$$

где значения Z определены в соответствии с таблицей № 3 приложения № 4 к настоящим Правилам;

б) упаковка содержит делящийся материал в любой форме, при этом:

наименьший габаритный размер упаковки составляет не менее 30 см;

упаковка, после того как она была подвергнута испытаниям, указанным в пунктах 3.4.2.1 – 3.4.2.6, сохраняет содержимый делящийся материал и минимальные общие габаритные размеры не менее 30 см и препятствует проникновению внутрь упаковки куба с ребром 10 см;

ИБК упаковки, определенный по ниже представленной формуле, не превышает 10:

$$\text{ИБК} = 50 \cdot 2 \cdot \left(\frac{\text{масса урана}-235, \text{ г}}{Z} + \frac{\text{масса других делящихся нуклидов, г}}{280} \right),$$

где значения Z определены в соответствии с таблицей № 3 приложения № 4 к настоящим Правилам;

в) упаковка содержит делящийся материал в любой форме, при этом:

наименьший габаритный размер упаковки составляет не менее 10 см;

упаковка, после того как она была подвергнута испытаниям, указанным в пунктах 3.4.2.1 – 3.4.2.6, сохраняет содержимый делящийся материал и минимальные общие габаритные размеры не менее 10 см и препятствует проникновению внутрь упаковки куба с ребром 10 см;

максимальная масса делящихся нуклидов в любой упаковке не превышает 15 г;

ИБК упаковки определяется по следующей формуле:

$$\text{ИБК} = 50 \cdot 2 \cdot \left(\frac{\text{масса урана}-235, \text{г}}{450} + \frac{\text{масса других делящихся нуклидов, г}}{280} \right);$$

г) общая масса бериллия (включенный в сплавы меди бериллий до 4 % по весу сплава можно не учитывать), водородсодержащего материала, обогащенного дейтерием, графита и других аллотропных форм углерода в отдельной упаковке не превышает массу делящихся нуклидов в упаковке, кроме тех случаев, когда их общая концентрация не превышает 1 г в любых 1000 г материала.

Комментарий

Представленные в настоящем пункте формулы показывают зависимость ИБК от массы ДМ в упаковке. Масса, соответствующая максимальным значениям ИБК, полученным по данным формулам, существенно меньше минимальной критической массы.

Формулу, представленную в подпункте а), следует применять в случае, если ДМ предполагается транспортировать в упаковке, не имеющей системы герметизации, либо упаковке, эффективность системы герметизации которой в нормальных условиях не доказана. Максимальная масса ДМ в группе таких упаковок (N) составляет менее 20 % от минимальной критической массы. Таким образом, пятикратное количество данных упаковок (5N) также остается подкритическим при любых условиях перевозки.

Формулу, указанную в подпункте б), следует применять в случае, если в нормальных условиях перевозки не происходит выхода ДМ за пределы системы герметизации. Минимальный габаритный размер упаковки при этом не должен быть меньше 30 см при обычных и нормальных условиях перевозки. Максимальная масса ДМ в группе таких упаковок (N) составляет менее 50 % от минимальной критической массы. Таким образом, двукратное количество данных упаковок (2N) также остается подкритическим при любых условиях перевозки.

Значения Z, представленные в таблице № 3 приложения № 4 к НП-053-16, представляют собой 0,85 от минимальной критической массы для соответствующего обогащения урана.

Формулу, указанную в подпункте в), следует использовать в случае, если в нормальных условиях перевозки не происходит выхода ДМ за пределы системы герметизации. Минимальный габаритный размер упаковки при этом не должен быть меньше 10 см при обычных и нормальных условиях перевозки. Положения данного подпункта могут также применяться к упаковкам, габаритные размеры которых больше 10 см, однако их минимальные габаритные размеры уменьшаются менее чем до 30 см после соответствующих испытаний. Максимальная масса ДМ в группе таких упаковок (N) составляет менее 50 % от минимальной критической массы. Таким образом, двукратное (2N) количество данных упаковок также остается подкритическим при любых условиях перевозки.

2.12.14. Упаковки, содержащие плутоний в количестве не более 1 кг, в котором не более 20 % масс. плутония-239, плутония-241 или любой смеси этих нуклидов, а масса урана, если он присутствует вместе с плутонием, не превышает 1 % от массы плутония, освобождаются от требований пунктов 2.12.5–2.12.12 настоящих Правил. ИБК упаковки определяется в таком случае по формуле:

$$\text{ИБК} = 50 \cdot 2 \cdot \left(\frac{\text{масса плутония, г}}{1000} \right).$$

Комментарий

Предельная масса плутония в группе упаковок при выполнении требований данного пункта не превысит минимальную критическую массу сферы плутония в воде (6,8 кг). Однако в случае транспортирования более 0,5 кг плутония в упаковке и при использовании указанной в пункте формулы значение ИБК может превысить 50. В этом случае, в соответствии с требованиями пункта 5.3.5 НП-053-16, груз РМ следует транспортировать только на условиях исключительного использования или в специальных условиях.

III. Испытания радиоактивных материалов, транспортных упаковочных комплектов и упаковок

3.1. Общие положения

3.1.1. Соответствие радиоактивных материалов, упаковочных комплектов и упаковок требованиям главы II настоящих Правил может подтверждаться любым из методов, приведенных ниже, или их сочетанием:

а) проведение испытаний на образцах, представляющих материал НУА-III, радиоактивный материал особого вида или радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию, либо на прототипах или моделях упаковочных комплектов, когда содержимое образца или упаковочного комплекта для испытаний должно как можно более точно имитировать ожидаемый диапазон характеристик радиоактивного содержимого, а испытываемый образец или упаковочный комплект должны быть подготовлены в том виде, в каком они представляются к перевозке;

б) ссылка на предыдущее удовлетворительное подтверждение аналогичного характера;

в) проведение испытаний на масштабных моделях, снабженных элементами, важными для испытываемого образца, если из технического опыта следует, что результаты таких испытаний приемлемы для конструкторских целей; при применении масштабных моделей должна учитываться необходимость корректировки определенных параметров испытаний, таких как диаметр пробойника или нагрузка сжатия;

г) расчет или обоснованная аргументация в случаях, когда надежность или консервативность расчетных методов и параметров общепризнана.

Используемые для выполнения расчетов программные средства должны быть верифицированы.

Комментарий

Подтверждать соответствие РМ и упаковок требованиям НП-053-16 можно любым из методов, приведенных в подпунктах а)–г), или их сочетанием. Поэтому в тексте НП-053-16 и в настоящих Справочных материалах, если не указано иное, под испытанием понимается любой из указанных методов или их сочетание.

Решение о выборе метода доказательства соответствия РМ или упаковки НП-053-16 рекомендуется принимать на основе таких факторов, как сложность конструкции, наличие необходимого оборудования, возможность создания макетов и расчетных моделей.

При выборе метода испытаний РМ и упаковок рекомендуется выполнять оценки параметров радиационной безопасности. В случае если применение РМ в ходе проведения испытаний представляется нецелесообразным и (или) представляет потенциальную опасность, выполнение требований НП-053-16 целесообразно подтверждать с использованием иных способов/методов (в частности, с использованием имитаторов РМ).

При необходимости проведения проверки непревышения установленных пределов по уровню утечки радиоактивного содержимого рекомендуется предусмотреть специальные средства, предназначенные для демонстрации/контроля степени герметичности.

При создании макетов для проведения испытаний следует предельно точно имитировать заданную конструкцию с использованием методов изготовления, идентичных методам, предназначенным для изготовления конечного продукта. Следует также обеспечить соответствие содержимого макета реальному содержимому по массе, плотности, химическому составу, объему и любым другим важным характеристикам. Необходимо обеспечить соответствующий уровень контроля качества изготовления макета, а также проверку идентичности испытуемого макета и проектируемой упаковки. Если используется имитация радиоактивного содержимого, то следует обеспечить нагрузки (имитацию нагрузок) радиоактивного содержимого на внутреннюю поверхность упаковки и на закрывающие крышки или клапаны. Любые неточности и отличия макета следует документировать перед испытаниями, кроме того, следует проводить оценку влияния выявленных отличий на результаты испытаний.

Число образцов, использованных в испытаниях, рекомендуется выбирать в зависимости от характерных особенностей конструкции, которую необходимо испытать, и от требуемой надежности оценок. Рекомендуется проводить несколько испытаний с целью учета влияния различных значений допусков при изготовлении оборудования, а также вариаций в свойствах материалов. Применение методов расчетного моделирования с целью сокращения числа испытаний должно быть обосновано. При этом допускается использовать только ПС, прошедшие экспертизу в установленном порядке.

Если для оценки поведения упаковки при ударе используются датчики ускорения, следует учитывать частоту среза. Эту частоту следует выбирать в соответствии со структурой (формой и размерами) упаковки. Для упаковки массой 100 тонн с ограничителем удара частота среза будет между 100 и 200 Гц, а для меньших упаковок с массой m тонн значение частоты среза следует умножать на коэффициент $(100/m)^{1/3}$. Если упаковка включает в себя элементы, необходимые для обеспечения безопасности при ударах и имеющие резонанс на основной частоте или частоте первой моды колебаний, превышающей упомянутую выше частоту среза, может потребоваться корректировка значения частоты среза, с тем чтобы отсеченная часть сигнала не имела существенного влияния на оценку механического поведения указанных элементов. В этих случаях может потребоваться проведение модального анализа. При использовании расчетных методов оценки необходимо, чтобы методы расчета и моделирования позволяли выполнять оценки таких динамических эффектов.

Подтверждение конструкции может быть выполнено путем проведения испытаний моделей подходящего масштаба, включающих особенности, важные для проводимого исследования. Применение масштабных моделей вместо полномасштабных должно быть обосновано. Следует обосновывать эквивалентность проводимых испытаний, нагрузок на упаковку и другие аспекты. Следует принимать во внимание необходимость корректировки определенных параметров эксперимента, таких как величины нагрузок.

При использовании масштабных моделей следует особое внимание уделять механизмам, влияющим на поглощение энергии. Трение, разрыв, раздавливание, упругость, пластичность могут иметь различные масштабные факторы. Поскольку демонстрация соответствия требует комбинации трех типов испытаний (испытание на проникновение, испытание на удар и тепловое испытание для упаковок типа В(U) и типа В(M)), противоречивые требования к параметрам эксперимента могут приводить к результатам, требующим учета масштабного фактора.

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. Может быть полезно использование полномасштабных моделей элементов упаковки, если расчет для данного элемента оказывается затруднен. Например, эффективность тепловой защиты или амортизатора может быть легко продемонстрирована путем испытания этого компонента с относительно простым объектом, размещенным под ним.

Отказ от учета части элементов упаковки при проведении испытаний с уменьшенной копией упаковки должен быть обоснован. Например, при испытании на удар исключение боковых ребер охлаждения из масштабной модели может приводить к ее более серьезному повреждению. Такого типа рассмотрение может значительно упростить конструкцию модели и при этом повысить консерватизм анализа.

Необходимо чтобы для модели и полномасштабной упаковки использовались одинаковые материалы, а также схожие технологии конструирования и изготовления. Следует использовать методы конструирования и изготовления, которые будут воспроизводить механическое поведение конструкции полномасштабной упаковки, учитывая такие процессы, как обработка на металлорежущих станках, 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. Это необходимо учитывать ввиду того, что скорости деформаций в модели могут быть выше, чем в полномасштабной упаковке.

Следует уделять значительное внимание выбору коэффициента масштабирования в связи с его существенным влиянием на вносимую ошибку.

Под коэффициентом масштабирования (M) понимается отношение размера модели к размеру прототипа. С целью минимизации влияния деформации на механические свойства материалов коэффициент M должен быть не менее чем 1 : 4.

При масштабных испытаниях на падение следует придерживаться представленных ниже зависимостей величин от M , которые верны для случаев, когда сохраняется высота падения:

$$\text{Ускорение: } a_{\text{модель}} = (a_{\text{оригинал}})/M;$$

$$\text{Сила: } F_{\text{модель}} = (F_{\text{оригинал}})M^2;$$

$$\text{Напряжение: } \sigma_{\text{модель}} = \sigma_{\text{оригинал}};$$

$$\text{Деформация: } \varepsilon_{\text{модель}} = \varepsilon_{\text{оригинал}}.$$

При обосновании достоверности масштабных испытаний следует:

- определять коэффициент масштабирования;
- обосновывать, что сконструированная модель достаточно точно воспроизводит детали упаковки или части упаковочного комплекта, которые должны быть испытаны;
- учитывать детали и элементы, не воспроизведенные в модели;
- обосновывать исключения деталей или элементов из модели.

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 приводит к:

- потенциальному увеличению скорости выхода радиоактивного содержимого;
- ухудшению параметров, влияющих на ядерную безопасность;
- снижению эффективности радиационной защиты;
- ухудшению теплового режима.

При использовании результатов предыдущих удовлетворительных испытаний, по характеру близких к требуемым, следует анализировать все сходства и отличия между этими испытаниями и испытываемыми упаковками. Следует пересмотреть результаты испытаний в случае, если влияние выявленных различий значимо.

При проведении расчетного обоснования следует придерживаться консервативного подхода. Используемые для расчетов программы должны пройти экспертизу в установленном порядке и позволять рассчитывать требуемые параметры в необходимом диапазоне значений. При выполнении расчетного обоснования радиационной безопасности необходимо учитывать:

а) используемые характеристики источника ионизирующего излучения (интенсивность излучения, энергетическое распределение, пространственное распределение) должны быть выбраны таким образом, чтобы они приводили к наибольшей возможной мощности дозы. Так, например, при обосновании радиационной безопасности ТУК, предназначенных для перевозок ОЯТ, необходимо предполагать, что все загруженное ОЯТ обладает наименьшим допустимым временем выдержки, что приводит к наибольшим значениям мощности дозы излучения. Кроме того, необходимо учитывать зависимость характеристик источника ионизирующего излучения от начального содержания делящихся нуклидов в ЯТ. Также необходимо учитывать ионизирующее излучение, обусловленное активацией конструктивных элементов ЯТ, которое может быть определяющим в ряде случаев;

б) расчетные модели должны учитывать возможные ухудшения свойств радиационной защиты в результате изменения ее параметров, например, уменьшения плотности защитного материала или его размеров в пределах технологических допусков. Кроме того, при расчетах должны быть учтены особенности конструктивных элементов упаковки, которые могут приводить к ухудшению радиационной обстановки, в частности, соединительные элементы (болты, цапфы), элементы системы герметизации и др.;

в) погрешности и неопределенности исходных данных необходимо учитывать таким образом, чтобы они приводили к увеличению рассчитываемой мощности дозы излучения;

г) при переходе от плотности потока к мощности дозы излучения должны использоваться корректные величины коэффициентов перевода, которые выбираются в зависимости от геометрии облучения (изотропная, передне-задняя) в соответствии с нормативными документами.

Расчетное обоснование радиационной безопасности дополнительно рекомендуется подтверждать экспериментальным обоснованием с использованием головного образца упаковки. При проведении подобного эксперимента необходимо использовать источник ионизирующего излучения, характеристики которого с достаточной степенью точности имитируют реальное радиоактивное содержимое, которое планируется перевозить в упаковке. Кроме того, необходимо использовать детектирующие устройства, которые позволяют проводить измерения соответствующего вида ионизирующего излучения в определенном энергетическом диапазоне и с определенной интенсивностью. Результаты проведенных измерений должны учитывать погрешности вышеуказанных устройств.

3.1.2. Подтверждение соответствия радиоактивных материалов, упаковочных комплектов и упаковок требованиям главы II настоящих Правил, которые не охватываются испытаниями, приведенными в настоящей главе (например, способность выдерживать вибрационные нагрузки, нагрузки при перемещении (подъеме) рывком, тепловой режим упаковки при нормальных условиях перевозки, проверка герметичности, оценка радиолиза), осуществляется в соответствии с действующей в Российской Федерации нормативной документацией. При отсутствии необходимой нормативной документации применяются общие положения, изложенные в пункте 3.1.1 настоящих Правил.

Комментарий

Под действующей нормативной документацией понимаются федеральные нормы и правила, документы по стандартизации и прочая нормативно-техническая документация, применяемая при подтверждении соответствия РМ, упаковочных комплектов и упаковок требованиям раздела 2 НП-053-16, которые не охватываются испытаниями, приведенными в настоящем разделе.

Рекомендуется чтобы любые методы оценок состояния упаковок после испытаний включали в зависимости от типа упаковки следующее:

- визуальное обследование;
- определение величины деформации конструктивных элементов;
- измерение зазоров уплотнений для всех закрывающих устройств;
- проверку утечки через уплотнения;
- разрушающие и неразрушающие методы анализа.

При оценке повреждений упаковки после испытания на падение следует также оценивать все повреждения от вторичных ударов. Вторичные удары включают в себя все дополнительные ударные взаимодействия упаковки, следующие за начальным ударом. Вторичные удары также требуется учитывать при моделировании испытаний с использованием ПС.

Положение упаковки, которое приведет к максимальному повреждению, следует определять с учетом как первичного, так и вторичных ударов. Эффект вторичных ударов часто более значителен для длинных упаковок жесткой конструкции, включая упаковки с отношением размеров (длина к диаметру) более пяти. Возникновение данных ударов необходимо учитывать также при испытаниях больших упаковок.

3.1.3. Головной образец упаковочных комплектов для перевозки отработавшего ядерного топлива должен пройти приемочные испытания на использование по прямому назначению.

Комментарий

Объем и порядок испытаний при эксплуатации могут быть определены как в отдельных программах, так и входить в программы обеспечения качества. Испытания по прямому назначению должны включать в себя проверку возможности загрузки-выгрузки ОЯТ на объектах, на которых планируется проводить эти операции, с определением фактических параметров упаковки.

3.1.4. Мишень для испытаний на столкновение, на удар при свободном падении, механическое повреждение и прокол, указанных в пунктах 3.3.4, 3.4.2.4, 3.4.4.2, 3.4.6.2, 3.4.6.4 и

подпункте «а» пункта 3.4.3.1 настоящих Правил, должна представлять собой плоскую горизонтальную поверхность.

При испытаниях согласно пункту 3.4.6.4 допускается использовать мишень в виде вертикальной плоской поверхности. Направление движения испытываемого образца должно быть перпендикулярным поверхности мишени.

Сопrotивляемость смещению и деформации мишени и ее поверхности должна быть такой, чтобы любое повышение сопротивляемости не приводило к значительному увеличению повреждения образца при его падении на мишень.

Комментарий

Мишень, описанная в пункте 3.1.4 НП-053-16, представляет собой практически абсолютно жесткую, недеформируемую поверхность по отношению к испытываемым упаковкам. В подавляющем большинстве случаев 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.

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. 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 [54].

Один из примеров недеформируемой мишени, соответствующей нормативным требованиям, — 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 больше, чем масса образца, по крайней мере в 10 раз для испытаний, указанных в пунктах 3.3.4, 3.4.2.4, 3.4.3.1 (а), 3.4.4.2 и 3.4.6.2 НП-053-16, и в 100 раз для испытаний, указанных в пункте 3.4.6.4 НП-053-16, 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 предусматривать нужную прочность стали. Для того чтобы минимизировать изгиб, бетон должен быть достаточно толстым и соразмерным испытываемому образцу. Другие варианты мишеней описаны в [55, 56]. Рекомендуется чтобы форма мишени была близка к кубической.

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

3.2. Испытания радиоактивного материала НУА-III

3.2.1. Твердый радиоактивный материал в количестве, равном содержимому упаковки, погружается полностью в воду на 7 суток при комнатной температуре. Объем воды для испытаний должен быть достаточным для того, чтобы в конце испытания оставшийся объем

непоглощенной и непрореагировавшей воды составлял по крайней мере 10 % объема испытываемого образца. Начальная величина рН воды должна составлять 6–8, максимальная проводимость воды — 1 мСм/м (10 мкмо/см) при 20°C. По истечении 7 суток измеряется полная активность оставшегося объема воды.

Комментарий

Материалы с НУА представляются относительно безопасными с точки зрения радиационного воздействия. Единственным испытанием, предусмотренным НП-053-16 для данных РМ, является испытание на погружение в воду на неделю. Для данных материалов необходимо показать, что активность воды после проведения вышеуказанного испытания не превышает значения $0,1 A_2$ для данного РМ.

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

3.3.1. Для радиоактивного материала особого вида проводятся испытания на соответствие требованиям, изложенным в пункте 2.2.2, а именно: испытания на столкновение, удар, изгиб, выщелачивание и тепловое испытание.

Комментарий

Испытания РМОВ имитируют возможные воздействия на этот материал при транспортных авариях в случае его выпадения из упаковки при разрушении.

Для испытаний РМОВ и материалов РМНР в НП-053-16 предусмотрено четыре вида испытаний (на столкновение, на удар, на изгиб и тепловое испытание), предназначенных для имитации механических и тепловых воздействий, которым РМ могут подвергнуться в случае выхода из упаковочного комплекта.

3.3.2. Для каждого испытания можно использовать разные образцы.

Комментарий

При испытаниях РМОВ в виде капсулы содержимое капсулы может быть заменено другим материалом с такими же механическими свойствами. Содержимое капсулы также может быть заменено другим, менее опасным РМ, имеющим схожие физические, химические и механические свойства. По возможности следует использовать короткоживущие изотопы химического элемента, из которого состоит РМ. По завершению испытаний РМ его утечка может быть оценена выщелачиванием.

3.3.3. После каждого испытания, указанного в пунктах 3.3.4 – 3.3.8, проводится оценка образца выщелачиванием или определением объема утечки с помощью метода, не менее чувствительного, чем методы, указанные в пункте 3.3.9 для нерассеивающегося твердого материала и в пункте 3.3.10 для материала в капсуле.

Комментарий

По завершению испытаний утечка из образца может быть оценена выщелачиванием. При этом данный материал должен быть растворим в веществе, используемом для выщелачивания, а капсула, наоборот, должна быть устойчива к данному веществу. По возможности следует использовать короткоживущие изотопы химического элемента, из которого состоит РМ. При

проведении оценки утечки посредством выщелачивания следует учитывать эффекты, связанные с отличием физических свойств используемого материала от свойств РМ, которое реально планируется транспортировать. Данные эффекты зависят от максимальной активности, которая содержится в капсуле, а также от физической формы содержимого капсулы, включая отличие растворимости содержимого по сравнению с РМ, предполагаемым к транспортированию.

3.3.4. Испытание на столкновение. Образец сбрасывают на мишень с высоты 9 м.

Комментарий

При проведении данного испытания образец должен падать таким образом, чтобы получить максимальные повреждения.

3.3.5. Испытание на удар. Образец помещают на свинцовую пластину, лежащую на гладкой ровной поверхности. По нему ударяют плоской поверхностью стальной болванки массой 1,4 кг при свободном падении ее с высоты 1 м. Плоская поверхность болванки должна быть диаметром 25 мм с краями, имеющими радиус закругления $3,0 \text{ мм} \pm 0,3 \text{ мм}$. Свинцовая пластина твердостью 3,5 – 4,5 по шкале Виккерса, толщиной не более 25 мм должна иметь несколько большую поверхность, чем площадь опоры образца. Для каждого испытания на удар следует использовать новую свинцовую пластину. Ударять болванкой по образцу следует таким образом, чтобы нанести ему максимальное повреждение.

Комментарий

Для получения максимального повреждения следует уделять особое внимание условиям испытания на удар. Свинцовая пластина не должна терять свою твердость или перегреваться в результате воздействий повышенного тепловыделения от испытываемого образца.

3.3.6. Испытание на изгиб. Применимо только для радиоактивных материалов особого вида длиной не менее 10 см и с отношением длины к максимальной ширине не менее 10. Образец должен быть жестко закреплен в горизонтальном положении так, чтобы половина его длины выступала за зажим. Положение образца должно быть таким, чтобы он получил максимальное повреждение при ударе плоской поверхностью стальной болванки массой 1,4 кг при свободном падении ее с высоты 1 м на свободный конец образца. Плоская поверхность болванки должна быть диаметром 25 мм с краями, имеющими радиус закругления $3,0 \text{ мм} \pm 0,3 \text{ мм}$.

Комментарий

Данное испытание нецелесообразно для РМОВ длиной менее 10 см. В качестве стальной болванки в данном испытании может использоваться, например, молот. После проведения данного испытания следует провести проверку материала посредством испытания на выщелачивание в соответствии с требованиями пунктов 3.3.9 и 3.3.10 НП-053-16.

3.3.7. Тепловое испытание. Образец нагревают в воздушной среде до температуры 800°C , выдерживают при этой температуре в течение 10 минут, а затем он охлаждается естественным образом.

Комментарий

Цель теплового испытания — демонстрация устойчивости РМОВ к высоким температурам. Для проведения теплового испытания можно использовать электропечь, позволяющую осуществлять нагрев до температуры не менее 800°C .

3.3.8. Образцы, представляющие собой или имитирующие радиоактивный материал, заключенный в капсулу, могут не подвергаться следующим испытаниям:

а) испытаниям, указанным в пунктах 3.3.4 и 3.3.5, при условии, что образцы вместо этого подвергаются испытанию согласно стандарту ИСО 2919 «Закрытые радиоактивные источники — Классификация»:

- на столкновение 4-го класса при условии, что масса радиоактивного материала особого вида менее 200 г;
- на столкновение 5-го класса при условии, что масса радиоактивного материала особого вида более 200 г, но менее 500 г.;

б) испытаниям, указанным в пункте 3.3.7, если они вместо этого подвергаются тепловому испытанию 6 класса согласно стандарту ИСО 2919 «Закрытые радиоактивные источники - Классификация».

Комментарий

Предполагается что испытания, указанные в пунктах 3.3.4, 3.3.5, 3.3.7 НП-053-16, могут быть заменены другими аналогичными испытаниями. В качестве достаточной альтернативы возможны испытания, рекомендуемые Международной организацией по стандартизации.

Испытание, альтернативное предложенному в пункте 3.3.8 а) НП-053-16, является испытанием на удар класса 4 в соответствии со стандартом ГОСТ Р 52241-2004 (ИСО 2919:1999) [57] для образцов с массой менее 200 г 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 как вместо испытания на столкновение (пункт 3.3.4 НП-053-16), так и вместо испытания на удар (пункт 3.3.5 НП-053-16).

Испытание, альтернативное предложенному в пункте 3.3.8 б) НП-053-16, является тепловым испытанием класса 6 в соответствии со стандартом ГОСТ Р 52241-2004 (ИСО 2919:1999) [57] и состоит в следующем: образец подвергается воздействию 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 .

3.3.9. Для образцов, представляющих собой или имитирующих радиоактивный материал особого вида, испытание на выщелачивание проводится в следующем порядке:

а) образец погружают в воду на 7 суток при комнатной температуре; объем используемой для испытания воды должен быть достаточным для того, чтобы в конце испытания оставшийся свободный объем непоглощенной и непрореагировавшей воды составлял не менее 10 % объема испытываемого образца; начальная величина рН воды должна быть 6 – 8, максимальная проводимость воды — 1 мСм/м (10 мкмо/см) при 20°C ;

б) нагревают воду с образцом до температуры $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ и выдерживают при этой температуре в течение 4 часов;

в) образец извлекают и определяют активность воды;

г) образец выдерживают не менее 7 суток в воздухе при температуре 30°C без обдува и относительной влажности не менее 90 %;

д) образец опускают в воду той же характеристики, какая приведена в подпункте «а», воду с образцом нагревают до температуры $50 \pm 5^\circ\text{C}$ и выдерживают образец при этой температуре в течение 4 часов;

е) определяют активность воды.

Комментарий

Под выщелачиваемым материалом понимается РМОВ, активность которого в 100 мл воды при 50°C, в течение 4 ч составляет 0,01% от его общей активности в соответствии с пунктом 5.1.1 ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) [31].

Под невыщелачиваемым материалом понимается РМОВ, активность которого в 100 мл воды при 50°C, в течение 4 ч составляет менее чем 0,01 % от его общей активности в соответствии с пунктом 5.1.1 ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) [31].

3.3.10. Для образцов, представляющих собой или имитирующих радиоактивный материал особого вида в виде капсулы, проводится испытание на выщелачивание в следующем порядке:

а) погружают образец в воду при комнатной температуре (вода должна иметь pH 6 – 8 и максимальную проводимость 1 мСм/м (10 мкмо/см) при 20°C); нагревают воду и образец до температуры $50 \pm 5^\circ\text{C}$ и выдерживают образец при этой температуре в течение 4 часов;

б) определяют активность воды;

в) выдерживают образец не менее 7 суток в воздухе при температуре не менее 30°C без обдува и относительной влажности не менее 90 %;

г) повторяют процессы, указанные в подпунктах «а» и «б».

Вместо испытания на выщелачивание оценка объемной утечки может быть выполнена в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) «Государственный стандарт Российской Федерации. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Методы испытания на утечку» (принят и введен в действие постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 11 июля 2002 г. № 275-ст, М.: ИПК Издательство стандартов, 2002).

Комментарий

Для образцов, содержащих либо имитирующих содержание РМ в закрытой капсуле, следует проводить испытание на выщелачивание, либо использовать один из методов оценки объемной утечки, определенных в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) [31]. Оценка на выщелачивание аналогична методу, применяемому к нерассеиваемым РМОВ (пункт 3.3.9 НП-053-16), за исключением того, что образец не помещается первоначально в воду на семь дней. Другие этапы остаются неизменными.

Альтернативный метод оценки объемной утечки может состоять из испытаний, описанных в стандарте ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92) [31].

3.3.11. Образцы, представляющие собой или имитирующие радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию, подвергаются усиленному тепловому испытанию, предусмотренному в пункте 3.4.6.3, и испытанию на столкновение по пункту 3.4.6.4. Для каждого из этих испытаний может использоваться отдельный образец. После каждого испытания образец

подвергается испытанию на выщелачивание, указанному в пункте 2.3.1. После каждого испытания определяется, были ли выполнены соответствующие требования, изложенные в пункте 2.3.1.

Комментарий

Условием освобождения РМНР от требований к упаковкам типа С (пункты 3.4.6.3 и 3.4.6.4 НП-053-16) является соблюдение критериев работоспособности при ударах и огнестойкости, предъявляемых к упаковкам типа С, без рассеивания значительного количества РМ.

При отнесении РМ к классу РМНР необходимо путем испытаний подтвердить, что данный РМ обладает определенными свойствами. Должно быть показано, что выполнен критерий работоспособности, указанный в пункте 2.3.1 НП-053-16 после испытаний. 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 могут проводиться для разных образцов. Для испытания на выщелачивание материал должен обладать свойствами, характерными для данного 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 экстраполированы на полное содержимое упаковки, например, в случае, если содержимое упаковки представляет собой несколько идентичных составляющих, и при этом обосновано, что умножение выхода, установленного для одной составляющей, на общее число компонентов в упаковке даст верхний предел оценки выхода для целого содержимого упаковки. Для больших предметов также можно проводить испытания с их представительной частью или с уменьшенной моделью, если обосновано, что результаты испытаний, полученные таким путем, могут быть экстраполированы на поведение всего содержимого упаковки.

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 не приводит к выходу летучих РМ в газообразной форме или в форме частиц с АД до 100 мкм в количестве большем, чем 100 А₂. АД аэрозольных частиц РМ определяется как диаметр сферы аэрозольных частиц из материала плотностью 1 г/см³, которые имеют те же характеристики осаждения в воздухе. Он может определяться с помощью оптических счетчиков частиц, центробежных сепараторов (циклонов) и других устройств. Могут использоваться различные процедуры проведения экспериментов. Один из возможных подходов – удар горизонтально летящего образца о вертикальную стену, имитирующую абсолютно жесткую мишень. Все частицы с АД менее 100 мкм переносятся воздухом. С помощью установленной измерительной техники для аэрозолей может быть проведен анализ их размера. Воздушный поток с восходящей скоростью около 30 см/с может служить в качестве сепаратора, в котором частицы с АД 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.

3.4. Испытания транспортных упаковочных комплектов и упаковок

3.4.1. Общие положения

3.4.1.1. До испытания все образцы проверяются с целью выявления и регистрации неисправностей или повреждений, а именно:

- а) отклонений конструкции от проекта;
- б) дефектов изготовления;
- в) коррозии и других ухудшающих качество образца воздействий;
- г) деформаций.

Комментарий

Данные требования введены с целью заблаговременной проверки реального состояния образца до проведения испытаний. При невыполнении данных требований вероятно возникновение трудностей с определением достоверности результатов испытаний (проверки того, действительно ли дефект получен в процессе испытания).

3.4.1.2. При испытаниях система герметизации должна быть четко обозначена, как и внешние элементы образца.

Комментарий

Необходимо учитывать, что при испытаниях, целью которых является определение выхода активности, оцениваются только характеристики системы герметизации, а не всей упаковки в целом.

При проведении испытаний упаковочных комплектов необходимо достоверно определить методы сборки упаковки и системы герметизации с целью учета влияния данных методов на проектные характеристики.

3.4.1.3. После каждого из испытаний, предусмотренных в пунктах 3.4.2.1–3.5.1 настоящих Правил, выполняется следующее:

- а) выявляются и регистрируются неисправности и повреждения;
- б) определяется, продолжает ли удовлетворять целостность системы герметизации и радиационной защиты требованиям главы II настоящих Правил, предъявляемым к испытываемому упаковочному комплекту;
- в) определяется соблюдение допущений и условий согласно пунктам 2.12.4–2.12.12 для упаковок, содержащих делящийся материал.

По предварительному согласованию с государственным компетентным органом по ядерной и радиационной безопасности при транспортировании радиоактивных материалов (далее — ГКО) проверки, выполняемые согласно подпунктам «б» и «в» данного пункта, могут проводиться после всей серии испытаний по пунктам 3.4.2.1–3.5.1.

Комментарий

Данное требование позволяет подтвердить соответствие упаковки требованиям НП-053-16 после каждого из испытаний. При этом в случае, если после каждого из последующих испытаний эксплуатационные характеристики упаковки только ухудшаются, проверка соблюдения требований НП-053-16 может проводиться после всей совокупности испытаний при наличии письменного согласия ГКО. Однако необходимо учитывать, что при последующих испытаниях ряд характеристик упаковки может улучшиться (например, может уменьшаться утечка радиоактивного содержимого).

Определение эксплуатационных характеристик может проводиться посредством технического освидетельствования, а также вспомогательных испытаний (например, испытаний на герметичность). Необходимо также проводить визуальное обследование испытуемого образца.

При оценке характеристик образца необходимо удостовериться в том, что система герметизации и система радиационной защиты сохранили свою целостность, а перераспределение ДМ в упаковке (при его наличии) не может привести к возникновению СЦР.

Проверка утечки радиоактивного содержимого может проводиться посредством взятия мазков с поверхностей образца, а целостность радиационной защиты – применением радиоактивных изотопов и источников ионизирующего излучения, помещаемых внутрь упаковки.

После проверки внешней целостности упаковку следует разобрать для проверки внутреннего состояния, включающей оценку:

- целостности капсул, контейнеров и других элементов;
- стабильности геометрических объемов, в которых содержатся ДМ;
- распределения поглощающего материала;
- целостности радиационной защиты;
- функционирования механических частей.

Целостность системы герметизации можно оценивать, например, посредством объемного выхода газов из упаковки. В случае испытания полноразмерной системы возможно проведение прямых измерений утечки из упаковки. Использование различных методов для конкретной системы герметизации должно быть обосновано.

Методы, которые могут быть использованы при проведении оценки, изложены в стандарте ISO 12807 [45].

Этот стандарт основан на следующих допущениях:

- РМ 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 и молекулярная диффузия;
- скорость выхода радиоактивного содержимого измеряется непрямым методом испытания на эквивалентную газовую утечку, где она измеряется в единицах скоростей потока газа (нерадиоактивного);
- скорости могут быть выражены математически через диаметр единичного прямого капилляра, который в большинстве случаев считается консервативным представлением утечки или утечек.

Основными шагами, предусмотренными стандартом [45] 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.

При проведении испытаний с образцами уменьшенных размеров необходимо определять целесообразность прямых измерений утечки радиоактивного содержимого, которые могут быть нецелесообразны в связи с наличием эффектов масштабирования. В таких случаях рекомендуется проводить детальные метрологические исследования, направленные на определение деформаций и растяжений различных элементов упаковки, которые влияют на работоспособность системы герметизации, а также оценивать влияние данных явлений на работоспособность системы герметизации.

При проведении оценки эксплуатационных характеристик упаковки после проведения испытаний необходимо исключить влияние различных факторов, не связанных непосредственно с проведением испытаний, на данные характеристики (например, случайные падения упаковки).

Для оценки целостности радиационной защиты можно использовать источник ионизирующего излучения, помещенный внутрь упаковки, параметры которого аналогичны или близки к параметрам реального радиоактивного содержимого. Далее всю поверхность образца следует исследовать с целью определения потерь защиты и проводить замеры уровней излучения.

Кроме того, при оценке параметров радиационной защиты следует определять размеры компонентов радиационной защиты и их положение в упаковке для подтверждения того, что данные компоненты при испытаниях не подверглись деформациям и не переместились.

При проведении испытаний необходимо также подтверждать корректность анализа ядерной безопасности в различных условиях перевозки в части принятых допущений по расположению ДМ внутри упаковки сравнением их с реальным расположением данных материалов (их имитаторов) после проведения испытаний.

При испытании образцов, содержащих имитаторы радиоактивного содержимого, необходимо учитывать различие в механических свойствах имитатора и реального содержимого, а также оценивать влияние данных различий на результаты испытаний. Аналогичную оценку следует проводить при использовании в конструкции образцов элементов, имитирующих реальные элементы упаковки.

3.4.2. Испытания для подтверждения способности упаковки выдерживать нормальные условия перевозки

3.4.2.1. Образцы упаковки подвергаются испытаниям на удар при свободном падении, штабелирование и глубину разрушения. Каждому из этих испытаний должно предшествовать испытание на обрызгивание водой. Для всех испытаний можно использовать один образец при условии, если выполнены требования, указанные в пункте 3.4.2.2.

Комментарий

Цель испытаний, имитирующих нормальные условия перевозки, заключается в моделировании воздействий на упаковки в результате некорректного обращения с ними при перевозке, воздействия повышенной влажности, попадания под дождь, нагрузок при складировании упаковок в транспортном средстве и при маневрировании транспортных средств, то есть воздействий не обязательно присутствующих, но довольно часто имеющих место при любой перевозке.

При нормальных условиях перевозки упаковка может подвергаться как динамическим, так и статическим нагрузкам. Первый вид воздействия может включать ограниченные удары, повторяющиеся толчки и (или) вибрацию, второй — сжатие и растяжение.

Упаковка также может подвергаться воздействиям ударов при свободном падении при обычных условиях перевозки. Грубое обращение, в частности, перекачивание цилиндрических упаковок и кантование прямоугольных упаковок также могут являться причиной механических воздействий.

При перевозке наземным транспортом возможна тряска. Все виды транспорта создают вибрационные нагрузки, которые могут вызывать усталость металла и (или) ослаблять крепежные элементы. Штабелирование упаковок для перевозки и 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 также могут вызывать напряжения в упаковке.

Маловероятно чтобы одна упаковка столкнулась со всеми вариантами грубого обращения или небольшими происшествиями, которые моделируются посредством испытаний, указанных в пункте 3.4.2.1 НП-053-16. Таким образом, для испытаний, указанных в данном пункте, можно использовать как один и тот же образец, так и по одному образцу для каждого испытания.

Климатические условия окружающей среды, в которых может находиться упаковка, включают изменения влажности, окружающей температуры и давления, а также нагрев в результате солнечной инсоляции и изменения погодных условий.

Относительно низкая влажность, особенно, 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 упаковки по сравнению с температурой окружающей среды. Холод отверждает и охрупчивает определенные материалы, особенно используемые в качестве соединений или амортизаторов. Изменения температуры и давления могут вызывать постепенное возрастание влажности внутри некоторых частей упаковочного комплекта, и, если температура падает достаточно низко, это может приводить к конденсации воды.

3.4.2.2. Интервал между окончанием испытания на обрызгивание водой и последующим испытанием должен быть таким, чтобы вода успела максимально впитаться без видимого высыхания внешней поверхности образца. При отсутствии каких-либо противопоказаний этот интервал принимается равным примерно 2 часам, если вода подается одновременно с четырех направлений. Если вода разбрызгивается последовательно с каждого из четырех направлений, интервала перед последующим испытанием не должно быть.

Комментарий

Если обрызгивание водой осуществляется с четырех сторон одновременно, следует предусматривать приблизительно двухчасовой перерыв между испытанием на обрызгивание водой и последующими испытаниями. Данный интервал соответствует времени, которое необходимо, чтобы вода постепенно впиталась. Если упаковка подвергается последующему испытанию на свободное падение, укладку штабелем или на глубину разрушения после этого перерыва, это приводит к максимальному повреждению. Однако если обрызгивание водой осуществлялось по четырем направлениям последовательно, впитывание воды по каждому направлению и высыхание воды снаружи будут происходить с изменяющейся интенсивностью в течение 2 ч.

Соответственно в этом случае не следует предусматривать интервал между завершением испытания на обрызгивание водой и последующими испытаниями.

3.4.2.3. Испытание на обрызгивание водой. Образец должен быть подвергнут испытанию обрызгиванием водой, имитирующим пребывание под дождем интенсивностью примерно 5 см/ч в течение не менее 1 часа.

Комментарий

Ниже описан примерный порядок проведения испытания на обрызгивание водой.

Образец помещается на плоскую горизонтальную поверхность в положение, в котором наиболее вероятно максимальное проникновение воды внутрь упаковки. Равномерно распределенная струя воды 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.

При проведении испытания рекомендуется учитывать следующие дополнительные условия:

- угол при вершине конуса расширения струи должен быть достаточен для охвата всего образца;
- расстояние от места испускания воды до ближайшей точки образца должно составлять не менее 3 м;
- расход воды должен быть эквивалентен дождю с интенсивностью 5 см/ч, усредненной по площади воздействия на образец;
- скорость подачи воды должна быть одинакова в течение испытания.
- Для обеспечения максимальной поверхности смачивания струя воды должна быть наклонена под углом 45° к горизонтали образца:
- для прямоугольных образцов струя может быть направлена на каждый из четырех углов;
- для цилиндрических образцов струя может быть направлена с каждого из четырех направлений с интервалом 90°.

Для учета воздействия воды, скапливающейся у основания упаковки, следует размещать упаковку прижатой к поверхности.

3.4.2.4. Испытание на удар при свободном падении. Образец должен падать на мишень так, чтобы причинялся максимальный ущерб испытываемым элементам, обеспечивающим безопасность, при этом:

а) высота свободного падения, измеряемая от нижней точки образца до плоскости мишени, должна быть не меньше расстояния, указанного в таблице № 4 приложения № 4 к настоящим Правилам для соответствующей массы упаковки;

б) для прямоугольных фибровых, деревянных, картонных и полимерных упаковок массой не более 50 кг отдельный образец должен быть подвергнут испытанию на свободное падение с высоты 0,3 м на каждый угол;

в) для цилиндрических фибровых, деревянных, картонных и полимерных упаковок массой не более 100 кг отдельный образец должен быть подвергнут испытанию на свободное падение с высоты 0,3 м на каждую четверть края цилиндра при обоих основаниях.

Комментарий

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 условия 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. Например, 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.

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 возникнуть необходимость испытания специфических устройств упаковки, таких как петли и замки, для гарантии сохранения системы герметизации, защиты и обеспечения безопасности после падения.

При испытаниях следует подтвердить работоспособность элементов конструкции, материалов и механизмов, предусмотренных в конструкции, для предотвращения потери или распространения РВ, или потери защитных материалов (то есть системы герметизации в целом, клапанов, крышек и уплотнений). Для упаковок, содержащих ДМ, необходимо подтвердить также работоспособность фиксирующих устройств для ДМ и поглотителей нейтронов.

Максимальное повреждение подразумевает 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 ускорение и (или) деформация рассматриваемых элементов были максимальны. Большинство контейнеров имеют некоторую асимметрию, определяющую различное сопротивление удару. В любом исследовании следует корректно учитывать конструкционные элементы, обеспечивающие возможное поглощение кинетической энергии.

Следует предусматривать средства для удержания упаковки в требуемом для удара положении. Для данных целей можно использовать спусковой механизм, подвешенный за находящуюся на определенной высоте конструкцию, а также кран или башню, сконструированные специально для испытаний на свободное падение. Конструкция специализированной установки для испытаний на падение должна иметь четыре главных элемента: опору, спусковое устройство, направляющее устройство (не используется при прямых падениях) и мишень, параметры которой определены в пункте 3.1.4 НП-053-16. В тех случаях, когда упаковка оборудована ограничителями удара (демпфирующими устройствами), 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 наносить образцу дополнительные механические повреждения. Ряд примеров испытательных стендов описан в IAEA-TECDOC-295 [58].

Если в нормальных условиях перевозки невозможно падение упаковки в определенных положениях, данные положения могут не рассматриваться при испытаниях на свободное падение. Исключение данных положений упаковки из испытаний должно быть обосновано.

3.4.2.5. Испытание на штабелирование. Если форма упаковочного комплекта не исключает возможность укладки штабелем, образец подвергается в течение 24 часов сжатию с усилием, равным или превышающим большее из следующих значений:

- а) усилие, эквивалентное пятикратной массе упаковки;
- б) усилие, эквивалентное произведению 13 кПа на площадь вертикальной проекции упаковки.

Нагрузка должна распределяться равномерно на две противоположные стороны образца, одна из которых должна быть основанием, на котором обычно располагается упаковка.

Комментарий

Испытания на укладку штабелем предусмотрены для имитации эффекта давления на упаковку в течение длительного периода времени, для подтверждения того, что эффективность защиты и системы герметизации не будет снижена, а также не возникнет неблагоприятной конфигурации упаковок в случае перевозок ДМ. Продолжительность этого испытания выбрана в соответствии с Рекомендациями ООН [33].

Следует учитывать, что укладка штабелем возможна для любой упаковки, у которой верхняя поверхность, то есть сторона, противоположная той, на которой она обычно стоит, является плоской. Следует также учитывать возможность использования дополнительных подставок и опор или рамы для упаковок с искривленной поверхностью с целью укладки их штабелем.

При проведении испытания образец следует размещать нижним основанием на плоской поверхности (бетонный пол или стальная плита). При необходимости с целью равномерного распределения нагрузки на верхней поверхности образца следует размещать плоскую плиту, имеющую достаточную площадь для покрытия этой поверхности. Массу плиты следует включать в суммарную массу, используемую в испытании. Наиболее простой метод состоит в построении штабеля из ряда упаковок на верхней поверхности испытываемого образца. На упаковку также могут помещаться материалы, масса которых превышает массу упаковки на величину, соответствующую максимальному количеству упаковок в штабеле.

3.4.2.6. Испытание на глубину разрушения. Образец ставят на жесткую горизонтальную плоскую поверхность, не смещающуюся при проведении испытаний. Стержень диаметром 3,2 см с полусферическим концом и массой 6 кг сбрасывают вертикально в направлении центра наименее прочной части образца так, чтобы он, если пробьет упаковку достаточно глубоко, задел систему герметизации. Стержень не должен значительно деформироваться при проведении испытаний. Высота падения стержня до намеченной точки попадания на верхней поверхности упаковки должна составлять 1 м.

Комментарий

Испытание на глубину разрушения предназначено для подтверждения того, что содержимое упаковки не выйдет из системы герметизации или что радиационная защита или система герметизации не будут повреждены в случае, если тонкий объект (например, часть стальной трубы) проникнет через внешний слой упаковочного комплекта.

3.4.3. Дополнительные испытания упаковок типа А, предназначенных для жидкого и газообразного радиоактивного материала

3.4.3.1. Образец упаковки типа А, предназначенной для жидкого и газообразного радиоактивного материала, подвергается одному из указанных ниже испытаний, которое является более тяжелым для данного образца:

а) испытание на удар при свободном падении: образец сбрасывают на мишень таким образом, чтобы было нанесено максимальное повреждение системе герметизации; высота падения, измеряемая от нижней части образца до поверхности мишени, должна составлять 9 м;

б) испытание на глубину разрушения: образец должен быть подвергнут испытанию, указанному в пункте 3.4.2.6, с той разницей, что высота падения должна быть увеличена до 1,7 м.

Если нельзя доказать, что одно из указанных выше испытаний более тяжелое для данной упаковки, образец подвергается обоим испытаниям.

Комментарий

Данные дополнительные требования для упаковок типа А, предназначенных для перевозки жидкостей или газов, обусловлены тем, что жидкие и газообразные вещества обладают более высокой способностью к утечке, чем твердые материалы. Испытания не требуют предварительного обрызгивания водой.

3.4.4. Испытания для проверки способности упаковок выдерживать аварийные условия перевозки

3.4.4.1. Образец упаковки должен быть подвергнут суммарному воздействию испытаний, описанных в пунктах 3.4.4.2 и 3.4.4.3, в указанной последовательности. После испытаний образец (либо тот же, либо другой) должен быть подвергнут испытанию на погружение в воду, указанному в пункте 3.4.4.4, и при необходимости испытанию, указанному в пункте 3.4.4.5.

Комментарий

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 при серьезных транспортных авариях;
- обеспечение универсальности испытаний для различных конструкций упаковок, аварийных условий на различных видах транспорта, обеспечение воспроизводимости результатов испытаний и их математического моделирования.

Последовательность испытаний для каждой упаковки (механические воздействия с последующим тепловым воздействием) соответствует сценариям наиболее серьезных аварий. Следует однако отметить, что вероятность данных аварий достаточно невысока. Например, на железных дорогах 90 % всех пожаров сопровождаются механическими воздействиями, а при столкновениях и других воздействиях пожары имеют место только в 1 – 3 % таких аварий.

Испытание на погружение в воду может проводиться на упаковках, которые не были подвергнуты механическому и тепловому воздействию, поскольку вероятность аварии с погружением на глубину после серьезного механического и теплового воздействия мала.

3.4.4.2. Испытание на механическое повреждение. Каждый образец должен быть подвергнут соответствующим испытаниям на падение согласно подпункту «б» пункта 2.9.4 или пункту 2.12.12.2. Последовательность падений образца должна быть такой, чтобы по завершении испытаний образцу были нанесены такие повреждения, которые привели бы к максимальному

повреждению при последующем тепловом испытании. Испытание на механическое повреждение состоит из трех различных испытаний на падение:

а) образец должен упасть на мишень (пункт 3.1.4) так, чтобы он получил максимальное повреждение. Высота падения, измеряемая от нижней точки образца до поверхности мишени, должна составлять 9 м;

б) образец должен упасть на мишень так, чтобы он получил максимальное повреждение, а высота падения, измеряемая от предполагаемой точки удара до поверхности мишени, должна составлять 1 м. Мишень представляет собой сплошной штырь круглого сечения диаметром $15,0 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}$, изготовленный из мягкой стали. Торец штыря – плоская горизонтальная поверхность с закруглениями краев радиусом не более 6 мм. Штырь должен быть неподвижно закреплен в вертикальном положении на мишени-основании и иметь высоту 20 см. Если при большей высоте будет наноситься большее повреждение, то следует использовать штырь достаточной высоты для нанесения максимального повреждения. Мишень-основание должна соответствовать требованиям, изложенным в пункте 3.1.4;

в) образец должен подвергаться испытанию на динамическое раздавливание, при котором он получит максимальное повреждение при падении на него тела массой 500 кг с высоты 9 м. Тело, изготовленное из мягкой стали в виде пластины с размерами $1 \times 1 \text{ м}$, должно падать, находясь в горизонтальном положении. Высота падения измеряется от нижней поверхности пластины до наивысшей точки образца. Мишень, на которой устанавливается образец, должна соответствовать требованиям, приведенным в пункте 3.1.4.

Комментарий

Испытания на механическое повреждение имитируют возможные аварийные механические воздействия (падение упаковки, раздавливание, пробивание поверхности упаковки). Большинство упаковок должны испытываться на падение. При этом легкие упаковки с малой плотностью и большой активностью РМ не должны подвергаться испытанию на падение, так как для них раздавливание и пробивание поверхности являются более жесткими воздействиями, чем падение.

Падение упаковки с высоты 9 м в наиболее уязвимом положении на недеформируемую мишень обеспечивает максимальное поглощение кинетической энергии в структурах упаковки. В реальных условиях аварии поверхность падения является деформируемой, за счет чего часть энергии поглощается в этой поверхности. В случае использования деформированной поверхности в качестве мишени для проведения испытания следует обеспечить более высокую скорость удара. Принятое значение скорости должно быть обосновано.

Испытание на падение на сплошной штырь круглого сечения предназначено для демонстрации устойчивости упаковки к пробивающим нагрузкам. Такие нагрузки могут приводить к повреждению системы герметизации упаковок или потере тепловой защиты. Особо чувствительными к пробивающим нагрузкам являются тонкостенные упаковки, однако необходимо также учитывать, что в конструкции упаковок с достаточно толстыми внешними стенками могут иметься слабые места (например, крышки или клапаны).

Динамические раздавливающие нагрузки в ряде случаев могут вызывать более серьезные повреждения, чем падения с высоты 9 м (например, в случае упаковок малой массы). Кроме того, вероятность динамических раздавливающих нагрузок при авариях на наземном транспорте может быть выше, чем вероятность возникновения ударных нагрузок вследствие того, что упаковки зачастую перевозятся в больших количествах или вместе с другими грузами, что с

большой вероятностью приведет к раздавливающим нагрузкам. Помимо этого, ошибки при обращении и складировании также могут приводить к значительным нагрузкам.

Требованиями НП-053-16 предусмотрена необходимость обеспечения таких положений упаковки при испытаниях на падение или динамическое раздавливание, которые соответствуют максимальному повреждению при последующем тепловом испытании. При оценке максимального повреждения следует определять способность упаковки к удержанию РМ внутри упаковки, сохранность радиационной защиты и уровни внешнего излучения. Необходимо учитывать все повреждения, приводящие к повышению уровня излучения, потере герметичности или к повреждению системы герметизации после теплового испытания. Следует учитывать, что наличие после испытаний любых повреждений, которые не приводят к нарушению требований безопасности, является критерием, по которому упаковка признается выдержавшей данные испытания (даже в случае, если повреждения приводят к непригодности данной упаковки для повторного использования).

С целью определения положения упаковки при испытаниях на падение, которые приводят к максимальному повреждению при последующем тепловом испытании, возможно выполнение многократных падений образца при одном и том же испытании. Однако осуществление данных падений может приводить к существенным повреждениям, которые являются маловероятными при реальных авариях. В связи с вышесказанным, для определения наихудшей конфигурации упаковки для проведения испытаний следует использовать более чем один образец. Кроме того, наихудшая конфигурация упаковки может быть выбрана на основании расчетного анализа. При выборе наихудшей конфигурации упаковки после проведения испытания следует принимать во внимание, что выступающие части упаковки могут быть весьма чувствительны к повреждениям (например, тепловые ребра). Кроме того, подъемные и вспомогательные устройства, а также узлы крепления могут иметь прочность или жесткость, меньшую по сравнению с другими частями упаковки, что может являться причиной их большей уязвимости при внешних воздействиях.

Следует также учитывать неоднородности на поверхности упаковки (например, цапфы, крышки и другие элементы), которые могут быть более уязвимы при внешних воздействиях.

При аналитическом определении наиболее уязвимой конфигурации следует также учитывать воздействие содержимого упаковки на саму упаковку при возникновении нагрузок (например, при резком торможении).

Пункт 2.12.8 НП-053-16 содержит требование о выполнении для ДМ анализа ядерной безопасности 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. Кроме того, при проведении анализа следует учитывать все положения упаковки.

Требованиями НП-053-16 подразумевается, что упаковка при испытаниях падает под действием силы тяжести. Однако НП-053-16 не запрещают использовать любые технические средства для имитации такого падения. При этом необходимо обеспечить, чтобы сила удара при проведении испытания была не меньше, чем сила удара при свободном падении с соответствующей высоты.

При проведении испытания на падение на штырь требуемая высота штыря должна быть не менее 20 см. Тем не менее, в соответствии с требованиями НП-053-16, высота штыря должна быть

увеличена в случае, если при большей высоте наносится большее повреждение, что может возникнуть, например, при условии, что расстояние между внешней поверхностью упаковки и любым внутренним компонентом, важным для ее безопасности, больше чем 20 см. Длина штыря, которая приводит к максимальному повреждению упаковки, должна быть обоснована. В качестве материала для конструкции штыря следует использовать мягкую сталь. Следует обеспечивать минимальное значение предела текучести для материала штыря (не менее 150 МПа и не более 280 МПа). Отношение предела текучести к пределу прочности должно быть не более 0,6.

При проведении испытания на падение на штырь следует учитывать, что максимальное повреждение не обязательно возникает при падении под прямым углом на верхнюю поверхность стержня.

При испытаниях на динамическое раздавливание положение упаковки должно быть устойчивым и неизменным. Для этих целей может применяться специальная опора, наличие которой не должно оказывать влияния на нанесение упаковке максимального повреждения.

После проведения испытаний следует проводить оценку нанесенных упаковке повреждений. Данные оценки следует использовать, в том числе для проверки правильности допущений, принятых при проведении анализа безопасности. Кроме того, для оценки повреждений может использоваться специальная электронная аппаратура, регистрирующая данные в момент падения. Наличие данных устройств не должно оказывать влияния на процесс проведения испытания и на оказываемые повреждения. При использовании данных, полученных с помощью электронных устройств, следует учитывать неопределенности результатов, а также возможные искажения сигналов, поступающих с измерительных блоков аппаратуры.

3.4.4.3. Тепловое испытание. Образец помещают полностью, за исключением простой поддерживающей конструкции, в очаг горения углеводородного топлива в воздушной среде, который имеет достаточные размеры и в котором существуют условия для обеспечения среднего коэффициента эмиссии (пламени) не менее 0,9 при средней температуре пламени не менее 800°C в течение 30 минут, или проводят любое другое испытание, обеспечивающее подведение эквивалентного теплового потока к упаковке. Поверхность горения топлива должна выступать за пределы любой внешней поверхности образца по горизонтали по крайней мере на 1 м, но не более чем на 3 м. Образец должен находиться на расстоянии 1 м над поверхностью топлива. После прекращения внешнего подвода тепла образец не должен подвергаться искусственному охлаждению, а любое горение материалов образца должно продолжаться естественным образом. При расчетах коэффициент поверхностного поглощения принимают равным либо 0,8, либо значению, определенному у этой упаковки при проведении описанного теплового испытания. Коэффициент конвективного теплообмена принимают равным той величине, которую может обосновать конструктор упаковки, если она подвергалась описанному тепловому испытанию. Начальные условия теплового испытания принимают таковыми, что упаковка находится в стационарном состоянии при температуре окружающей среды 38°C (с учетом максимального тепловыделения радиоактивного содержимого) и воздействию инсоляции согласно пункту 2.9.11, или в противном случае эти условия должны быть учтены при анализе результатов испытания.

Комментарий

Работы [59–65] показывают, что тепловые испытания, определенные в пункте 3.4.4.3 НП-053-16, охватывают большую часть из возможных внешних воздействий, сопровождающих аварии на транспорте, связанных с пожарами. НП-053-16 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.

Тепловое испытание предполагает горение бассейна с жидким углеводородным топливом, которое воспроизводит повреждающие воздействия от пожаров, включая горение твердых, жидких и газообразных горючих материалов. Интенсивное горение таких жидкостей, как жидкий природный газ и жидкий водород обычно происходит в течение небольшого промежутка времени. Продолжительность испытания может регулироваться путем изменения подачи топлива, рассчитанного 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.

Температура и коэффициент эмиссии пламени (800°C 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 материалами или транспортными средствами, влияние ветра и массивные конструкции многих упаковок типа В(У) и типа В(М) будут усреднять реальные условия пожаров до условий, соответствующих испытанию, или до менее серьезных условий, чем при испытании [64, 65]. Присутствие упаковки и удаленность от источника кислорода (воздух проходит вглубь пламени примерно на 1 м) могут приводить к снижению температуры пламени, примыкающего к упаковке. Естественный ветер может приносить дополнительный кислород, однако также может и удалять пламя с отдельных частей упаковки, что может нарушить выполнение требований о постоянстве условий внешней среды. Использование вертикальных направляющих для пламени ниже упаковки будет снижать эффект ветра и увеличивать охват пламенем [66].

Для стабилизации пламени могут использоваться защитные ширмы или экраны. Испытания на открытом воздухе следует проводить только в том случае, если до окончания испытания не ожидаются осадки, либо используются специальные приспособления для ограничения воздействия осадков (временные укрытия, защитные экраны).

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. Не все содержимое отдельной емкости с топливом будет вовлечено в такой сценарий, поскольку достаточно много топлива либо останется в самой емкости, либо перетечет в другие места. Длительность пожара 30 мин была выбрана исходя из рассмотрения этих факторов и учитывает низкую вероятность пожара с большим объемом топлива. Маловероятный пожар значительной продолжительности наиболее правдоподобен в сочетании с геометрическими условиями, которые обеспечивают эффективное снижение подвода тепла к упаковке, остающейся на земле и (или) защищенной конструкциями перевозочного средства. Подвод тепла при проведении тепловых испытаний соответствует реалистическим условиям тяжелой аварии.

Подъем 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 границами 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. При выборе размера бассейна более трех метров возможен недостаток кислорода в центре пламени и, соответственно, более низкие температуры около упаковки [67].

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 не учитывать в ходе испытания.

Последствиями тепловых испытаний будут являться увеличение температуры упаковки, высокое внутреннее давление и другие эффекты. Данные последствия могут в некоторой степени зависеть от начальной температуры упаковки, которую также следует определять, а также учитывать внутреннее тепловыделение, инсоляцию и температуру окружающей среды.

Условия пожара, определенные в НП-053-16, 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 пламени могут быть более тяжелыми, чем указанные в НП-053-16, однако другие могут быть менее тяжелыми. Например, практически невозможна ситуация, при которой все поверхности упаковки испытывают на себе все воздействие пламени, так как можно предполагать, что существенная часть площади поверхности защищена либо грунтом, либо обломками, образующимися при аварии. При выборе условий испытаний упор сделан в большей степени на тепловой поток, чем на выбор отдельных параметров.

В ряде случаев последствия теплового испытания следует определять также и расчетным путем с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, так как НП-053-16 устанавливают определенные параметры горения, которые в целом при проведении практических испытаний не контролируются.

При проведении испытаний следует учитывать, что некоторые защитные материалы имеют температуру плавления ниже 800°C, которая используется при тепловом испытании. Поэтому следует проанализировать способность данных материалов к сохранению. Такие защитные материалы, как пластик или твердый парафин могут испаряться, создавая давление, которое может разорвать оболочку, которая, в свою очередь, могла быть ослаблена повреждениями, полученными в ходе механических воздействий. Может потребоваться термодинамический анализ для определения данных воздействий.

Следует уделить особое внимание выбору измерительной техники. Тип и расположение измерительных приборов зависят от данных, которые необходимо получить, 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. В качестве альтернативы непрерывным измерениям упаковка может быть оборудована таким образом, чтобы приборы могли быть подсоединены непосредственно после окончания горения. Измерить утечку можно путем предварительной опрессовки и повторных измерений после теплового испытания с обеспечением (при необходимости) соответствующих поправок на температуру.

Измерения следует продолжать после прекращения горения, в период охлаждения, продолжаясь до тех пор, пока все температуры продолжают снижаться до стабилизации температуры.

Результаты измерений, полученные в ходе испытания, должны быть откорректированы для нестандартных начальных условий температуры окружающей среды, инсоляции, внутреннего тепловыделения, давления и т. д. Следует оценивать влияние частичной загрузки на изменение теплоемкости и теплопередачи.

Требованиями НП-053-16 допускается проведение альтернативных испытаний при условии их соответствия условиям требований пункта 3.4.4.3 НП-053-16. Так, испытания с нагревом в печи зачастую более удобны, чем испытания при горении бассейна с топливом. Другими возможными внешними условиями испытаний может быть применение системы горелок на открытом воздухе [68].

При проведении альтернативных испытаний следует обеспечивать источник с высокой излучательной способностью, например, выбирая печь с внутренней поверхностью, значительно превышающей огибающую поверхность упаковки, либо с высоким коэффициентом эмиссии (0,9 или выше). Многие печи не способны воспроизводить или требуемую излучательную способность, или поступление конвективного тепла, соответствующих горению бассейна, что может потребовать увеличения продолжительности испытаний или увеличения температуры в печи.

Использование масштабной модели для проведения теплового испытания может быть затруднено, а зачастую может потребовать и дополнительного анализа применимости результатов. Программа моделирования каждого процесса отдельно в широком диапазоне требует всестороннего исследования с помощью теоретической модели. Любое масштабное испытание и интерпретация полученных результатов требуют демонстрации достоверности. Полезным может быть использование полномасштабных моделей частей упаковки, если анализ для данных частей (например, ребренная поверхность) затруднен.

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.

Требуемая НП-053-16 поглощающая способность (коэффициент поглощения) поверхности упаковки должен быть равен 0,8. При этом может быть выбрано альтернативное значение. Например, для сложных ребренных поверхностей данное значение может составлять 1, что обуславливается многократным отражением и соответствующим повышением поглощающей способности.

Необходимо проводить расчетные оценки устойчивости упаковки к тепловым испытаниям. ПС, используемые для такого анализа, должны пройти экспертизу в установленном порядке и иметь возможность учета детального распределения температур внутри упаковки, а также температуры окружающей среды. Должны также учитываться начальные условия испытаний.

При проведении расчетов должны учитываться внешние граничные условия горения. В общем случае для источника излучения и для конвективной теплопередачи следует использовать равномерную среднюю температуру 800°C.

В ходе расчетов должны учитываться геометрические особенности упаковки. Геометрия должна моделироваться с максимальной точностью, либо должны использоваться обоснованные консервативные приближения.

Расчет переходного процесса теплового испытания должен включать начальные условия, воздействие внешних условий горения в течение 30 мин и период охлаждения, продолжающийся до тех пор, пока все температуры продолжают снижаться до стабилизации температуры.

При проведении расчетов должны учитываться допуски на параметры упаковки, а также неопределенности в исходных данных.

3.4.4.4. Испытание на погружение в воду. Образец должен находиться под столбом воды высотой не менее 15 м в течение не менее 8 часов в положении, приводящем к максимальным повреждениям. Принимают, что этим условиям соответствует внешнее избыточное давление не менее 150 кПа.

Комментарий

В результате транспортных аварий на воде, либо вблизи нее, упаковка может быть подвергнута воздействию внешнего давления при погружении в воду. НП-053-16 требуют, чтобы упаковочный комплект мог противостоять внешнему давлению, эквивалентному погружению на глубину. Наиболее вероятно, что глубина рядом с большинством крупных мостов, дорог или портов будет меньше 15 м, которые установлены требованиями НП-053-16 для данного испытания. Период времени, равный 8 ч, позволяет обеспечить стационарное состояние упаковки после воздействий, зависящих от скорости погружения (например, от затопления ее внешних компонентов).

Испытание на погружение может быть проведено погружением упаковки под воду, испытанием внешним давлением не менее 150 кПа или испытанием на давление критических элементов упаковки.

3.4.4.5. Усиленное испытание на погружение в воду упаковок типа В(У) и типа В(М), содержащих более 10^5 А₂, и упаковок типа С. Образец должен находиться под столбом воды высотой как минимум 200 м в течение не менее 1 часа. Принимают, что этим условиям соответствует внешнее избыточное давление не менее 2 МПа.

Комментарий

См. комментарии к пункту 3.4.4.4 НП-053-16.

Испытание на погружение в воду может быть проведено погружением упаковки под воду, испытанием на давление не менее 2 МПа или испытанием на давление критических элементов упаковки.

В случае испытания с погружением на глубину 200 м в течение не менее чем 1 ч допускается деформация, если конечное состояние упаковки соответствует требованиям пункта 2.9.11 НП-053-16.

3.4.5. Испытания на водопроницаемость упаковок, содержащих делящийся материал

3.4.5.1. Этим испытаниям не подвергаются упаковки, у которых при оценке ядерной безопасности согласно положениям пункта 2.12.8.2 предполагалась протечка воды внутрь упаковки или ее утечка из упаковки в объеме, приводящем к наибольшему размножающим свойствам делящегося материала.

Комментарий

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 на аварийные условия погружением в воду на глубину 15 м или 200 м (по применимости), если они относятся к типу В или типу С.

3.4.5.2. Прежде чем образец будет подвергнут испытанию на водопроницаемость, описанному в пункте 3.4.5.3, он должен быть подвергнут испытаниям согласно пункту 3.4.4.2 с учетом пункта 2.12.12.2, а также испытанию, указанному в пункте 3.4.4.3.

Комментарий

Последовательность испытаний выбирается таким образом, чтобы обеспечивать условия свободного поступления воды в упаковку вместе с повреждениями, которые могут приводить к перегруппированию делящегося содержимого и нарушению условий ядерной безопасности.

3.4.5.3. Образец должен находиться под столбом воды высотой не менее 0,9 м в течение не менее 8 часов в положении, при котором ожидается максимальная протечка.

Комментарий

По результатам данного испытания должна быть определена степень проникновения воды в упаковку, данные о которой затем должны быть использованы при анализе ядерной безопасности.

3.4.6. Испытания упаковок типа С

3.4.6.1. Образцы должны быть подвергнуты воздействию каждой из следующих серий испытаний, проводимых в следующем порядке:

- а) испытания, предусмотренные в пунктах 3.4.6.2, 3.4.6.3 и подпунктах «а» и «в» пункта 3.4.4.2;
- б) испытание, предусмотренное в пункте 3.4.6.4.

Для каждой из этих серий испытаний разрешается использовать отдельные образцы.

Комментарий

НП-053-16 не требуют подвергать один и тот же образец всем предписанным испытаниям, так как реальные аварии не включают в себя все наихудшие условия испытаний [69].

После завершения каждой серии испытаний должна оцениваться целостность упаковки.

3.4.6.2. Испытание на прокол (разрыв). Образец должен быть подвергнут разрушающему воздействию твердого штыря, изготовленного из мягкой стали. Положение штыря по отношению к поверхности образца должно быть таким, чтобы вызвать максимальное повреждение при завершении серии испытаний, предусмотренных в подпункте «а» пункта 3.4.6.1. Упаковки, в зависимости от их массы, подвергаются одному из следующих испытаний:

- а) на мишени размещают образец, представляющий собой упаковку массой менее 250 кг, и на него с высоты 3 м над намеченным местом удара падает штырь массой 250 кг. Для этого испытания штырь должен представлять собой цилиндрический стержень диаметром 20 см, ударный конец которого образует усеченный прямой круговой конус, имеющий высоту 30 см и диаметр вершины 2,5 см. Мишень, на которой размещается образец, должна соответствовать описанию, содержащемуся в пункте 3.1.4;

б) для упаковок массой 250 кг и более основание штыря закрепляют на мишени, а образец падает на штырь. Высота падения, измеряемая от места удара образца до верхней поверхности штыря, должна составлять 3 м. Для этого испытания свойства и размеры штыря должны соответствовать характеристикам, указанным в подпункте «а», за исключением того, что длина и масса штыря должны быть такими, чтобы нанести максимальное повреждение образцу. Мишень, на которой закрепляют основание штыря, должна соответствовать описанию, содержащемуся в пункте 3.1.4.

Комментарий

Важно возможное появление проколов и разрывов. Однако окружающая среда плохо поддается количественному и качественному описанию. Повреждение от прокола может быть вызвано различными механическими воздействиями, например, падением других грузов или частей транспортного средства.

Последствиями прокола могут быть утечка из системы герметизации упаковки, а также повреждение теплоизоляции упаковки, что приводит к неудовлетворительному функционированию в случае возникновения возгорания после удара упаковки.

Подготовка испытания требует определения длины, диаметра и массы штыря, недеформируемой мишени и скорости удара. Штырь в форме прямого кругового конуса причинит наибольшее повреждение.

В подпункте а) данного пункта не определены общая длина проникающего штыря и детали его конструкции вне усеченного конуса, однако масса штыря не должна быть меньше 250 кг. В соответствии с требованиями подпункта б) данного пункта необходимо обеспечивать достаточную длину и массу проникающего штыря 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. В обоих случаях центры тяжести образца и упаковочного комплекта следует располагать на одной вертикали.

Дополнительная информация по данным испытаниям указана в [69–72].

3.4.6.3. Усиленное тепловое испытание. Условия этого испытания должны соответствовать условиям, определенным в пункте 3.4.4.3, за исключением того, что тепловое воздействие должно продолжаться 60 мин.

Комментарий

На основе статистических данных о пожарах был сделан вывод о том, что длительность пожара в 60 мин охватывает с избытком самые серьезные условия пожаров, в которых может оказаться упаковка в случае воздушной аварии [70, 71]. Данное испытание имеет те же характеристики, что и испытание, определенное в пункте 3.4.4.3 НП-053-16.

Образец, подвергающийся данному испытанию, не обязательно должен подвергаться испытанию на столкновение со скоростью 90 м/с, которое описано в пункте 3.4.6.4 б) НП-053-16. В тяжелых авариях не предполагается одновременное воздействие высоких скоростей и длительных пожаров, поскольку высокие скорости приводят к обширным пожарам с менее тяжелыми последствиями за счет рассеяния горючих материалов.

При проведении испытаний следует имитировать процессы плавления, горения и другие процессы, которые могут привести к ухудшению теплоизоляционных свойств конструкционных

материалов, от которых зависит эффективность защиты упаковки. Интенсивность данных процессов должна быть выше, чем при испытании, которое проводится для упаковок типа В(У) и В(М).

3.4.6.4. Испытание на столкновение. Образец должен быть подвергнут столкновению с мишенью при скорости не менее 90 м/с, причем в таком положении, при котором ему будет нанесено максимальное повреждение. Мишень должна соответствовать описанию, содержащемуся в пункте 3.1.4.

Комментарий

Условия данного испытания эквивалентны условиям, которые возникают при авиакатастрофе. Ситуация, при которой упаковка сталкивается с мишенью на скорости 90 м/с может возникнуть вследствие столкновения в воздухе или вследствие разрушения конструкций самолета в полете.

Данные, на которых необходимо основывать анализ аварий, были получены из отчетов с подробным описанием аварий [72–74]. Данные основаны на реальных измерениях, либо выведены путем анализа и предположений, основанных на представлениях о вероятном развитии аварии.

Скорость столкновения при испытании получена на основании данных документов [69, 72–74]. Значение 90 м/с является наиболее вероятной скоростью при авиакатастрофе. Следует отметить, что вероятность воздушных аварий любого типа низка. Процент аварий, включающих столкновение в воздухе или разрушение самолета в воздухе, также мал. Если такая авария происходит с самолетом, перевозящим упаковку типа С, повреждение упаковки может быть уменьшено, если при падении она останется связанной с обломками самолета, что приводит к снижению скорости удара упаковки о землю.

Обеспечение условий для столкновения упаковки с недеформируемой поверхностью со скоростью 90 м/с весьма сложно. Данная скорость соответствует скорости свободного падения с высоты 420 м, без учета сопротивления воздуха. Это означает, что для обеспечения столкновения с поверхностью в нужном месте и в нужном положении обычно будут нужны специальные направляющие тросы. Могут также применяться другие методы, использующие другие источники энергии, для достижения нужной скорости и ориентации упаковки.

Для упаковок, содержащих ДМ в количествах, не превышающих критерии освобождения, указанные в пункте 2.12.2 НП-053-16, термин «максимальное повреждение» означает поврежденное состояние, которое приводит к максимальному коэффициенту размножения нейтронов.

3.5. Испытания упаковок с гексафторидом урана

3.5.1. Образцы, представляющие собой или имитирующие упаковочные комплекты, предназначенные для размещения в них 0,1 кг или более гексафторида урана, подвергаются гидравлическому испытанию при внутреннем давлении не менее 1,38 МПа, однако если испытательное давление составляет менее 2,76 МПа, то для данной конструкции требуется предварительное согласование величины испытательного давления с ГКО и при осуществлении межгосударственной перевозки требуется многостороннее утверждение конструкции упаковки и перевозки компетентным органом страны назначения и стран транзита. Для упаковочных комплектов, подвергающихся повторным испытаниям, может применяться любой другой

эквивалентный метод неразрушающих испытаний при условии предварительного согласования метода испытаний с ГКО и многостороннего утверждения при межгосударственной перевозке.

Комментарий

Гидравлическим испытаниям подвергаются только конструкционные материалы непосредственно контейнера. Работоспособность клапанов и другого вспомогательного оборудования следует проверять в соответствии со стандартом ISO 7195 [75].

IV. Классификация и утверждение сертификатов-разрешений

4.1. Общие положения

4.1.1. Для осуществления перевозки груза радиоактивных материалов в Российской Федерации должны быть оформлены следующие сертификаты-разрешения:

- сертификат-разрешение на радиоактивный материал особого вида, за исключением ввозимого в Российскую Федерацию радиоактивного материала особого вида;
- сертификат-разрешение на радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию;
- сертификат-разрешение на делящийся материал, на который распространяется освобождение согласно подпункту «е» пункта 2.12.2;
- сертификат-разрешение на конструкцию упаковок типа А;
- сертификат-разрешение на конструкцию упаковок типа В(U) и типа В(M);
- сертификат-разрешение на конструкцию упаковок типа С;
- сертификат-разрешение на конструкцию всех упаковок, содержащих делящийся материал, если на них не распространяется освобождение согласно пунктам 2.12.2, 2.12.13 и 2.12.14;
- сертификат-разрешение на конструкцию упаковок, содержащих 0,1 кг или более гексафторида урана;
- сертификат-разрешение на перевозку упаковок типов С, В(U), В(M), А;
- сертификат-разрешение на перевозку упаковок типов IP-2 и IP-3;
- сертификат-разрешение на перевозку упаковок, содержащих делящийся материал, если на них не распространяется освобождение согласно пункту 2.12.2, за исключением освобождения по подпункту «е» пункта 2.12.2;
- сертификат-разрешение на перевозку в специальных условиях;
- сертификат-разрешение на альтернативные пределы активности для груза приборов или изделий, на который распространяется изъятие согласно пункту 3 приложения № 2 к настоящим Правилам.

Комментарий

Утверждение и выдача сертификатов-разрешений осуществляются ГКО в соответствии с порядком, установленным в Административном регламенте ГК «Росатом» [76].

Если требуется утверждение перевозки (в НП-053-16 утверждение требуется всегда, кроме перевозок освобожденных упаковок и упаковок типа IP-1 (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, то есть 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.

Утверждение конструкции требуется для определенных конструкций упаковок. Некоторые из этих упаковок могут перевозиться по территории иных государств без утверждения сертификатов-разрешений компетентными органами (ГКО) этих стран, в то время как для других такое утверждение необходимо в соответствии с пунктом 825 SSR-6 [8]. В отдельных случаях многостороннее утверждение перевозки необходимо в связи с применением организационных мер по компенсации несоответствий конструкции упаковки требованиям НП-053-16 или SSR-6 [8], которые могут зависеть от содержимого упаковки. В тех ситуациях, когда необходимость контроля в процессе перевозки может быть определена на стадии рассмотрения и утверждения конструкции, рассматривать перевозку отдельно от конструкции нецелесообразно. В таких случаях имеет смысл утверждение конструкции и перевозки упаковки в рамках одной процедуры утверждения. Также возможны ситуации, в которых необходимость такого утверждения определяется содержимым упаковки, подлежащей перевозке (более 3 000 A_1 или 3 000 A_2 либо 1 000 ТБк). Однако, например, если упаковочный комплект типа В(М), для которого сертификат-разрешение об утверждении конструкции допускает содержание ^{60}Co в пределах 1 600 ТБк, а используется для перевозки всего 400 ТБк ^{60}Co , то многостороннего утверждения перевозки не требуется, поскольку 400 ТБк меньше, чем 1 000 ТБк.

В случае если требуется утверждение, то ГКО следует выполнять независимую оценку в отношении: РМОВ или РМ с низкой способностью к рассеянию; упаковок, содержащих 0,1 или более килограммов UF_6 ; упаковок, содержащих ДМ, или ДМ, освобожденные от требований по пункту 2.12.2 е) НП-053-16; упаковок типа В(У) и В(М); упаковок типа С; специальных условий; определенных перевозок; программ радиационной защиты для судов специального назначения; а также не указанных величин A_1 и A_2 , концентраций активности материалов и пределов активности грузов, на которые распространяется изъятие.

Рассматривая требование о выдаче сертификатов-разрешений ГКО для упаковок, предназначенных для ДМ, следует отметить, что в пунктах 2.12.2, 2.12.13, 2.12.14 НП-053-16 указаны упаковки, которые освобождаются от требований к ДМ. Однако при этом должны выполняться все остальные требования к РМ.

В обязанности заявителя входит демонстрация соблюдения соответствующих требований НП-053-16. В обязанности ГКО входит оценка достаточности обосновывающих материалов для подтверждения соблюдения требований ФНП и законодательства в области использования атомной энергии. Все полномочия ГКО определены в постановлении Правительства РФ от 19.03.2001 № 204.

Положения, изложенные в данном разделе НП-053-16, относятся к порядку согласования и получения разрешения на конструкции и перевозки с точки зрения соответствия требованиям НП-053-16. Необходимость других согласований, утверждений, получения разрешений и т. д. определяется правилами перевозки опасных грузов. Однако при этих согласованиях, утверждениях и т. д. не должны предъявляться дополнительные по сравнению с НП-053-16 требования по обеспечению ядерной и радиационной безопасности.

Согласование и утверждение конструкций упаковок, перевозок РМ и других вопросов в соответствии с НП-053-16 не снимает ответственности с грузоотправителей и перевозчиков за обеспечение безопасности перевозок РМ в соответствии с действующим законодательством.

4.1.2. Разработка, согласование, утверждение и выдача этих сертификатов-разрешений, а также их пересмотр, выпуск дополнений и извещений об изменении осуществляются ГКО в соответствии с установленным порядком.

Комментарий

Для выполнения различных функций в НП-053-16 указаны несколько федеральных органов исполнительной власти. Это органы государственного управления использованием атомной энергии, органы государственного регулирования безопасности, федеральные органы исполнительной власти в области транспорта. Постановлением Правительства Российской Федерации от 19.03.2001 г. № 204 утверждено постановление «О государственном компетентном органе по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них» [77]. В этом постановлении приведен перечень функций ГКО.

При осуществлении международных перевозок форма (агрегатное состояние, материальный и изотопный состав, химические свойства и т. д.) РМОВ может быть утверждена (посредством выдачи сертификата-разрешения) только одним компетентным органом до перевозки, в то время как форма материалов с низкой способностью к рассеянию требует многостороннего утверждения компетентных органов всех стран, по территории которых осуществляется транспортирование таких РМ.

Для получения сертификата-разрешения на материал особого вида должна быть представлена информация о всех особенностях формы РМ, которые зависят от времени и в будущем могут повлиять на ее способность удовлетворять требованиям к РМОВ, указанным в пунктах 2.2.1 – 2.2.3 НП-053-16.

При разработке капсулы для материала специальной формы следует учитывать возможные процессы, влияющие на целостность капсулы. Например, возможно увеличение давления в капсуле, обусловленное появлением газообразных продуктов радиоактивного распада, например, накопление гелия, образующегося при α -распаде актинидов.

Предоставляемая заявителем информация должна позволить оценить последствия несоответствия конструкции типа В(М) требованиям к упаковкам типа В(У), а также определять, достаточно ли предложенных дополнительных мер для обеспечения безопасности при транспортировании. Дополнительные меры должны компенсировать несоответствия конструкции упаковки требованиям НП-053-16. При международных перевозках необходимо многостороннее утверждение конструкции упаковки типа В(М) компетентными органами всех стран, через которые или в которые такие упаковки перемещаются.

Особое внимание следует уделять анализу того, каким требованиям к упаковкам типа В(У) из пунктов 2.8.5 и 2.9.5 – 2.9.12 НП-053-16 конструкция упаковки не удовлетворяет. Предложенные дополнительные технические средства, меры эксплуатационного контроля или ограничения (иные, чем те, которые требуются в НП-053-16), применяемые для компенсации несоответствия вышеупомянутым требованиям, должны быть определены, описаны и обоснованы в полном объеме. Максимальные и минимальные условия окружающей среды по температуре и инсоляции, ожидаемые в ходе перевозки, должны быть определены и обоснованы с учетом регионов или стран, через которые планируется осуществлять перевозку, и соответствующих метеорологических данных. Дополнительные рекомендации можно найти в комментариях к пункту 2.10.1 НП-053-16.

Если для упаковок типа В(М) требуется производить периодический сброс давления, то при соответствующем обосновании должно быть представлено полное описание процедур и

методов контроля за сбросом давления. Дополнительные рекомендации можно найти в комментариях к пункту 2.10.2 НП-053-16.

Для всех конструкций упаковок, предназначенных для транспортирования ДМ (IF, AF, V(U)F, V(M)F и CF), при осуществлении международных перевозок многостороннее утверждение требуется главным образом из-за опасности возникновения критичности и вследствие необходимости поддержания подкритичности на всех этапах (участках) перевозки.

Необходимо чтобы конструкция упаковки для ДМ удовлетворяла требованиям как в отношении радиоактивных свойств, так и размножающих свойств содержимого упаковки. В отношении радиоактивных свойств упаковки классифицируются согласно определению упаковки (пункт 48 приложения № 1 к НП-053-16). Требуется утверждение конструкции упаковки, основанное в первую очередь на свойствах радиоактивности, а затем дополнительно необходимо обосновать возможность транспортирования содержимого упаковок с учетом его размножающих свойств. Упаковки и радиоактивное содержимое, которое полностью или частично освобождается от выполнения требований к ДМ, определены в пунктах 2.12.2, 2.12.13 и 2.12.14 НП-053-16.

При подготовке сертификата-разрешения следует учитывать возможное влияние массы, формы, физического состояния, химической формы или пространственного распределения содержимого каждой упаковки на ядерную безопасность (значение $K_{эфф}$). В сертификате-разрешении следует определять необходимые специальные методы контроля или испытания содержимого для подтверждения его характеристик до перевозки. Такие меры необходимы для контроля наличия и состояния извлекаемых поглотителей нейтронов или иных устройств, влияющих на критичность, которые будут загружены в упаковку перед отправкой (пункт 5.2.2 НП-053-16). В сертификате-разрешении следует определять или давать в виде ссылки критерий, которому должны удовлетворять результаты испытаний.

В сертификате-разрешении следует указывать все специальные условия размещения груза, которым необходимо следовать или которые не следует применять.

При осуществлении международных перевозок и необходимости многостороннего утверждения сертификатов-разрешений, как правило, в первую очередь сертификат-разрешение выдается компетентным органом страны-отправителя груза РМ. Компетентные органы иных стран могут либо выполнять отдельную оценку и экспертизу безопасности, либо использовать оценку, уже выполненную компетентным органом страны-отправителя груза РМ, и провести упрощенную процедуру утверждения сертификата-разрешения.

Последующие сертификаты-разрешения могут принимать одну из двух форм. Компетентный орган последующей страны может согласовывать и подтверждать первоначальный сертификат, включая определенный в этом сертификате контроль (многостороннее утверждение путем подтверждения первоначального сертификата). Утверждение путем подтверждения не требует каких-либо дополнительных опознавательных знаков компетентных органов как для идентификации сертификата-разрешения, так и для маркировки упаковок. Компетентный орган может также выпускать сертификат-разрешение, связанный с первоначальным сертификатом, но отдельный от него, причем этот последующий 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-разрешений.

4.1.3. Заявления на выдачу сертификатов-разрешений должны включать отчет по обоснованию безопасности, содержащий описание, позволяющее полностью идентифицировать объект

сертификации, и детальные обоснования соответствия конструкций радиоактивного материала особого вида, радиоактивного материала с низкой способностью к рассеиванию, делящегося материала, соответствующего подпункту «е» пункта 2.12.2 настоящих Правил, конструкций упаковок и условий перевозок требованиям настоящих Правил, в том числе могут включать конструкторскую и эксплуатационную документацию, расчетные обоснования, акты испытаний, а также соответствующие программы обеспечения качества, программы радиационной защиты, план организации работ по ликвидации последствий аварий, данные (отчеты) о выполненных перевозках (для заявки на пересмотр сертификата-разрешения) и другие соответствующие документы.

Комментарий

Заявления на выдачу сертификатов-разрешений, а также на их пересмотр и (или) внесение дополнений, должны включать всю необходимую информацию, на основании которой ГКО и другие федеральные органы исполнительной власти, согласующие сертификат, могут убедиться, что форма РМ или конструкция упаковки и условия их перевозок соответствуют требованиям НП-053-16. Практически вся требуемая информация обычно входит в состав конструкторской документации. В то же время по некоторым вопросам при разработке упаковочных комплектов полноте представляемой документации уделяется недостаточное внимание.

При разработке упаковочных комплектов в соответствующей документации могут недостаточно рассматриваться и оцениваться данные о свойствах и параметрах радиоактивного содержимого, для которого разрабатывается упаковочный комплект. Может быть не приведена информация 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.

С заявлением на получение сертификата-разрешения необходимо предоставить документы, обосновывающие соответствие требованиям безопасности, и всесторонне оценивать соответствие конструкции требованиям НП-053-16. В документах должен быть приведен полный перечень требований к конструкции в соответствии с НП-053-16 и по каждому пункту описаны способы обоснования безопасности и основные результаты проведенных испытаний и расчетов, выполненных с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке. При разработке упаковочных комплектов зачастую недостаточно внимания уделяется разработке программ обеспечения качества в ходе изготовления и эксплуатации упаковки. В то же время без таких программ не может быть уверенности в том, что изготовленные и эксплуатируемые упаковки соответствуют требованиям НП-053-16.

Принятая при разработке упаковочных комплектов система указания контрольных операций, проверок и т. д. на чертежах зачастую не дает возможности всесторонней и системной оценки степени надежности обеспечения качества. В частности, при этом не выделяются вопросы по степени их важности для безопасности.

Полный перечень нормативно-технической документации, требованиям которой должна соответствовать конструкция, позволяет всесторонне оценивать назначение конструкции и ее элементов.

С заявкой на утверждение необходимо предоставлять информацию, в которой продемонстрировано соответствие каждому требованию пунктов 2.12.1 и 2.12.4–2.12.12 НП-053-16. В

частности, должна быть представлена информация об экспериментах, расчетах или иных обосновывающих материалах, используемых для обоснования безопасности отдельной упаковки или партии упаковок.

Пункт 4.1.3 НП-053-16 определяет минимальный объем информации, который должен быть включен в заявление на утверждение, однако с заявлением следует направлять обосновывающие материалы в объеме, достаточном для проверки соответствия упаковки всем применимым требованиям НП-053-16.

Более подробно процедура выдачи сертификатов-разрешений описана в Административном регламенте предоставления государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» государственной услуги по выдаче сертификатов-разрешений на транспортирование (перевозку) ядерных материалов, РВ и изделий из них, на использование определенной конструкции ТУК радиоактивного вещества особого вида [76].

В конструкторской документации на упаковку необходимо также отражать вопросы управления ресурсом упаковки и предоставлять соответствующие рекомендации по управлению ресурсом. В состав эксплуатационной документации на упаковку рекомендуется также включать программу управления ресурсом упаковки и ее элементов в течение всего срока службы.

4.1.4. В тех случаях, когда конструкции упаковок и перевозка радиоактивных материалов не требуют выдачи сертификата-разрешения, грузоотправитель должен по запросу ГКО предоставлять документальное подтверждение соответствия конструкции упаковки и/или условий перевозок всем применимым требованиям настоящих Правил.

Комментарий

В НП-053-16 можно выделить случаи, когда требуется получение сертификатов-разрешений на конструкцию упаковки, и случаи, когда получение такого сертификата-разрешения не обязательно и достаточно получения сертификата-разрешения на осуществление перевозки РМ. Во всех случаях в НП-053-16 основная ответственность за соблюдение требований ФНП возлагается на перевозчика и грузоотправителя. Грузоотправителю следует обеспечить документацию, демонстрирующую соблюдение требований НП-053-16 путем выполнения расчетов с использованием ПС, прошедших экспертизу в установленном порядке, или проведением соответствующих испытаний.

При международных перевозках аналогичную информацию о конструкции упаковки необходимо предоставлять в компетентные органы стран по маршруту перевозки.

НП-053-16 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-053-16, которую несут разработчики, изготовители, пользователи упаковочных комплектов, а в конечном счете грузоотправители и перевозчики, и контроля со стороны надзорных и других государственных органов за выполнением соответствующих требований НП-053-16 и других документов (например, условий действия соответствующих лицензий).

В качестве документального подтверждения соответствия упаковки требованиям НП-053-16 в случае, если получение сертификата-разрешения не требуется, может использоваться некая форма «сертификата соответствия», в которой может содержаться следующая информация:

- тип упаковки;

- тип груза РМ;
- дата составления сертификата и его срок действия;
- ограничения, касающиеся транспортного средства (при необходимости);
- перечень нормативных документов, в соответствии с которыми осуществляется перевозка;
- чертеж упаковки с кратким описанием ее основных конструкционных материалов, указанием основных размеров и массы;
- описание радиоактивного содержимого, включая ограничения по его составу и количеству;
- ссылки на инструкции по эксплуатации упаковки, а также иную, необходимую грузоперевозчику документацию;
- дополнительные эксплуатационные требования к погрузке, укладке, перевозке, обращению, выгрузке упаковки или уведомление том, что таких требований не имеется;
- информацию о применении системы обеспечения качества;
- особые меры по противоаварийному реагированию (при необходимости);
- указания о том, что наличие данного документа не освобождает грузоперевозчика от выполнения любого требования правительства любой страны, в которую или через территорию которой будет перемещаться упаковка;
- подпись ответственного лица.

4.2. Типы и обозначения сертификатов-разрешений

4.2.1. Сертификат-разрешение на конструкцию упаковки и сертификат-разрешение на перевозку могут быть объединены в один сертификат-разрешение.

Комментарий

В НП-053-16 есть концептуальное различие между утверждением конструкции упаковки и утверждением перевозки в ней груза РМ. Однако существует возможность выдачи объединенного сертификата-разрешения на конструкцию и перевозку упаковки. В таком случае сертификатам-разрешениям необходимо присваивать соответствующий код.

Следует отметить, что оформление сертификатов-разрешений на конструкцию и перевозку рекомендуется осуществлять в случае, если в течение времени эксплуатации упаковки не планируется изменений грузоотправителя, грузополучателя, грузоперевозчика, типа транспортных средств и других параметров перевозки. Однако если вышеупомянутые параметры не известны заранее, рекомендуется оформлять отдельные сертификаты-разрешения на конструкцию и перевозку.

4.2.2. Сертификат-разрешение должен иметь дату выдачи, срок действия и опознавательный знак обобщенного вида:

- RUS/номер/код типа, где RUS — международный опознавательный код регистрации транспортных средств Российской Федерации;

- номер — номер, присваиваемый при выдаче сертификата-разрешения (каждая конструкция или перевозка (серия перевозок) должны иметь свой индивидуальный номер, номер опознавательного знака утверждения перевозки должен соответствовать номеру опознавательного знака утверждения конструкции);
- код типа — обозначение типа сертификата-разрешения.

Комментарий

В НП-053-16 установлено, какую основную информацию должен содержать сертификат-разрешение. Наряду со ссылкой на необходимые национальные и международные правила, в каждом сертификате-разрешении следует ссылаться на соответствующее издание Правил безопасной перевозки РМ, поскольку они являются международно-признанными нормами. В таблице ниже представлены международные опознавательные коды регистрации транспортных средств (VRI [23]), используемые в опознавательном знаке компетентного органа.

Таблица. Опознавательные коды регистрации транспортных средств (VRI-коды)

Страна	Код	Страна	Код
Австралия	AUS	Гана	GH
Австрия	A	Гватемала	GCA
Албания	AL	Германия	D
Алжир	DZ	Греция	GR
Ангола	AO	Грузия	GE ^a
Аргентина	RA	Дания	DK
Армения	AM ^a	Демократическая Кампучия	KN ^b
Афганистан	AFG	Демократическая Республика Конго	RCB
Бангладеш	BD	Доминиканская Республика	DOM
Беларусь	BEL	Египет	ET
Бельгия	B	Замбия	Z
Бенин	DY	Зимбабве	ZW
Болгария	BG	Израиль	IL
Боливия	BOL	Индия	IND
Босния и Герцеговина	BIH	Индонезия	RI
Бразилия	BR	Иордания	HKJ

Страна	Код	Страна	Код
Буркина-Фасо	BF	Ирак	IRQ
Ватикан	VA	Ирландия	IRL
Великобритания	GB	Исламская Республика Иран	IR
Венгрия	H	Исландия	IS
Венесуэла	YV	Испания	E
Вьетнам	VN	Италия	I
Габон	GA	Йемен	YE
Гаити	RH	Казахстан	KK
Камбоджа	K	Нидерланды	NL
Камерун	CM	Никарагуа	NIC
Канада	CDN	Новая Зеландия	NZ
Катар	QA	Норвегия	N
Кения	EAK	ОАЭ	SV
Кипр	CY	Пакистан	PAK
Китай	CN	Панама	PA
Колумбия	CO	Парагвай	PY
Корейская Народная Демократическая Респуб- лика	KP	Перу	PE
Коста-Рика	CR	Польша	PL
Кот-д'Ивуар	CI	Португалия	P
Куба	C	Республика Корея	ROK
Кувейт	KWT	Республика Молдова	MOL
Латвия	LV	Российская Федерация	RUS
Либерия	LB	Румыния	R
Ливан	RL	Сальвадор	ES
Ливийская Арабская Джа- махирия	LAR	Саудовская Аравия	SA

Страна	Код	Страна	Код
Литва	LT	Сенегал	SN
Лихтенштейн	FL	Сингапур	SGP
Люксембург	L	Сирийская Арабская Республика	SYR
Маврикий	MS	Словакия	SK
Мадагаскар	RM	Словения	SLO
Македония, Бывшая Югославская Республика	MK	Судан	SUD
Малайзия	MAL	США	USA
Мали	RMM	Сьерра-Леоне	WAL
Мальта	M	Таиланд	T
Марокко	MA	Танзания	EAT
Маршалловы острова	PC	Тунис	TN
Мексика	MEX	Турция	TR
Монако	MC	Уганда	EA
Монголия	MN	Узбекистан	US
Мьянма	BUR	Украина	UA
Намибия	SWA	Уругвай	U
Нигер	RN	Федеративная Республика Югославия	YU
Нигерия	WAN	Филиппины	RP
Финляндия	FIN	Шри-Ланка	CL
Франция	F	Эквадор	EC
Хорватия	HR	Эстония	EW
Чешская Республика	CZ	Эфиопия	ETH
Чили	RCH	ЮАР	ZA
Швейцария	CH	Ямайка	JA
Швеция	S		

Примечания

а) при отсутствии кода VRI приведен код ISO;

б) Камбоджа ранее была известна как Демократическая Кампучия.

Важно, чтобы по опознавательному знаку было легко определять, на основе какого издания НП-053-16 было выдано первоначальное утверждение конструкции упаковки. Это может быть достигнуто добавлением символа «-96».

Пример:

Издание НП-053-16	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

Эта технология добавления символа может продолжать использоваться, если последующие издания Правил будут поддерживать существующие коды типов упаковок.

Серийные номера упаковочных комплектов должны однозначно определять каждый изготовленный упаковочный комплект. Компетентные органы следующих стран должны быть осведомлены об этом серийном номере:

- страна, где конструкция упаковки была первоначально разработана;
- страна, где упаковочный комплект был изготовлен;
- страна или страны, где упаковка используется.

Кроме того, всем компетентным органам, вовлеченным в процесс многостороннего утверждения, должна направляться информация о серийных номерах упаковочных комплектов.

4.2.3. Для обозначения типа выданных сертификатов-разрешений применяются следующие коды:

IF — конструкция промышленных упаковок с делящимся материалом;

A — конструкция упаковок типа A (AF для упаковок типа A с делящимся материалом);

B(U) — конструкция упаковки типа B(U) (B(U)F для упаковок типа B(U) с делящимся материалом);

B(M) — конструкция упаковки типа B(M) (B(M)F для упаковок типа B(M) с делящимся материалом);

C — конструкция упаковок типа C (CF для упаковок типа C с делящимся материалом);

S — радиоактивный материал особого вида;

T — перевозка;

X — специальные условия перевозки;

LD — радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию;

FE — делящийся материал, отвечающий требованиям подпункта «е» пункта 2.12.2;

AL — альтернативные пределы активности для груза, включающего приборы или изделия (пункт 3 приложения № 2 к настоящим Правилам).

Для упаковок с гексафторидом урана, не относящимся к делящимся материалам, когда не применяется ни один из кодов, указанных выше, за исключением упаковок типа А, применяются следующие коды:

H(U) — в случае одностороннего утверждения;

H(M) — в случае многостороннего утверждения.

В сертификатах-разрешениях на радиоактивный материал особого вида, на радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию и на конструкцию упаковки, удовлетворяющую требованиям настоящих Правил, к коду типа конструкции упаковки добавляют «-96», что обозначает соответствие конструкции упаковки требованиям Правил безопасной перевозки радиоактивных материалов Международного агентства по атомной энергии (Вена: МАГАТЭ, 2012. — ISBN 978-92-0-133310-0) (далее — Правила МАГАТЭ).

Комментарий

Для обозначения сертификатов-разрешений используется латинский алфавит с целью гармонизации с международными требованиями.

Применяя и интерпретируя коды сертификатов-разрешений, 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 V(U), тип V(M) или тип C) либо о возможном присутствии ДМ в упаковке, либо о других конкретных аспектах сертификата-разрешения (например, для специальных условий, для перевозки, для содержимого в виде РМОВ, РМ с низкой способностью к рассеянию, или неделиющегося либо делящегося освобожденного гексафторида урана). Конкретно появление в коде, например, V(U)F, не означает обязательного наличия ДМ в данной упаковке, а лишь то, что они там могут присутствовать.

Применение кодов H(U) и H(M) для упаковок с гексафторидом урана не относящегося к ДМ в количествах, превышающих 0,1 кг, обусловлено тем, что классификация таких упаковок была введена в Правила безопасной перевозки МАГАТЭ на три года раньше, чем введены специальные требования к конструкции и испытаниям таких упаковок. Так, изначально новая категория упаковок требовала многостороннего утверждения конструкции таких упаковок, в то время как сейчас достаточно одностороннего утверждения таких упаковок. Этот шаг был предпринят для гарантии выявления в процессе выдачи сертификатов-разрешений конструкций, которые не удовлетворяют всем новым требованиям.

Тем не менее в настоящее время для упаковок, которые удовлетворяют требованиям к упаковкам, содержащим больше 0,1 кг гексафторида урана, может потребоваться многостороннее утверждение по иным причинам, в том числе в случае перевозки гексафторида урана, не освобожденного от требований к ДМ.

Примеры опознавательных знаков

- RUS/139/IF-96 — сертификат-разрешение, выданный в Российской Федерации, на конструкцию промышленной упаковки для ДМ, которой присвоен номер конструкции 139

(опознавательный знак проставляется как на упаковке, так и в сертификате-разрешении на конструкцию упаковки);

- RUS/145/H(U)-96 — сертификат-разрешение, выданный в Российской Федерации, на конструкцию упаковки для освобожденного ДМ в виде гексафторида урана, которой присвоен номер конструкции 145 (опознавательный знак проставляется как на упаковке, так и в сертификате-разрешении на конструкцию упаковки).

4.2.4. Каждый сертификат-разрешение и каждая упаковка, за исключением освобожденных упаковок, должны иметь опознавательный знак, содержащий коды, указанные в пункте 4.2.3, за исключением кодов Т и Х, которые на упаковке не проставляются. Если утверждение конструкции и перевозки объединено в один сертификат-разрешение, соответствующие коды повторно указывать не следует.

Комментарий

Маркировка с серийным номером требуется для обеспечения качества при эксплуатации и обслуживании каждого упаковочного комплекта, а также для организации контроля выполнения необходимых действий для каждого упаковочного комплекта.

Коды Т и Х относятся к условиям перевозки, которые могут меняться при каждом транспортировании.

Примеры опознавательных знаков

RUS/100/B(M)-96 — сертификат-разрешение, выданный в Российской Федерации, на конструкцию упаковки типа B(M), которой присвоен номер конструкции 100 (опознавательный знак проставляется как на упаковке, так и в сертификате-разрешении на конструкцию упаковки);

RUS/100/B(M)-96T — сертификат-разрешение, выданный в Российской Федерации, на перевозку упаковки, имеющей опознавательный знак, описанный выше (опознавательный знак проставляется только в сертификате-разрешении на перевозку упаковки или в объединенном сертификате-разрешении);

RUS/100/X — утверждение перевозки упаковки в специальных условиях (опознавательный знак проставляется только в сертификате-разрешении на перевозку упаковки или в объединенном сертификате-разрешении).

4.2.5. Каждый сертификат-разрешение на конструкцию, на которую ранее был выдан сертификат-разрешение другой страны, должен иметь соответствующий опознавательный знак, а упаковка, конструкция которой утверждается таким образом, должна иметь все соответствующие опознавательные знаки.

Комментарий

В качестве примера опознавательного знака упаковки, которая первоначально была утверждена Республикой Австрия, а затем утверждена ГКО Российской Федерации посредством выдачи отдельного сертификата-разрешения можно привести:

- A/132/B(M)F-96;
- RUS/28/B(M)F-96.

На упаковку помещаются оба вышеуказанных опознавательных знака.

4.2.6. Сведения о пересмотре сертификата-разрешения указываются в скобках после опознавательного знака. Менять опознавательный знак на упаковке при каждом пересмотре сертификата-разрешения на данную конструкцию не требуется, кроме случаев, когда пересмотр сертификата-разрешения влечет за собой изменение буквенных кодов конструкции упаковки после второй косой черты.

Комментарий

При выпуске дополнения к сертификату-разрешению обязательно указывается обозначение основного сертификата-разрешения.

Срок действия дополнения не может превышать срок действия основного сертификата-разрешения. Например, опознавательный знак RUS/100/B(M)-96(Add.1) обозначает первое дополнение к сертификату-разрешению на конструкцию упаковки.

4.2.7. Дополнительные символы могут быть проставлены в скобках.

Комментарий

В качестве дополнительных символов могут быть символы, обозначающие другие опасные свойства РМ, например, токсичность, спецсимволы эксплуатирующей организации и др., например:

RUS/132/B(M)F-96(SP503).

4.2.8. Сертификаты-разрешения выдаются на срок не более пяти лет.

Комментарий

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 пяти лет при пересмотре.

4.2.9. Срок действия сертификатов-разрешений продлевается путем пересмотра сертификатов-разрешений.

Комментарий

При продлении срока действия сертификата-разрешения к опознавательному знаку добавляется пометка в скобках. Например, опознавательный знак RUS/100/B(M)-96(Rev.1) обозначает первый пересмотр сертификата-разрешения на конструкцию упаковки типа B(M).

4.3. Порядок использования ранее разработанных или изготовленных радиоактивных материалов особого вида и упаковочных комплектов

4.3.1. Радиоактивный материал особого вида, изготовленный до 5 января 2005 г., может продолжать использоваться в соответствии с выданными на него сертификатами-разрешениями при условии принятия программы обеспечения качества согласно требованиям пункта 1.2.7 и соответствующим требованиям нормативно-правовых актов по обеспечению качества. При пересмотре согласно установленным срокам действия таких сертификатов-разрешений заявитель должен представить соответствующие программы обеспечения качества.

Комментарий

Пункт 4.3.1 НП-053-16 устанавливает переходные положения для РМОВ, на который сертификат-разрешение был выдан до 5 января 2005 г. Проведение мероприятий по программам обеспечения качества необходимо для подтверждения использования РМОВ только при условии выполнения требований НП-053-16. В первую очередь необходимо обеспечить применение мер по обеспечению качества к деятельности после изготовления материала (обслуживание, обращение, модификация и использование РМОВ). Область переходных положений НП-053-16 распространяется только на требования для некоторых РМОВ. Во всех других аспектах, например, в отношении общих положений, требований к контролю перевозки, включая пределы для груза и перевозочного средства, утверждения (сертификации) и требований к документации, применяются соответствующие положения НП-053-16.

4.3.2. Ранее изготовленные упаковочные комплекты, для конструкции которых в соответствии с настоящими Правилами не требуется наличия сертификата-разрешения, могут оставаться в эксплуатации при условии принятия в отношении них обязательной программы обеспечения качества согласно требованиям пункта 1.2.7 настоящих Правил и соответствующим требованиям нормативных документов по обеспечению качества, а также соблюдения указанных в главах II и V настоящих Правил пределов активности и ограничений в отношении радиоактивных материалов.

Комментарий

Упаковки, не требующие утверждения конструкции ГКО, основанные на ранее действовавших НП-053-04, также могут продолжать оставаться в эксплуатации в Российской Федерации при условии принятия в отношении них систем обеспечения качества и соблюдения пределов активности согласно НП-053-16.

Пункт 4.3.2 введен в НП-053-16 для возможности эксплуатации существующих упаковок в ограниченный период времени после публикации, в течение которого конструкция упаковок может быть проверена и (при необходимости) модернизирована для обеспечения полного соответствия требованиям НП-053-16. В тех случаях, когда такие проверки и (или) модификации оказывались неэффективными, переходный период обеспечивал время для вывода из эксплуатации старых упаковок и введения в эксплуатацию новых, конструкция которых удовлетворяет требованиям новых правил. Упаковки, подготовленные в соответствии со старыми требованиями, в некоторых случаях находятся на хранении в течение многих лет перед дальнейшей перевозкой. Это, в частности, может касаться промышленных упаковок, содержащих РАО и ожидающих перевозки в пунктах временного хранения.

Пункт 4.3.2 НП-053-16 придает особое значение требованию о применении мер по обеспечению качества. В первую очередь необходимо обеспечить применение мер по обеспечению качества на этапах эксплуатации упаковок после их изготовления, таких как техническое обслуживание, текущий ремонт, модернизация и эксплуатация упаковок.

Область действия мер переходного характера в НП-053-16 распространяется только на требования к определенным упаковочным комплектам и упаковкам. Во всех других аспектах, например, в отношении общих положений, требований к контролю перевозки, включая пределы для груза и транспортного средства, а также утверждения (сертификации) и требований к документации, применяются соответствующие положения НП-053-16.

В отличие от SSR-6 [8] в НП-053-16 не установлены крайние сроки использования упаковок, сконструированных до введения в действие НП-053-16. В общем случае полагается, что такие

упаковки могут использоваться до окончания срока их службы. Продление срока эксплуатации упаковок должно осуществляться в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии» (НП-024-2000) [78]. Для международных перевозок такие упаковки должны проходить многостороннее утверждение согласно Правилам МАГАТЭ.

4.3.3. Ранее изготовленные упаковочные комплекты, для конструкции которых необходимо наличие сертификата-разрешения, могут оставаться в эксплуатации в соответствии с условиями и сроками выданных (пересматриваемых) на них сертификатов-разрешений при условии соблюдения указанных в приложении № 2 и главе V настоящих Правил пределов активности и ограничений в отношении радиоактивных материалов.

Комментарий

После принятия Правил МАГАТЭ издания 1985 г. упаковки, требующие утверждения компетентного органа (упаковки типа В(U), В(M) и конструкции упаковок для ДМ) и разработанные на основе Правил МАГАТЭ издания 1967, 1973 и издания 1973 г. (исправленного), были разрешены к использованию при условии введения определенных ограничений на изготовление новых упаковок, дополнительных требований к маркировке таких упаковок серийными номерами и многостороннего утверждения их конструкций. Это позволило использовать упаковки до окончания срока их эксплуатации, определенного проектантом, при условии правильного содержания и использования, 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 издания 1985 г. 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. Аналогичный подход принят и в НП-053-16.

Область действия положений переходного периода в НП-053-16 распространяется только на требования к конструкции упаковочных комплектов и упаковок. Во всех других аспектах, например, в отношении общих положений, требований к контролю перевозки, включая пределы для груза и транспортного средства, а также утверждения (сертификации) и административных требований, применяются соответствующие положения НП-053-16.

Условием продолжения использования упаковок, утвержденных на основе требований ПБТРВ-73 (Правил МАГАТЭ-73), начиная с момента ввода в действие НП-053-04 (Правил МАГАТЭ-96), и введенных взамен них НП-053-16 (SSR-6 [8]), для международных перевозок служит многостороннее утверждение конструкции для предоставления компетентным органам возможности установления рамок, в пределах которых возможно использование существующих упаковок. При этом не допускается изготовление новых упаковочных комплектов такой конструкции.

Любые изменения первоначальной конструкции упаковки, увеличение активности содержимого или перевозка РМ других типов, которые могут значительно и отрицательно повлиять на безопасность, должны быть согласованы с проектантом упаковки и требуют повторной оценки конструкции ГКО. К существующим изменениям можно также отнести увеличение массы содержимого, изменения конструкции крышки упаковки, изменения конструкции демпферов, изменения тепловой и радиационной защиты, а также изменения физической формы радиоактивного содержимого и его фазового состояния.

При применении пунктов по использованию старых упаковок первоначальный опознавательный знак и код, первоначально присвоенные компетентным органом страны происхождения конструкции, согласно Правилам МАГАТЭ-96, должны оставаться как на упаковках, так и в сертификатах-разрешениях об утверждении конструкции, несмотря на то что эти упаковки становятся объектом многостороннего утверждения. Это значит, что упаковки, первоначально маркированные как тип V(U) или тип V(U)F, согласно ПБТРВ-73 или ОПБЗ-83 или Правилам МАГАТЭ издания 1973 г., (аналогично V(U)-85 или тип V(U)F-85 согласно Правилам МАГАТЭ издания 1985 г.), не должны перемаркироваться ни на тип V(M)-96, ни на тип V(M)F-96 при их использовании согласно положениям пункта 4.3.3 НП-053-16. Такая мера принята для того, чтобы подобные упаковки были отчетливо идентифицированы как старые.

4.3.4. Для упаковочных комплектов с делящимися материалами при перевозке воздушным транспортом, кроме требований по пункту 4.3.3, необходимо выполнение требований пункта 2.12.11.

Комментарий

Требования пункта 2.12.11 НП-053-16 устанавливают требования к конструкции упаковки с ДМ при перевозке воздушным транспортом, согласно которым упаковка должна оставаться подкритичной после испытаний для упаковок типа С, включая испытание на столкновение с мишенью при скорости не менее 90 м/с. Данное требование отсутствовало в предыдущих редакциях Правил (ПБТРВ-73 или ОПБЗ-83), в связи с чем для использования старых упаковок, имеющих сертификаты-разрешения на перевозку воздушным транспортом, необходимо дополнительное подтверждение выполнения требований пункта 2.12.11 НП-053-16.

4.3.5. Перевозки радиоактивных материалов, для которых согласно ранее действовавшим федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии по безопасности транспортирования радиоактивных материалов не требовалось получение сертификатов-разрешений и для которых в соответствии с настоящими Правилами требуется оформление сертификатов-разрешений или утверждение (согласование) (пункт 4.1.1), могут начать осуществляться без оформления таких сертификатов-разрешений, утверждений (согласований) в течение 6 месяцев после вступления в силу настоящих Правил.

Комментарий

В первую очередь данное требование относится к упаковкам, предназначенным для перевозки небольших количеств ДМ, так как в НП-053-16 в значительной мере пересмотрены положения по освобождению упаковок от требований к упаковкам с ДМ. В связи с этим для ряда упаковок, которые освобождались от требований к ДМ, может потребоваться получение или изменение сертификата-разрешения. Также может потребоваться утверждение конструкции или перевозки в связи с изменением пределов по активности отдельных нуклидов в упаковке. Для предоставления достаточного времени, необходимого для учета новых положений, в НП-053-16 установлен срок, в течение которого необходимо привести документацию на перевозку ДМ в соответствие с требованиями действующих ФНП.

4.3.6. При любом изменении конструкции упаковочного комплекта или свойств и количества радиоактивного содержимого, которые оказывают влияние на безопасность, должны полностью выполняться требования настоящих Правил.

Комментарий

Модернизация упаковки с целью приведения в соответствие с действующими ФНП, а также изменение свойств перевозимых РМ, не должны приводить к увеличению возможного радиационного воздействия на персонал и население, увеличению температуры поверхности упаковки или увеличению $K_{эфф}$, которые приводят к невыполнению положений НП-053-16 для обычных, нормальных и аварийных условий перевозки. Таким образом, изменение активности возможно только в сторону ее уменьшения, а любые изменения в конструкции упаковки следует согласовывать с проектантом упаковки.

4.3.7. Перевозка упаковок, содержащих делящийся материал в количестве не более 15 г в упаковке или не более 5 г в любом 10-литровом объеме вещества, подготовленных к перевозке не позднее 6 месяцев после вступления в силу настоящих Правил, может быть осуществлена как перевозка «неделящегося или делящегося освобожденного материала» на условиях исключительного использования. При этом должны быть выполнены следующие условия:

наименьший внешний размер каждой упаковки составляет не менее 10 см;

предел массы для груза определяется по формуле:

$$\frac{\text{масса урана} - 235, \text{ г}}{X} + \frac{\text{масса другого делящегося материала}}{Y} < 1,$$

где X и Y — пределы массы, определенные в таблице № 12 приложения № 4;

бериллий не присутствует в количествах, превышающих 1 % от применимых пределов массы груза, приведенных в таблице № 12 приложения № 4 к настоящим Правилам, за исключением тех случаев, когда концентрация бериллия в материале не превышает 1 г бериллия на любые 1000 г;

дейтерий также не присутствует в количествах, превышающих 1 % от применимых пределов массы груза, приведенных в таблице № 12 приложения № 4 к настоящим Правилам, за исключением тех случаев, когда дейтерий присутствует в концентрации, не превышающей его естественной концентрации в водороде.

Комментарий

Введенные в НП-053-16 ограничения содержания делящихся нуклидов в упаковках, освобожденных от требований к ДМ, уменьшены приблизительно в десять раз по сравнению с предыдущей редакцией. Данные изменения вызваны необходимостью учета возможного риска неконтролируемого накопления упаковок с такими материалами на транспортном средстве. Для компенсации несоответствия указанным требованиям в пункте 4.3.7 НП-053-16 приведены дополнительные меры для упаковок, освобожденных от требований к ДМ, в соответствии со старой редакцией НП-053-04. Параметры X и Y существенно меньше минимальных критических масс ДМ, смешанного с любыми водородсодержащими веществами, что заведомо обеспечивает подкритичность груза.

V. Требования к перевозке и временному (транзитному) хранению радиоактивных материалов

5.1. Общие положения

5.1.1. Перевозка радиоактивных материалов осуществляется в соответствии с правилами (инструкциями) перевозки грузов (опасных грузов), действующими на различных видах транспорта. Обеспечение радиационной и ядерной безопасности при перевозке должно осуществляться (грузоотправителем, грузополучателем и перевозчиком в соответствии с их компетенцией) согласно требованиям настоящих Правил.

Комментарий

При международных перевозках РМ необходимо руководствоваться соответствующими разделами сводов правил перевозок опасных грузов на каждом из видов транспорта, в частности:

- морской транспорт: «Международный кодекс морской перевозки опасных грузов» [2], разработанный Международной морской организацией на основании предписаний Конвенции о спасении человеческой жизни на море (Конвенции СОЛАС);
- воздушный транспорт: «Технические инструкции по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху», разработанные Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) (Технические инструкции ИКАО) [1];
- автомобильный транспорт: «Европейское соглашение о дорожной перевозке опасных грузов в международном сообщении (ADR)», к которому приложены Правила ДОПОГ [4];
- железнодорожный транспорт: «Правила перевозок опасных грузов» (приложение 2 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении), разработанные под эгидой Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД);
- внутренний водный транспорт: «Европейское соглашение о перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ANDR)» (Европейское соглашение ANDR) [79].

В России вышеуказанные правила действуют в следующем виде:

- для морского транспорта: положения ММОГ [2] 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» [1] распространяются как на внутренние, так и на международные перевозки;
- для автомобильного транспорта: для внутренних перевозок действуют национальные правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, а для международных перевозок по территории России — Правила ДОПОГ [4];
- для перевозок по внутренним водам (рекам и озерам): действует Европейское соглашение ANDR [79].

5.1.2. Перевозочные средства, грузовые контейнеры, КСГМГ, цистерны и транспортные пакеты, используемые для перевозки радиоактивного материала, не должны использоваться для хранения или перевозки других грузов, если только они не очищены от бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности ниже уровня $0,4 \text{ Бк/см}^2$, а также от всех других альфа-излучателей ниже уровня $0,04 \text{ Бк/см}^2$. Отсутствие радиоактивного загрязнения должно подтверждаться результатами радиационного контроля.

Другие условия их использования для перевозки нерадиоактивных грузов определяются правилами перевозки грузов (опасных грузов), действующими на соответствующих видах транспорта.

Комментарий

Цель этого требования состоит в том, чтобы предотвращать радиоактивное загрязнение других грузов. Требование данного пункта НП-053-16 не распространяется на транспортные пакеты, грузовые контейнеры, резервуары и контейнеры средней грузоподъемности для массовых грузов, если они не имеют радиоактивного загрязнения.

См. также комментарии к пунктам 5.3.10 и 5.3.11 НП-053-16.

5.1.3. Для некоторых перевозок радиоактивных материалов могут использоваться специальные перевозочные средства, предназначенные только для перевозки радиоактивных материалов в целом и (или) конкретных видов радиоактивных материалов. Специальные перевозочные средства не разрешается использовать для перевозки пищевых продуктов и людей. Другие грузы на этих средствах допускается перевозить при выполнении требований пункта 5.1.2 настоящих Правил.

При использовании специальных перевозочных средств или специально дооборудованных перевозочных средств, которые предназначены только для перевозки радиоактивных материалов, согласование и утверждение конструкции таких перевозочных средств и их допуск к эксплуатации осуществляются в установленном порядке.

Комментарий

Общий подход к по выбору транспортных средств (пассажирских, грузовых, специальных) основан, помимо факторов производственного и экономического характера, на степени потенциальной опасности груза, которая выражается в величинах уровня излучения, ТИ упаковок и группы упаковок, а также в уровне их радиоактивного загрязнения.

При предоставлении для перевозки 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 общее пользование загрязненных транспортных средств.

5.1.4. Перевозка грузов в специальных условиях для всех видов транспорта должна осуществляться только с выделением сопровождающего персонала и назначением ответственного за сопровождение грузов.

Комментарий

При транспортировании РМ в специальных условиях возникают повышенные риски для населения по сравнению с обычными перевозками. Данное обстоятельство требует выделения

специально обученного персонала для наблюдения за состоянием груза РМ и контроля правильности перевозки.

5.1.5. Ответственный за сопровождение груза при перевозке в специальных условиях должен иметь доверенность или иной документ грузоотправителя на право сопровождения груза и документы, удостоверяющие его компетентность (обучение) в обращении с радиоактивными материалами, выданные в порядке, установленном ГКО.

Ответственный за сопровождение груза при перевозке в специальных условиях должен быть подготовлен по специальной программе, уметь пользоваться дозиметрическими и радиометрическими приборами и производить ими необходимые измерения, а также уметь правильно оценивать радиационную обстановку, которая может сложиться при перевозке радиоактивных материалов.

Если лицо, ответственное за сопровождение груза при перевозке в специальных условиях, не обучено правилам пользования дозиметрическими и радиометрическими приборами, то для этих целей грузоотправителем (грузополучателем) в обязательном порядке должен выделяться дозиметрист.

Комментарий

Персонал, сопровождающий груз РМ, должен действовать в соответствии с заранее разработанной инструкцией для сопровождающего персонала. Кроме того, персонал, сопровождающий груз РМ, должен быть снабжен средствами индивидуальной защиты, а также средствами устранения неисправностей специального оборудования транспортного средства и средствами тушения пожара, дезактивации и дегазации (в случае необходимости). Помимо этого, следует обеспечить наличие работоспособных средств связи.

5.1.6. Упаковка не должна содержать других предметов, кроме предметов и документов, необходимых для использования радиоактивного материала. Это требование не препятствует перевозке радиоактивных материалов с низкой удельной активностью или объектов с поверхностным радиоактивным загрязнением вместе с другими предметами. Перевозка таких предметов и документов в упаковке или перевозка радиоактивных материалов с низкой удельной активностью, или объектов с поверхностным радиоактивным загрязнением совместно с другими предметами может разрешаться при условии, что обеспечено отсутствие их взаимодействия с упаковочным комплектом или с его радиоактивным содержимым, которое уменьшило бы безопасность упаковки.

Комментарий

Посторонние предметы, находящиеся в упаковке при транспортировании РМ типа НУА или ОПРЗ, должны быть отделены от РМ, так как поверхностное загрязнение от РМ может передаваться предметам, которые не являются РМ. Выполнение данного требования позволит исключить контакт между РМ и другими предметами в упаковке, который мог бы привести к образованию в упаковке РАО.

5.1.7. Упаковочные комплекты для перевозки радиоактивных материалов, за исключением средств, указанных в пункте 5.1.2 настоящих Правил и используемых в качестве упаковок, не должны использоваться для хранения или перевозки других нерадиоактивных грузов.

Комментарий

Выполнение данного требования исключает загрязнение нерадиоактивных грузов в случае их транспортирования в упаковке для РМ.

5.1.8. На перевозочных средствах могут перевозиться упаковки с радиоактивными материалами совместно с другими грузами в соответствии с правилами перевозки опасных грузов, действующими на соответствующих видах транспорта.

Комментарий

НП-053-16 в целом не запрещают совместную перевозку упаковок с РМ и других грузов (в том числе опасных) на одном транспортном средстве. При совместной перевозке РМ и других опасных грузов должны дополнительно выполняться требования правил перевозок опасных грузов, действующих на различных видах транспорта.

Опасные грузы могут вступать в реакцию друг с другом. Это может произойти, например, в результате утечки коррозионного вещества или взрыва. Чтобы свести 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.

См. также комментарии к пункту 1.2.9 НП-053-16.

5.1.9. Загрузка упаковочных комплектов радиоактивными материалами, их подготовка к отправке и загрузка на перевозочное средство, а также аналогичные операции при выгрузке должны производиться в соответствии с руководством по эксплуатации данного упаковочного комплекта и перевозочного средства. Ответственный за сопровождение груза имеет право проверять правильность выполнения грузоотправителем требований данных руководств.

Комментарий

В руководстве по эксплуатации упаковки могут содержаться требования к кантованию, креплению и установке упаковки в транспортном средстве, а также другие положения, выполнение которых должно обеспечивать выполнение требований НП-053-16.

5.1.10. Запланированные перегрузки грузов радиоактивных материалов в процессе перевозки должны производиться по возможности непосредственно с одного перевозочного средства на другое без временного (транзитного) хранения таких грузов.

В местах перегрузки груза не допускается нахождение посторонних лиц.

При осуществлении временного (транзитного) хранения должны быть выполнены требования подраздела 5.7.

Комментарий

Перегрузка упаковки с одного транспортного средства на другое без временного хранения освобождает от необходимости выполнения требований к транзитному хранению, установленных в пункте 5.7 НП-053-16, а также минимизировать количество ТТО.

5.1.11. Загрузка и разгрузка специальных перевозочных средств, а также эти операции при перевозке на условиях исключительного использования и в специальных условиях перевозки осуществляются силами и средствами грузоотправителя (грузополучателя) или по их указаниям. При привлечении сил и средств других предприятий технология перегрузочных работ и

соответствующие положения программы радиационной защиты должны быть согласованы с этими предприятиями.

Комментарий

Данный пункт НП-053-16 относится только к работам со специальными транспортными средствами и при перевозках на условиях исключительного использования или в специальных условиях, когда перевозка связана с повышенной опасностью. При перевозках в обычных условиях загрузка и разгрузка осуществляются в соответствии с правилами перевозок опасных грузов, действующими на различных видах транспорта.

5.1.12. Перед первой перевозкой радиоактивных материалов по конкретному сертификату-разрешению упаковок типа В(U), В(M) и С, а также упаковок с делящимися материалами грузоотправитель должен направить уведомление в организацию, утвердившую этот сертификат-разрешение.

О каждой перевозке, указанной ниже, грузоотправитель также уведомляет организацию, утвердившую соответствующий сертификат-разрешение:

а) упаковка типа В(U), содержащая радиоактивный материал с активностью, превышающей $3000A_1$ или $3000A_2$ (по применимости), или 1000 ТБк – в зависимости от того, какое из значений меньше;

б) упаковка типа С, содержащая радиоактивный материал с активностью, превышающей $3000A_1$ или $3000A_2$ (по применимости), или 1000 ТБк – в зависимости от того, какое из значений меньше;

в) упаковка типа В(M);

г) перевозка в специальных условиях.

Уведомления должны поступать не менее чем за 7 суток до перевозки.

Комментарий

Организация, утверждающая сертификаты-разрешения, является также органом, ответственным за обеспечение ядерной и радиационной безопасности при транспортировании (ГКО). В связи с вышесказанным ГКО должен быть в курсе начала перевозок новых типов упаковок, содержащих большое количество РМ, которыми являются упаковки типа В и С, а также новых упаковок с ДМ. Также следует каждый раз уведомлять ГКО о перевозках в специальных условиях.

Грузоотправитель не обязан ждать подтверждения от ГКО о получении уведомлений.

5.1.13. Уведомления, предоставляемые согласно пункту 5.1.12 настоящих Правил, должны включать:

а) информацию, необходимую для идентификации упаковки, включая все соответствующие номера (опознавательные знаки) сертификатов-разрешений;

б) информацию о дате перевозки, ожидаемой дате прибытия и предполагаемом маршруте.

Комментарий

Указанная в данном пункте информация позволит ГКО подготовиться на случай возможных аварийных ситуаций при транспортировании большого количества РМ в новой упаковке либо при перевозках в специальных условиях.

5.1.14. В случае нарушения любого предела, установленного настоящими Правилами, в части уровня излучения или радиоактивного загрязнения (далее – нарушение):

а) грузоотправитель, грузополучатель, перевозчик и любая организация, участвующая в перевозке, интересы которой могут быть затронуты, должны быть информированы о нарушении:

- грузоотправителем, если нарушение выявлено при отправке;
- перевозчиком, если нарушение выявлено во время перевозки;
- грузополучателем, если нарушение выявлено при получении;

б) грузоотправитель, грузополучатель или перевозчик должны:

- принимать безотлагательные меры для смягчения последствий нарушения;
- проводить расследование нарушения и его причин, обстоятельств и последствий согласно федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, устанавливающим правила расследования и учета нарушений;
- принимать соответствующие меры для устранения причин и обстоятельств, которые привели к нарушению, и для предотвращения повторного возникновения обстоятельств, аналогичных тем, которые привели к нарушению;
- сообщать органу государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии и ГКО о причинах нарушения и о корректирующих или профилактических мерах, которые были приняты или должны быть приняты;

в) информация о нарушении должна направляться грузоотправителю, органу государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии и ГКО в течение 3 дней, а в случае аварийного облучения информация должна направляться незамедлительно с момента выявления факта облучения.

Комментарий

При возникновении нарушений необходимо также руководствоваться требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе объектов ядерного топливного цикла» (НП-047-11) [80], так как они содержат положения о порядке расследования нарушений при транспортировании РМ.

Для своевременного информирования всех участников транспортирования о нарушении между ними следует установить устойчивую и надежную систему связи. Аналогичная система связи должна быть установлена между участниками транспортирования и ГКО, а также органом регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

5.1.15. Если груз не может быть доставлен грузополучателю, он должен быть помещен в безопасное для него и окружающих место, о чем информируются грузоотправитель (если грузоотправитель может быть идентифицирован), у которого запрашиваются инструкции, касающиеся дальнейших действий, ГКО, органы государственного управления и государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

Комментарий

В качестве примера порядка обращения с такими грузами можно использовать порядок обращения с РМ неопределенного вида, который представлен в приложении № 7 к настоящим Справочным материалам.

5.1.16. Для транспортирования грузов, за исключением радиационных источников, содержащих в своем составе только радионуклидные источники четвертой и пятой категорий, грузоотправителем (грузополучателем) должна быть разработана программа радиационной защиты. Характер и масштабы мер, принимаемых в рамках программы, должны быть связаны с дозами и вероятностью облучения персонала и населения. Программа должна предусматривать выполнение требований, изложенных в пунктах 1.2.2 – 1.2.7, а также в главе VI настоящих Правил, и охватывать все этапы транспортирования.

Комментарий

Рекомендации по составу и содержанию программы радиационной защиты при транспортировании РМ приведены в РБ-127-17 [15].

5.1.17. За исключением тех случаев, когда в настоящих Правилах предусмотрено иное, грузы радиоактивных материалов могут предъявляться грузоотправителем к перевозке только при условии, что они надлежащим образом маркированы, снабжены знаками опасности или информационными табло, снабжены соответствующими транспортными документами и в других отношениях подготовлены для перевозки, как это требуется в соответствии с настоящими Правилами.

Комментарий

Требования к маркировке груза РМ представлены в пункте 5.4 НП-053-16. Требования к маркировке грузов РМ, представленные в НП-053-16, не распространяются на специальные перевозки РМ.

5.1.18. При перевозках радиоактивных материалов в рамках режима специальных перевозок должны быть выполнены требования по организации и осуществлению специальных перевозок, определяемые действующими нормативными правовыми актами Российской Федерации по специальным перевозкам.

Комментарий

Под специальными перевозками в НП-053-16 понимаются перевозки ДМ, подпадающих под действие положений постановления Правительства РФ от 19.06.2007 г. № 456 «Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» [25].

5.2. Проверка груза перед перевозкой

5.2.1. Перед первым использованием любого упаковочного комплекта для перевозки радиоактивного материала должно быть подтверждено, что он был изготовлен в соответствии с техническими условиями для конструкции, обеспечивающими соблюдение соответствующих требований настоящих Правил и всех применимых сертификатов-разрешений. По мере применимости перед первой перевозкой любой упаковки грузоотправителем должно быть выполнено следующее:

а) если проектное давление системы герметизации превышает 35 кПа (манометрическое), необходимо убедиться, что система герметизации каждой упаковки соответствует утвержденным проектным требованиям, относящимся к способности этой системы сохранять целостность под давлением;

б) для каждой упаковки типа В(U), типа В(M), типа С и каждой упаковки с делящимся материалом необходимо проверить, что эффективность ее радиационной защиты и системы герметизации и в необходимых случаях характеристики теплопередачи находятся в пределах, применимых или указанных для упаковок данной утвержденной конструкции;

в) для всех упаковочных комплектов, предназначенных для делящегося материала, должно быть подтверждено, что эффективность устройств, обеспечивающих ядерную безопасность, находится в пределах, применимых или указанных для данной конструкции и, в частности, для упаковок, содержащих делящийся материал, в которые для целей ядерной безопасности помещаются поглотители нейтронов в виде компонентов упаковки, до загрузки делящегося материала должна быть проведена проверка наличия и распределения этих поглотителей.

Комментарий

Соответствие упаковочного комплекта техническим условиям позволяет подтвердить выполнение требований НП-053-16. Технические условия должны быть разработаны на этапе проектирования упаковок.

Если давление системы герметизации превышает 35 кПа, следует обосновать, что система герметизации в изготовленном состоянии функционирует должным образом. Это может быть выполнено, например, посредством испытания. Для упаковочных комплектов с клапанами для заполнения (сброса) давления отверстия гнезд для клапанов могут быть использованы для создания в системе герметизации проектного давления. Если система герметизации не имеет таких отверстий, то упаковка и ее крышка могут потребовать отдельных испытаний с использованием специальных приспособлений. В процессе этих испытаний следует проверять целостность уплотнений, применяя процедуры, установленные для нормального использования упаковок.

Для оценки эффективности защиты упаковок после изготовления, в соответствии с требованиями пункта 5.2.1 б) НП-053-16, компоненты защиты могут быть проверены путем использования калиброванных источников излучения. Источник излучения помещается за защиту и при этом измеряется уровень излучения за защитой упаковки. В качестве источника излучения могут использоваться имитаторы (например, закрытый источник излучения), радиационное воздействие которых эквивалентно воздействию реальных РМ, планируемых к перевозке. Критерии эквивалентности должны быть обоснованы.

При оценке эффективности защиты следует особое внимание уделять локальным увеличениям уровней излучения в различных местах упаковки.

Следует оценивать целостность системы герметизации, используя подходящие испытания на соответствие скорости утечки требованиям пункта 5.2.1.6 НП-053-16.

На этапе испытаний контейнера следует также проводить проверки размеров элементов контейнера и их конструкционных материалов на соответствие проекту.

Дополнительная информация по данным вопросам изложена в [81, 82].

5.2.2. Перед каждой перевозкой любой упаковки грузоотправителем должно быть проверено соблюдение всех условий, приведенных в сертификатах-разрешениях. Также должны быть выполнены следующие требования:

а) элементы крепления, установленные на упаковке для ее перемещения, не удовлетворяющие требованиям, приведенным в пункте 2.4.2 настоящих Правил, должны быть удалены или

иным образом приведены в состояние, не позволяющее использовать их для перемещения упаковки согласно требованиям, приведенным в пункте 2.4.3 настоящих Правил;

б) упаковки типа В(У) и типа В(М) или типа С должны быть выдержаны до тех пор, пока не будут достигнуты равновесные условия, соответствующие требованиям к температуре и давлению при перевозке;

в) для каждой упаковки типа В(У), типа В(М) или типа С должно быть проверено, что все затворы, клапаны системы герметизации, через которые может произойти утечка радиоактивного содержимого, надлежащим образом закрыты и герметичность их проверена способом, для которого подтверждено выполнение требований, приведенных в пунктах 2.9.4 и 2.11.3 настоящих Правил;

г) для упаковок, содержащих делящийся материал, в соответствующих случаях должны проводиться:

- измерения, указанные в пункте 2.12.8.6, в случае использования глубины выгорания отработавшего ядерного топлива в качестве параметра ядерной безопасности;
- проверки с целью подтверждения закрытия каждой упаковки согласно требованиям пункта 2.12.8.2;
- проверка соответствия количества упаковок на перевозочном средстве и значения ИБК каждой упаковки;

д) для любых упаковок должна быть проведена проверка выполнения требований к размещению и креплению упаковок, приведенных в пункте 5.7.1 настоящих Правил, а также требований к допустимым уровням излучения и радиоактивного загрязнения, значениям транспортного индекса (далее – ТИ) и количеству упаковок, приведенных в подразделе 5.3 настоящих Правил.

Комментарий

Грузоотправителем должен быть разработан порядок проверки выполнения требований сертификатов-разрешений, а также иных необходимых требований перед началом перевозки. Следует составлять акт о соответствии транспортного средства, упаковочного комплекта и груза РМ нормативным требованиям.

Для проверки работоспособности системы герметизации упаковки может потребоваться проведение испытания под давлением. В ходе такого испытания следует обеспечить давление, соответствующее нормальным и аварийным условиям перевозки.

Для упаковки со значительным тепловыделением содержимого характеристики теплопередачи оказывают большое влияние на температурные режимы упаковки и соответствие ее требованиям по герметичности и радиационной защите.

Для определения равновесных условий по температуре и давлению следует осуществлять периодические замеры данных параметров, а также определять их изменение со временем. Следует учитывать возможность повышения давления в упаковках не только за счет роста температуры, но и вследствие радиолиза.

5.2.3. Перед каждой перевозкой любой упаковки необходимо обеспечить, чтобы эта упаковка не содержала:

а) радионуклидов, отличающихся от тех, которые указаны для конструкции данной упаковки;

б) содержимого, форма либо физическое или химическое состояние которого отличаются от тех, что указаны в конструкции данной упаковки.

Комментарий

Грузоотправитель должен обеспечить выполнение требований НП-053-16 при подготовке упаковочных комплектов на ОИАЭ. При контроле содержимого упаковки следует руководствоваться положениями инструкций, действующих на предприятии грузоотправителя.

Для обеспечения соответствия требованиям пункта 5.2.3 НП-053-16 следует разработать и перед каждой перевозкой выполнять испытания, подтверждающие достижение стабильного состояния содержимого, которые должны включать в себя проведение измерений давления и температуры в течение достаточного промежутка времени. При выполнении любого испытания должно быть гарантировано, что выбранный метод обеспечивает необходимую чувствительность и не приводит к нарушению целостности упаковки. Факт несоответствия упаковки требованиям к конструкции, указанным в сертификате-разрешении, должен быть задокументирован, а ГКО должен быть проинформирован о данном несоответствии.

5.3. Пределы значений транспортного индекса, индекса безопасности по критичности, уровня излучения и радиоактивного загрязнения

5.3.1. Значение ТИ для упаковки, транспортного пакета, грузового контейнера или для неупакованных НУА-I или ОПРЗ-I должно определяться следующим образом:

а) определяется максимальный уровень излучения в миллизивертах в час (мЗв/ч) на расстоянии 1 м от внешних поверхностей упаковки, транспортного пакета, грузового контейнера или неупакованных материалов НУА-I или ОПРЗ-I; измеренное значение должно быть умножено на 100, и полученное число будет представлять собой ТИ; для урановых и ториевых руд и их концентратов в качестве максимального уровня излучения в любой точке на расстоянии 1 м от внешней поверхности груза может быть принят следующий:

0,4 мЗв/ч — для руд и физических концентратов урана и тория;

0,3 мЗв/ч — для химических концентратов тория;

0,02 мЗв/ч — для химических концентратов урана, за исключением гексафторида урана;

б) для цистерн, грузовых контейнеров и неупакованных материалов НУА-I и ОПРЗ-I значение, определенное согласно подпункту «а» настоящего пункта, должно быть умножено на соответствующий коэффициент пересчета ТИ, указанный в таблице № 5 приложения № 4 к настоящим Правилам;

в) значение, полученное в соответствии с подпунктами «а» и «б» настоящего пункта, должно быть округлено в сторону повышения до первого десятичного знака (например, 1,13 округляется до 1,2), при этом значение 0,05 или менее можно считать равным нулю.

Комментарий

ТИ определяется по результатам измерений или расчетов уровня мощности дозы на расстоянии 1 м от всех поверхностей упаковки, включая крышку и днище. По значению максимальной мощности дозы, полученному при проведении измерений или выполнении расчетов, устанавливается значение ТИ.

Предельно допустимые значения уровня излучения на поверхности упаковки, транспортных средств и на расстоянии 1 м от упаковки были выбраны на основе предполагаемой технологии обращения с упаковками, времени пребывания работников (персонала) вблизи упаковок и допустимых величин облучения непроявленных фотоматериалов. В отношении ТИ упаковки или транспортного пакета допустимое значение выведено исходя из среднего времени транзитного хранения 24 ч и условного расстояния 4,5 м между партиями грузов.

Поскольку для крупногабаритных грузов ослабление излучения с увеличением расстояния от груза происходит в существенно меньшей степени, чем для небольших упаковок, вводится коэффициент пересчета для ТИ крупногабаритных грузов согласно таблице № 5 приложения № 4 к НП-053-16. Данный коэффициент учитывает тот факт, что крупногабаритные грузы не могут рассматриваться как точечный источник, ослабление мощности дозы от которого обратно пропорционально квадрату расстояния. Для определения размера груза следует использовать значение наибольшей площади поперечного сечения груза.

5.3.2. Максимальный ТИ отдельной упаковки или пакета не должен превышать 10, за исключением перевозки на условиях исключительного использования.

Комментарий

Значение ТИ более 10 допускается при транспортировании на условиях исключительного использования. При таком транспортировании применяются дополнительные меры, позволяющие снизить радиационное воздействие от упаковки до допустимого.

5.3.3. Максимальный уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки или транспортного пакета не должен превышать 2 мЗв/ч. Исключение составляют упаковки или транспортные пакеты, перевозимые железнодорожным, автомобильным и водным видами транспорта на условиях исключительного использования при соблюдении требований, приведенных в пунктах 5.9.2, 5.10.6, 5.11.2 настоящих Правил, на специальных судах согласно пункту 5.11.3 и воздушным транспортом согласно пункту 5.12.20 настоящих Правил.

Комментарий

При выборе предельного значения мощности дозы излучения на поверхности упаковки использовано предположение о том, что работники (персонал) находятся в непосредственном контакте с упаковками в течение 30 мин в день. Такой подход можно считать как недостаточным, так и консервативным. Например, о недостаточности могут говорить случаи, если персонал 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.

Таким образом, в связи с большими неопределенностями в условиях транспортирования РМ, требованиями НП-053-16 установлена необходимость периодических оценок уровней облучения лиц, связанных с перевозкой РМ.

Определение уровней излучения на поверхности упаковки путем прямого измерения требует учета размеров упаковки и расстояния от измерительного прибора до поверхности упаковки. В комментариях к пункту 23 приложения № 1 к настоящим Справочным материалам приведены поправочные коэффициенты, учитывающие размеры упаковки и размеры детектора.

5.3.4. Максимальный уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки или транспортного пакета, перевозимой на условиях исключительного использования, не должен превышать 10 мЗв/ч.

Комментарий

Радиационная защита при увеличении допустимого уровня излучения на поверхности упаковки до 10 мЗв/ч при перевозке на условиях исключительного использования обеспечивается проведением дополнительных организационных мероприятий и применением технических мер при этих перевозках, ограничивающих доступ работников (персонала) к таким упаковкам и снижающих уровень излучения на поверхности транспортного средства и на расстоянии 2 м от него.

5.3.5. Любая упаковка или транспортный пакет, имеющие ТИ больше 10, или любой груз, имеющий ИБК больше 50, должны перевозиться только на условиях исключительного использования или в специальных условиях.

Комментарий

Значение ИБК упаковки, превышающее 50, в соответствии с требованиями пункта 2.12.10 НП-053-16, означает следующее: менее пяти упаковок с таким ИБК являются подкритичными в нормальных условиях транспортирования при любом их расположении; менее двух таких упаковок остаются подкритичными в аварийных условиях. При данных условиях необходимы дополнительные организационные меры, исключающие скопление упаковок при транспортировании, включая временное хранение, либо меры, обеспечивающие безопасное взаимное расположение упаковок.

5.3.6. При перевозке делящихся материалов, удовлетворяющих одному из положений подпунктов «а» – «е» пункта 2.12.2, должны быть выполнены следующие требования:

а) для каждого груза допускается применение только одного из положений подпунктов «а» – «е» пункта 2.12.2;

б) в грузе допускается перевозка только одного утвержденного делящегося материала в упаковках, классифицированных в соответствии с подпунктом «е» пункта 2.12.2, если в сертификате об утверждении не разрешено наличие нескольких материалов;

в) делящийся материал в упаковках, классифицированных в соответствии с подпунктом «в» пункта 2.12.2, может перевозиться в одном грузе, если масса делящихся нуклидов составляет не более 45 г;

г) делящийся материал в упаковках, классифицированных в соответствии с подпунктом «г» пункта 2.12.2, может перевозиться в одном грузе, если масса делящихся нуклидов составляет не более 15 г;

д) упакованный или неупакованный делящийся материал, классифицированный в соответствии с подпунктом «д» пункта 2.12.2, может перевозиться на условиях исключительного использования на одном перевозочном средстве, если масса делящихся нуклидов составляет не более 45 г.

Комментарий

Требованиями данного пункта запрещается одновременное транспортирование более чем одного типа РМ, которые соответствуют разным подпунктам пункта 2.12.2, а также двух различных РМ, соответствующих требованиям пункта 2.12.2 е), так как для таких РМ не подтверждена ядерная безопасность в аварийных условиях перевозки.

Предел массы делящихся нуклидов (15 г), указанный в подпункте г) настоящего пункта, выбран исходя из простоты обеспечения физической защиты груза РМ.

Масса делящихся нуклидов (45 г), указанная в подпунктах в) и д) настоящего пункта, составляет не более 25 % от минимальных критических масс различных ДМ, в соответствии с таблицей № 12 приложения № 4 к НП-053-16, что заведомо обеспечивает ядерную безопасность груза РМ при нормальных и аварийных условиях перевозки.

Если упаковки в грузе содержат ДМ, освобожденные на основе пределов для упаковки, следует предусмотреть процедуры контроля соблюдения установленных пределов для груза. Для этого грузоотправитель должен точно указать количество ДМ в каждой упаковке или консервативно принять, что в каждой упаковке содержится максимально допустимое количество ДМ.

5.3.7. Упаковки, транспортные пакеты и грузовые контейнеры относятся к одной из следующих категорий: «I - БЕЛАЯ», «II - ЖЕЛТАЯ» или «III - ЖЕЛТАЯ» в соответствии с условиями таблицы № 8 приложения № 4 к настоящим Правилам и следующими требованиями:

- а) при определении соответствующей категории учитывается как ТИ, так и уровень излучения на поверхности; если ТИ удовлетворяет условиям одной категории, а уровень излучения на поверхности удовлетворяет условию другой категории, то выбирается более высокая категория;
- б) при перевозке в специальных условиях используется категория «III - ЖЕЛТАЯ», за исключением случаев, подпадающих под действие положений пункта 5.4.1.

Комментарий

Всем упаковкам, транспортным пакетам, грузовым контейнерам и резервуарам, кроме состоящих полностью из освобожденных упаковок, должна быть назначена категория. К упаковкам различных категорий могут применяться различные процедуры по их обслуживанию.

Соответствующая категория определяется ТИ и уровнем излучения в любой точке на внешней поверхности упаковки или транспортного пакета. В определенных случаях величины ТИ и уровня излучения на поверхности могут превышать те значения, которые разрешены для упаковок и транспортных пакетов самой высокой категории, то есть «III – ЖЕЛТАЯ». В таких случаях НП-053-16 требуют, чтобы груз транспортировался в условиях исключительного использования.

Предельные значения уровня излучения, заложенные в определение категорий, были получены на основании предполагаемых процедур обслуживания упаковки/груза, времени облучения работников (персонала) и времени облучения для фоточувствительных материалов (таблица № 8 приложения № 4 к НП-053-16).

5.3.8. Для судов специального назначения максимальная сумма ТИ упаковок может быть установлена более 200.

Комментарий

Суда специального назначения предназначены для перевозки только РМ. Для транспортирования груза РМ, ТИ которого превышает 200, необходимо обеспечить выполнение требования пункта 5.11.3 НП-053-16.

5.3.9. Нефиксированное радиоактивное загрязнение внешних поверхностей любой упаковки, грузовых контейнеров, пакетов, цистерн, КСГМГ и перевозочных средств должно поддерживаться на наиболее низком практически достижимом уровне и в обычных условиях перевозки не должно превышать следующих пределов:

- а) 4 Бк/см² для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности;
б) 0,4 Бк/см² для всех других альфа-излучателей.

Эти пределы применяются при усреднении на любом участке площадью 300 см² любой части поверхности.

За исключением положений, предусматриваемых в пункте 5.3.11, уровень нефиксированного радиоактивного загрязнения внутренних поверхностей транспортных пакетов, грузовых контейнеров, цистерн, КСГМГ и перевозочных средств не должен превышать указанных пределов.

Комментарий

Пределы для поверхностного загрязнения были установлены на основании [82]. Пути облучения были определены: внешнее бета-облучение кожи, пероральное поступление и ингаляция РМ. Были рассмотрены наиболее опасные из распространенных радионуклидов, а именно: ²³⁹Pu, ²²⁶Ra и ⁹⁰Sr. Полученные пределы активности соответствуют малым дозам при перевозке.

В случае упаковок, загрязненных альфа-излучателями, основным путем облучения является ингаляция РМ с поверхности упаковок в воздух в виде аэрозолей. Пределы активности учитывают, что только часть активности поверхностного загрязнения может быть во вдыхаемой форме, а также то, что только часть таких РМ попадают непосредственно внутрь организма.

Приведенные в данном пункте пределы для нефиксированных загрязнений применимы к среднему уровню на площади не менее 300 см² или к упаковке в целом, если общая поверхность ее менее чем 300 см².

Следует разрабатывать специальные методы измерения загрязнения поверхности, соответствующие специфике условий измерения. Приборы и детекторы следует выбирать с учетом характеристик радионуклидов, которые могут находиться на поверхности упаковки.

Уровень нефиксированных загрязнений может быть определен путем взятия мазков. Следует обеспечивать, чтобы число мазков, взятых с большой упаковки, было представительным для всей поверхности. Следует особое внимание уделять тем областям поверхности, о которых известно или предполагается, что они загрязнены больше, чем остальные.

При измерении активности мазка следует учитывать ряд параметров, таких как эффективность счета детектора, геометрические факторы, калибровка и доля загрязнения, удаленная с поверхности за один мазок, которая может составлять некоторую долю от реального загрязнения участка поверхности упаковки. 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 и других факторов. Консервативно следует полагать, что доля загрязнения, удаленная при осуществлении мазка, составляет не более 10 % от реального нефиксированного поверхностного загрязнения участка упаковки.

Во всех случаях уровни загрязнения на внешних поверхностях упаковок следует сохранять на разумно достижимом низком уровне. По возможности следует предотвращать сам факт возникновения загрязнения при различных ТТО, включая разгрузку, погрузку и другие операции. При невозможности полного исключения загрязнения при ТТО (например, при загрузке ОЯТ в бассейнах выдержки) следует свести к минимуму время таких ТТО и разрабатывать эффективные методы дезактивации.

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 загрязнению рабочих площадей, что может потребовать дезактивации.

Следует отметить, что в НП-053-16 не установлены специальные пределы для уровней фиксированного загрязнения упаковок, так как внешнее излучение с их поверхности будет объединяться с излучением от содержимого упаковок, а уровни результирующего излучения от упаковок регламентируются другими требованиями.

5.3.10. Любое перевозочное средство, оборудование или их часть, которые в ходе перевозки грузов подверглись загрязнению выше допустимых уровней, указанных в пункте 5.3.9, или уровень излучения от которых превышает 5 мкЗв/ч на поверхности, должны быть дезактивированы и не могут использоваться до тех пор, пока нефиксированное загрязнение и вызванный фиксированным загрязнением поверхностей уровень излучения от них превышают установленные уровни.

Комментарий

Перевозочные средства могут загрязняться в процессе перевозки РМ за счет, например, загрязнения поверхностей нерадиоактивными материалами, в частности, ржавчиной, грязью и частями облупившейся краски. Подобные материалы при контакте с РМ могут увеличить уровень нефиксированного загрязнения.

Уровень излучения, являющийся следствием фиксированного загрязнения поверхностей, может быть измерен с использованием портативного прибора подходящего диапазона с удержанием его около поверхности транспортного средства.

5.3.11. На транспортный пакет, грузовой контейнер, КГСМГ или перевозочное средство, используемые для перевозки материалов НУА или ОПРЗ на условиях исключительного использования, не распространяются требования, изложенные в пунктах 5.3.9 и 5.3.10, только в отношении их внутренних поверхностей и только до тех пор, пока они остаются на условиях исключительного использования.

Комментарий

Обычной практикой является дезактивация упаковки, грузового контейнера, резервуара, транспортного средства после окончания перевозки с целью их использования для транспортирования других материалов. Тем не менее возможны ситуации, например, перевозка урановых или ториевых руд, когда используемые транспортные средства и грузовые контейнеры не применяются для перевозок других, в том числе нерадиоактивных грузов, и, следовательно, постоянно загрязнены. Для данных случаев требованиями НП-053-16 допускается не проводить дезактивацию внутренних поверхностей контейнеров и транспортных средств. Очистка внутренних поверхностей после каждого использования может приводить к нежелательному облучению работников (персонала). Тем не менее наружные поверхности, которые легче дезактивировать, следует очищать до установленных НП-053-16 пределов после каждого использования.

5.4. Маркировка, этикетки, знаки опасности и информационные табло

5.4.1. Для каждой упаковки или транспортного пакета должны быть определены номер ООН и надлежащее транспортное наименование (приложение № 7 к настоящим Правилам). Во всех

случаях международных перевозок упаковок, требующих утверждения конструкции или перевозки компетентным органом, когда могут применяться различные типы утверждения в разных странах, имеющих отношение к перевозке, номер ООН, надлежащее транспортное наименование, категория, знаки опасности и маркировка должны быть определены в соответствии с сертификатом-разрешением страны происхождения конструкции.

Комментарий

Номера ООН, каждый из которых связан с собственным уникальным транспортным наименованием, имеют функцию идентификации опасных грузов как для конкретно обозначаемых веществ, так и для партий грузов общего назначения. Номера ООН для РМ 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 общем потоке транспорта опасных грузов. 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 участников аварийного реагирования получение общих указаний при неизбежном отсутствии специалистов на первом этапе аварийного реагирования.

5.4.2. Каждая упаковка на внешней поверхности должна иметь четкую и несмываемую маркировку с указанием маркировки ООН согласно приложению № 5 к настоящим Правилам. Кроме того, на каждый транспортный пакет должна наноситься четкая и несмываемая маркировка «ТРАНСПОРТНЫЙ ПАКЕТ» и маркировка ООН, как указано в приложении № 5 к настоящим Правилам, если только вся маркировка не видна четко на упаковках, входящих в данный транспортный пакет.

Комментарий

Изображение номера ООН предоставляет информацию о типе перевозимого РМ, включая сведения о том, делаящийся это материал или нет, и информацию о типе упаковки. Эта информация важна в случае инцидентов или аварий, приводящих к утечке РМ, помогает лицам, ответственным за аварийное реагирование, выбрать надлежащие противоаварийные действия.

5.4.3. Каждая упаковка с массой брутто более 50 кг должна иметь на внешней поверхности упаковочного комплекта четкую и несмываемую маркировку ее допустимой массы брутто.

Комментарий

Указание массы груза на упаковке необходимо для использования соответствующего оборудования при погрузочно-разгрузочных работах и соответствующих транспортных средств при перевозке, что в конечном счете влияет на безопасность перевозки.

Обращение с упаковками, масса брутто которых превышает 50 кг, следует осуществлять с помощью механизмов, а не вручную, что требует соответствующей маркировки массы для указания на возможную необходимость механизированного обслуживания.

В части обеспечения четкости и несмываемости маркировки см. комментарии к пункту 5.4.4 НП-053-16.

5.4.4. Каждая упаковка должна иметь на внешней поверхности упаковочного комплекта четкую и несмываемую маркировку с указанием либо грузоотправителя, либо грузополучателя, либо и того, и другого. Каждый транспортный пакет должен иметь на внешней поверхности четкую и стойкую маркировку с указанием либо грузоотправителя, либо грузополучателя, либо и того, и другого, если только эта маркировка не видна четко на всех упаковках, входящих в данный транспортный пакет.

Комментарий

Чтобы сохранять возможность опознавать грузополучателя или грузоотправителя упаковки (например, в случае если 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 и грузополучателя.

Следует обеспечивать чтобы маркировка на упаковках была четко напечатана, имела достаточный размер и была разумно расположена с учетом возможного загромождения обзор другими грузами. Маркировка упаковок, характеризующихся существенным радиационным воздействием, должна быть читаемой на определенном расстоянии с целью минимизации облучения работников (персонала).

Маркировку следует располагать на контрастном фоне для удобства ее прочтения (например, черные символы на белом фоне). Если упаковки имеют неровные внешние поверхности, может возникнуть необходимость в плоской панели или пластине, на которые наносится маркировка.

Маркировки должны быть долговечными и устойчивыми к условиям нормальной перевозки, включая воздействие внешних погодных условий и изнашивание, без существенного снижения читаемости, а также к аварийным условиям.

В запланированные проверки и программы обслуживания упаковочных комплектов следует включать положения по проверке всех маркировок и их восстановлению при любых повреждениях или дефектах.

5.4.5. Каждая упаковка, которая соответствует:

а) конструкции промышленной упаковки типа 1, промышленной упаковки типа 2 или промышленной упаковки типа 3, должна иметь на внешней стороне упаковочного комплекта четкую и несмываемую маркировку, соответственно «ТИП IP-1» («TYPE IP-1»), «ТИП IP-2» («TYPE IP-2») или «ТИП IP-3» («TYPE IP-3»);

б) конструкции промышленной упаковки типа 2 и промышленной упаковки типа 3, должна иметь на внешней стороне упаковочного комплекта четкую и несмываемую маркировку с указанием международного регистрационного кода транспортного средства (кода VRI) страны, в которой была разработана конструкция, а также названия фирмы-изготовителя или другую идентификацию упаковочного комплекта.

Комментарий

Крайне важно указывать не только само обозначение упаковки, но и указывать слово «тип» перед данным обозначением, так как данные сокращения могут использоваться с другой целью в других транспортных правилах. Например, технические инструкции ИКАО (ICAO) используют сокращение IP для обозначения термина «внутренний упаковочный комплект» (Inner

Packaging); например, «TYPE IP-3» обозначает один из десяти конкретных типов внутренних упаковочных комплектов.

В части обеспечения четкости и несмываемости маркировки см. комментарии к пункту 5.4.4 НП-053-16.

5.4.6. Каждая упаковка, для которой обязательно оформление сертификата-разрешения на конструкцию, должна иметь на внешней поверхности упаковочного комплекта четкую и несмываемую маркировку в виде:

- а) опознавательного знака, установленного для данной конструкции, согласно пункту 4.2.2;
- б) серийного номера для индивидуального обозначения каждого упаковочного комплекта, соответствующего данной конструкции;
- в) для конструкции упаковки типа А – надпись «ТИП А» («TYPE A»);
- г) для конструкции упаковки типа В(У) или упаковки типа В(М) – надписи «ТИП В(У)» («TYPE B(U)») или «ТИП В(М)» («TYPE B(M)»);
- д) для конструкции упаковки типа С – надпись «ТИП С» («TYPE C»).

Комментарий

Конструкции упаковок типа В(У), В(М), С и упаковок с ДМ требуют утверждения компетентным органом. Маркировка на такие упаковки наносится с целью предоставления информации об основных документах, на основании которых осуществляется транспортирование РМ (посредством идентификационной метки). Кроме того, маркировка упаковки предоставляет ценную информацию при аварии.

В части обеспечения четкости и несмываемости маркировки см. комментарии к пункту 5.4.4 НП-053-16.

5.4.7. Каждая упаковка, которая соответствует конструкции упаковок типа В(У), типа В(М) или типа С, должна иметь на наружной поверхности самой внешней емкости, стойкой к воздействию огня и воды, четкую и надежную маркировку, нанесенную методом чеканки, штамповки и другим стойким к воздействию огня и воды методом с изображением знака радиационной опасности в виде трилистника (рис. 1 приложения № 5 к настоящим Правилам).

Комментарий

Маркировка упаковок типа В(У), В(М) или С посредством нанесения символа радиационной опасности (стойкая к воздействию огня и воды) позволяет гарантировать возможность идентификации таких упаковок после серьезной аварии.

5.4.8. Если материалы НУА-I или ОПРЗ-I содержатся в емкостях или упаковочных материалах и перевозятся в условиях исключительного использования согласно положениям пункта 5.6.4, на наружную поверхность этих емкостей или упаковочных материалов может быть нанесена соответственно маркировка «РАДИОАКТИВНО НУА-I» («RADIOACTIVE LSA-I») или «РАДИОАКТИВНО ОПРЗ-I» («RADIOACTIVE SCO-I»).

Комментарий

В соответствии с требованиями пункта 5.6.4 НП-053-16 материалы НУА-I и ОПРЗ-I могут перевозиться неупакованными при перевозках на условиях исключительного использования. При этом должно быть гарантировано отсутствие потери содержимого в нормальных условиях

перевозки. Для этих целей для материалов НУА-I или ОПРЗ-I могут использоваться дополнительные упаковочные материалы (обертка). Важно отметить, что положения НП-053-16 однозначно не требуют нанесения маркировки на упаковочные материалы, однако указывают, что при транспортировании может возникнуть необходимость нанесения такой маркировки. В тех случаях, когда следует четко идентифицировать груз, НП-053-16 допускают, чтобы маркировка была расположена непосредственно на упаковочных материалах.

5.4.9. Каждая упаковка, каждый транспортный пакет и каждый грузовой контейнер должны иметь этикетки согласно образцам, приведенным на рис. 2, 3 или 4 приложения № 5 к настоящим Правилам, в соответствии с надлежащей категорией, кроме больших грузовых контейнеров и цистерн, в отношении которых разрешается использовать знаки, указанные в альтернативных положениях пункта 5.4.14.

Кроме того, каждая упаковка, каждый транспортный пакет и каждый грузовой контейнер, содержащие делящийся материал, иной, чем делящийся материал, подпадающий под освобождение по пункту 2.12.2, должны иметь этикетки согласно образцу, приведенному на рис. 5 приложения № 5 к настоящим Правилам. Любые этикетки, не связанные с содержимым, удаляются или закрываются.

Комментарий

Необходимо чтобы работники (персонал) были осведомлены о содержимом упаковок с РМ и знали о существовании потенциальной радиационной опасности или о необходимости соблюдения условий ядерной безопасности. Данная информация обозначается на этикетке цветом и категорией («I – БЕЛАЯ», «II – ЖЕЛТАЯ» или «III – ЖЕЛТАЯ») и этикеткой с обозначением ИБК.

Содержимое упаковки может, помимо радиоактивных свойств, обладать также и другими опасными свойствами (например, коррозионные или легковоспламеняющиеся вещества). В этих случаях необходимо дополнительно наносить такие знаки опасности, которые позволяют однозначно идентифицировать данные опасные свойства таких веществ. Вид и форма дополнительных знаков опасности установлены в соответствующих нормативных документах, устанавливающих правила перевозки опасных грузов.

5.4.10. Этикетки, которые соответствуют образцам, приведенным на рис. 2, 3 или 4 приложения № 5, должны крепиться к двум противоположным внешним поверхностям упаковки или транспортного пакета или к внешним поверхностям всех четырех сторон грузового контейнера или цистерны. Этикетки, которые соответствуют образцу, приведенному на рис. 5 приложения № 5 к настоящим Правилам, в надлежащих случаях должны крепиться рядом с этикетками, которые соответствуют образцам, приведенным на рис. 2, 3 и 4 приложения № 5 к настоящим Правилам. Эти этикетки не должны закрывать собой маркировку, указанную в пунктах 5.4.2 – 5.4.7.

Комментарий

Для резервуаров или грузовых контейнеров из-за возможности загромождения одного контейнера другими грузовыми контейнерами и резервуарами этикетки необходимо помещать со всех четырех сторон, чтобы обеспечить видимость этикетки без необходимости ее поиска и сведения к минимуму возможности ее загромождения другими грузами.

5.4.11. Каждая этикетка, которая соответствует образцам, приведенным на рис. 2, 3 и 4 приложения № 5 к настоящим Правилам, должна содержать следующую информацию:

а) содержимое: наименование материала или радионуклида, взятое из таблицы № 1 приложения № 2, с использованием рекомендованного там символа, за исключением материалов НУА-I. Для смесей радионуклидов должны быть перечислены, насколько позволяет размер строки, радионуклиды, в отношении которых действуют наиболее жесткие ограничения. Группа материалов НУА или ОПРЗ должна быть указана после наименования (наименований) радионуклида (радионуклидов). Для этих целей используются обозначения «НУА-II» («LSA-II»), «НУА-III» («LSA-III»), «ОПРЗ-I» («SCO-I») или «ОПРЗ-II» («SCO-II»).

Для материалов НУА-I достаточно только обозначения «НУА-I» («LSA-I»), а наименование радионуклида не требуется;

б) активность: максимальная активность радиоактивного содержимого, выраженная в беккерелях (Бк) или в кюри (Ки), или их производной по СИ (например, кКи, мКи). Для делящегося материала может быть указана масса в граммах или единицах, кратных грамму;

в) для транспортных пакетов и грузовых контейнеров строки «Содержимое» и «Активность» на знаке опасности должны содержать информацию, требующуюся в соответствии с положениями подпунктов «а» и «б» пункта 5.4.11, суммированную для всего содержимого транспортного пакета или грузового контейнера. На знаках опасности для транспортных пакетов или грузовых контейнеров, содержащих упаковки с различными радионуклидами, может делаться запись: «Смотри грузовую накладную»;

г) ТИ (указание ТИ для категории «I – БЕЛАЯ» не требуется).

Комментарий

Помимо идентификации радиоактивных свойств содержимого, этикетки также включают специфическую информацию о содержимом, например, наименование нуклида или наиболее важных с радиационной точки зрения нуклидов (в случае смеси нуклидов), а также суммарную активность. В случае ДМ значение его массы может являться более показательным, чем значение активности. Для определения наиболее ограничивающего с радиационной точки зрения радионуклида при перевозке смеси радионуклидов рекомендуется воспользоваться соотношением, максимальное значение которого будет соответствовать наиболее опасному радионуклиду:

$$\frac{f_i}{A_i}, \quad (7)$$

где: f_i — активность i -го радионуклида;

$A_i = A_1$ или A_2 для i -го радионуклида (по применимости).

Материалы НУА-1 характеризуются низкой радиационной опасностью, в связи с чем указание их свойств на этикетках не требуется.

Указание информации о ТИ существенно для временного хранения, так как она используется для контроля накопления упаковок и обеспечения правильного разделения грузовых единиц.

Информация, указанная на этикетке, может использоваться в случае аварии при проведении оценок опасности для персонала и населения.

5.4.12. На каждом знаке, который соответствует образцу, приведенному на рис. 5 приложения № 5, должно быть нанесено значение ИБК, как указано в выдаваемом ГКО сертификате-разрешении или как указано в пункте 2.12.13 или пункте 2.12.14.

Комментарий

Этикетки, содержащие информацию о ИБК, следует размещать на упаковках, содержащих ДМ. Этикетка ИБК по определению также идентифицирует упаковку и ДМ в упаковке. ИБК предоставляет информацию, необходимую для организации хранения упаковки, для контроля накопления и обеспечения правильного разделения упаковок с ДМ.

5.4.13. В случае транспортных пакетов и грузовых контейнеров на этикетке, соответствующей образцу, приведенному на рис. 5 приложения № 5, должен быть указан суммарный ИБК всех содержащихся в них упаковок.

Комментарий

Этикетка, размещаемая на пакете либо грузовом контейнере, позволяет визуально определить ИБК всех упаковок без необходимости рассмотрения этикетки каждой из упаковок в отдельности.

5.4.14. Большие грузовые контейнеры, в которых перевозятся упаковки, за исключением освобожденных упаковок и цистерн, должны иметь четыре информационных табло, соответствующих образцу на рис. 6 приложения № 5 к настоящим Правилам. Информационные табло должны быть закреплены вертикально на каждой боковой стороне и на передней и задней стенках большого грузового контейнера или цистерны. Любые табло, не связанные с содержимым, должны быть сняты. Вместо параллельного использования этикеток и информационных табло в качестве альтернативы разрешается применять только увеличенные этикетки, соответствующие образцам, показанным на рис. 2, 3 и 4 приложения № 5 к настоящим Правилам, с минимальными размерами, указанными на рис. 6 приложения № 5.

Комментарий

Размещение предупредительных знаков со всех четырех сторон грузовых контейнеров и резервуаров обеспечивает их распознавание со всех направлений. Размер предупредительного знака следует делать таким, чтобы он легко читался даже на расстоянии. Также см. комментарии к пункту 5.4.4 НП-053-16.

5.4.15. Если груз в грузовом контейнере или в цистерне представляет собой неупакованный материал НУА-I или ОПРЗ-I или если груз, перевозимый на условиях исключительного использования в грузовом контейнере, представляет собой упакованный радиоактивный материал с одним номером ООН, то для этого груза должен быть также проставлен соответствующий номер ООН черными цифрами высотой не менее 65 мм:

- а) либо на белом фоне в нижней половине информационного табло, показанного на рис. 6 приложения № 5 к настоящим Правилам, с предшествующими буквами «ООН» или «UN»;
- б) либо на информационном табло, показанном на рис. 7 приложения № 5 к настоящим Правилам, с предшествующими буквами «ООН» или «UN».

При применении варианта «б» дополнительное табло закрепляется рядом с основным знаком на всех четырех сторонах грузового контейнера или цистерны.

Комментарий

См. комментарии к пункту 5.4.2 НП-053-16.

5.4.16. При осуществлении межгосударственной перевозки радиоактивных материалов по территории Российской Федерации допускается использовать маркировку, этикетки и

информационные табло опасности на английском языке в соответствии с Правилами МАГАТЭ (приложения № 6 и № 7 к настоящим Правилам).

Комментарий

Выполнение данного требования позволяет гармонизировать вид и форму маркировки и этикеток с требованиями общепризнанных Правил МАГАТЭ при международных перевозках.

5.4.17. При перевозках радиоактивных материалов в режиме специальных перевозок требования к маркировке, этикеткам, знакам опасности и информационным табло на перевозочных средствах, грузовых контейнерах, цистернах и КСГМГ определяются нормативными правовыми актами Российской Федерации по специальным перевозкам.

Специальная перевозка в обязательном порядке должна осуществляться в сопровождении персонала. Работы по техническому обслуживанию перевозочных средств с грузом радиоактивных материалов на борту должны производиться под наблюдением сопровождающего персонала, который обязан исключить не вызванное производственной необходимостью присутствие обслуживающего персонала вблизи груза радиоактивных материалов.

Комментарий

Под специальными перевозками в НП-053-16 понимаются перевозки ДМ, попадающие под действие положений постановления Правительства РФ от 19.06.2007 г. № 456 «Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» [25]. В соответствии с пунктом 55 данного постановления перевозка должна осуществляться в сопровождении охраны. Кроме того, в соответствии с пунктом 57 данного постановления, на транспортном средстве не должно быть нанесено знаков и надписей, свидетельствующих о характере груза, к которым относятся знаки опасности, этикетки с обозначением типа РМ и другая маркировка.

5.5. Требования к перевозке освобожденных упаковок

5.5.1. При перевозке освобожденных упаковок должны быть выполнены только следующие требования:

а) требования, указанные в пунктах 1.2.9, 5.1.2, 5.1.6, 5.1.7, 5.1.15, 5.1.17, 5.2.2, 5.3.9, 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4, 5.5.2–5.5.6, 5.7.1, первом абзаце и подпунктах «а» и «л» пункта 5.13.1, 5.13.2, 5.13.3, 5.13.4 и в главе VII настоящих Правил;

б) общие требования к конструкции всех упаковочных комплектов и упаковок, указанные в пунктах 2.4.1–2.4.12 настоящих Правил.

Комментарий

Освобожденные упаковки — это упаковки, в которых допустимое радиоактивное содержимое ограничено столь низкими уровнями, что его потенциальная опасность незначительна, и поэтому никакое испытание их систем герметизации или целостности ограждения не требуется.

Общий подход к регулированию безопасности перевозки освобожденных упаковок основан на том, что количество и характер их радиоактивного содержимого должны быть таковы, что при выходе из упаковки даже этого содержимого радиационная опасность не превышает опасности при разрушении упаковок типа А и выходе из них части твердого и жидкого содержимого.

При перевозке освобожденных упаковок применяются только требования, перечисленные в данном пункте НП-053-16. Например, на этих упаковках не обязательно указывать массу упаковки, не устанавливаются этикетки радиационной опасности и другие.

5.5.2. Уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки не должен превышать 5 мкЗв/ч.

Комментарий

Данный уровень излучения 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 работников (персонала) и населения, а также к повреждению фоточувствительных материалов. Кроме того, с учетом чрезвычайно малой потенциальной опасности содержимого при авариях контроль обращения с упаковками в ходе перевозки не требуется.

5.5.3. Упаковки не должны содержать делящийся материал, за исключением материалов, указанных в пункте 2.12.2 настоящих Правил.

Комментарий

В упаковке могут содержаться ДМ, удовлетворяющие требованиям одного из подпунктов пункта 2.12.2 НП-053-16. При этом в упаковке, в соответствии с требованиями пункта 5.3.6 НП-053-16, не допускается перевозить разные РМ, удовлетворяющие требованиям разных подпунктов пункта 2.12.2 НП-053-16. Необходимо также учитывать другие требования, указанные в пункте 5.3.6 НП-053-16, в том числе требования к пределам массы ДМ в грузе РМ.

5.5.4. При перевозке в освобожденных упаковках радиоактивного материала, который содержится в какой-либо части или из которого изготовлена какая-либо часть прибора или другого предмета промышленного изготовления, с активностью, не превышающей пределов для отдельных предметов и упаковок, указанных соответственно в колонках 2 и 3 таблицы № 9 приложения № 4 к настоящим Правилам, должны быть выполнены следующие условия:

а) уровень излучения на расстоянии 10 см от любой точки внешней поверхности любого неупакованного прибора или предмета не должен превышать 0,1 мЗв/ч;

б) каждый прибор или предмет должен иметь маркировку «РАДИОАКТИВНО» (RADIOACTIVE); при этом имеются следующие исключения:

- часы или устройства с радиолуминесцентным покрытием маркировки не требуют;
- маркировки не требуют потребительские товары, которые либо были допущены регулирующим органом к использованию согласно подпункту «г» пункта 1.1.5, либо по отдельности не превышают предел активности для груза, на который распространяется изъятие, указанное в колонке 5 таблицы № 1 приложения № 2 к настоящим Правилам, при условии, что такие товары перевозятся в упаковке, снабженной на внутренней поверхности маркировкой «РАДИОАКТИВНО» (RADIOACTIVE) таким образом, что предупреждение о наличии радиоактивного материала видно при открытии упаковки;
- другие приборы или изделия, которые слишком малы, чтобы на них была размещена маркировка «РАДИОАКТИВНО» (RADIOACTIVE), маркировки не требуют при условии, что они перевозятся в упаковке, снабженной на ее внутренней поверхности маркировкой «РАДИОАКТИВНО» (RADIOACTIVE) таким образом, что предупреждение о наличии радиоактивного материала видно при открытии упаковки;

в) радиоактивный материал должен быть полностью покрыт оболочкой из нерадиоактивных компонентов;

г) устройство, единственной функцией которого является содержание радиоактивного материала, не рассматривается в качестве прибора или предмета промышленного изготовления.

Комментарий

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. Для упаковок с приборами и изделиями, содержащими газообразные РМ, упаковочный комплект может обеспечивать определенную защиту от разрушения, однако не может существенно снизить утечку газов, которые могут выйти внутри него. Поэтому пределы для освобожденных упаковок с приборами и изделиями, содержащими газообразные РМ, были установлены только в 10 раз выше, чем пределы для отдельного прибора или изделия.

5.5.5. Радиоактивный материал в ином виде, чем указано в пункте 5.5.4, с активностью, не превышающей предел, указанный в колонке 4 таблицы № 9 приложения № 4, может перевозиться в освобожденных упаковках при обеспечении следующих условий:

а) упаковка должна сохранять содержимое при обычных условиях перевозки;

б) упаковка должна иметь маркировку «РАДИОАКТИВНО» (RADIOACTIVE), нанесенную:

- либо на внутреннюю поверхность так, чтобы предупреждение о наличии радиоактивного материала было видно при открывании упаковки;
- либо на внешнюю поверхность упаковки, когда в силу практических соображений нанести маркировку на внутреннюю поверхность невозможно.

Комментарий

Представленные в таблице № 9 приложения № 4 к НП-053-16 пределы активности выбраны исходя из консервативных предположений.

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 $2 \cdot 10^{-2} A_2$ консервативно по сравнению с другими газами, даже с учетом перехода трития в тяжелую воду. В случае жидкостей предел активности дополнительно сокращен в 10 раз, поскольку считается, что при аварии существует большая вероятность их утечки.

5.5.6. Предмет промышленного изготовления, в котором единственным радиоактивным материалом является необлученный природный уран, необлученный обедненный уран или необлученный природный торий, может перевозиться как освобожденная упаковка при условии, если внешняя поверхность урана покрыта оболочкой из нерадиоактивных компонентов, изготовленной из металла или какого-либо другого прочного материала.

Комментарий

РМ, указанные в данном пункте, не оказывают существенного влияния на ядерную и радиационную безопасность транспортирования (за исключением альфа-излучения и образования загрязнений), а также на соблюдение температурных режимов упаковки, в связи с чем для упаковок с такими РМ не требуется сложных мер обеспечения безопасности. С целью полного

исключения необходимости принятия каких-либо мер обеспечения безопасности такие РМ должны быть помещены в оболочку из плотного материала. Данная оболочка обеспечивает защиту от альфа-излучения, практически исключает загрязнение поверхностей упаковки, а также предотвращает механическое повреждение РМ.

5.6. Требования к перевозке материалов НУА и ОПРЗ

Предметами промышленного изготовления из природного или обедненного урана, которые могут перевозиться как промышленные упаковки, являются разнообразные детали, изготовленные из обедненного урана (например, урановая защита в металлических оболочках, используемая в медицинских приборах).

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 ввиду потенциально возможного окисления урана или тория и возможного последующего появления нефиксированного загрязнения на наружных поверхностях таких изделий.

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 утилизации в качестве металлолома.

5.6.1. Количество материалов НУА и ОПРЗ в отдельной упаковке типа IP-1, IP-2, IP-3, предмете или группе предметов ограничивается таким образом, чтобы внешний уровень излучения на расстоянии 3 м от незащищенного материала, предмета или группы предметов не превышал 10 мЗв/ч.

Комментарий

Поскольку промышленные упаковки, используемые для перевозки материалов НУА и ОПРЗ, не проходят испытания на аварийные условия перевозки, в НП-053-16 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. Предполагается, что геометрические изменения материалов НУА и ОПРЗ в результате аварии не приведут к значительному повышению этого уровня внешнего излучения.

5.6.2. На упаковки, включая цистерны и грузовые контейнеры, содержащие материалы НУА и ОПРЗ, распространяются требования к уровням загрязненности, приведенные в пунктах 5.3.9 и 5.3.10.

Комментарий

Уровни загрязнения на внешних поверхностях упаковок следует сохранять на разумно достижимом низком уровне. Следует по возможности предотвращать загрязнение поверхности. Особое внимание следует уделять удалению загрязнения в областях соединений и уплотнителей.

Следует также удалять загрязнение с поверхностей, с которыми упаковки регулярно контактируют, например, поверхности транспортного средства.

Следует проводить регулярные измерения уровня поверхностного загрязнения с целью подтверждения выполнения требований пунктов 5.3.9 и 5.3.10 НП-053-16.

5.6.3. Материалы НУА и ОПРЗ, за исключением случаев, указанных в пункте 5.6.4, помещаются в упаковки в соответствии с таблицей № 10 приложения № 4 таким образом, чтобы при обычных условиях перевозки не происходила утечка содержимого из упаковки и не ухудшалась защита, обеспечиваемая упаковочным комплектом.

Комментарий

Использование для перевозки материалов НУА и ОПРЗ различных типов промышленных упаковок осуществляется по следующему общему принципу: чем выше потенциальный риск от материалов НУА и ОПРЗ, тем более высокую целостность упаковки следует обеспечивать. При оценке потенциальной опасности следует принимать во внимание физическую форму материала НУА.

5.6.4. Материалы НУА и ОПРЗ групп НУА-I и ОПРЗ-I могут перевозиться без упаковки в обычных условиях при соблюдении следующих требований:

а) все неупакованные материалы, за исключением руд, содержащих только природные радионуклиды, перевозятся таким образом, чтобы в обычных условиях перевозки не было утечки радиоактивного содержимого из перевозочного средства или ухудшения радиационной защиты;

б) каждое перевозочное средство находится на условиях исключительного использования, кроме случая перевозки только ОПРЗ-I, когда загрязнение как доступных, так и недоступных поверхностей ОПРЗ-I не превышает более чем в 10 раз уровней, указанных в пункте 24 приложения № 1 к настоящим Правилам;

в) в случае перевозки ОПРЗ-I, в отношении которого имеются основания предполагать наличие нефиксированного радиоактивного загрязнения недоступных поверхностей, превышающего значения, указанные в подпункте «а» пункта 24.1 приложения № 1, должны приниматься меры для того, чтобы исключить попадание радиоактивного материала в перевозочное средство;

г) неупакованный делящийся материал должен отвечать требованиям подпункта «д» пункта 2.12.2.

Комментарий

В качестве неупакованных материалов, содержащих РМ, могут выступать, например, элементы ОИАЭ, выведенных из эксплуатации, например, трубопроводы.

5.6.5. Пределы активности материалов НУА и ОПРЗ для любого отдельного перевозочного средства не должны превышать пределов, приведенных в таблице № 11 приложения № 4 к настоящим Правилам.

Комментарий

При определении пределов активности материалов НУА и ОПРЗ для перевозочных средств учитывалась повышенная опасность, представляемая жидкостями и газами, горючими твердыми веществами и уровнями загрязнения в условиях аварий.

Термин «Горючие твердые вещества» в таблице № 11 приложения № 4 к НП-053-16 означает все НУА-II и НУА-III в твердой форме, способные поддерживать горение или сами по себе, или в пламени.

5.6.6. В случае перевозки материалов НУА и ОПРЗ, которые представляют собой делящийся материал или содержат делящийся материал, не подпадающий под освобождение по пункту 2.12.2, должны выполняться соответствующие требования пунктов 5.7.6 и 5.7.7.

Комментарий

В пунктах 5.7.6 и 5.7.7 НП-053-16 для упаковок, содержащих ДМ, установлены требования по их размещению при временном хранении, при выполнении которых заведомо обеспечивается ядерная безопасность временного хранения таких упаковок.

5.6.7. В случае перевозки материалов НУА и ОПРЗ, которые представляют собой делящийся материал или содержат делящийся материал, должны выполняться соответствующие требования пунктов 2.12.1 и 2.12.4.

Комментарий

При транспортировании ДМ необходимо проводить анализ ядерной безопасности транспортирования. При этом необходимо учитывать все положения раздела 2.12 НП-053-16.

5.7. Размещение грузов при перевозке и транзитном хранении

5.7.1. При перевозке упаковки должны быть установлены на перевозочном средстве в положение, соответствующее информационным табло и маркировке, и надежно закреплены во избежание самопроизвольного перемещения и опрокидывания упаковочных комплектов при поворотах, толчках, торможении, качке и других воздействиях в обычных условиях перевозки (таблицу № 1 приложения № 4 к настоящим Правилам).

Комментарий

Крепление упаковок внутри транспортного средства или на нем необходимо для исключения падения упаковок во время движения и связанных с этим повреждений. Кроме того, в результате падения упаковок вероятна их потеря. Тяжелые незакрепленные упаковки своими произвольными перемещениями могут оказывать влияние на устойчивость транспортного средства.

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 или населением.

Для закрепления могут быть использованы подстилки, башмаки, блоки или швартовочные тросы. Дополнительные рекомендации по закреплению упаковок приведены в приложении № 3 к настоящим Справочным материалам.

5.7.2. Упаковка или транспортный пакет при условии, что средний тепловой поток у поверхности не превышает 15 Вт/м^2 , а непосредственно окружающий их груз не находится в мешках или пакетах, могут перевозиться среди этого упакованного груза без соблюдения каких-либо особых положений по укладке, кроме случаев, когда в соответствующем сертификате-разрешении может быть оговорено особое требование.

Комментарий

Следует уделять внимание материалам, находящимся рядом с упаковками, для подтверждения того, что в любом отсеке, содержащем упаковки, циркуляция воздуха не ограничена настолько, чтобы вызывать существенное повышение температуры окружающего воздуха в непосредственной близости от упаковок. Если упаковки с РМ выделяют значительное количество тепла, то необходимо разработать инструкцию по складированию упаковок с целью исключения их перегрева.

5.7.3. Загрузка грузовых контейнеров и накопление упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров должны контролироваться следующим образом:

а) за исключением перевозки на условиях исключительного использования и перевозки грузов с материалом НУА-I, общее количество упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров на одном перевозочном средстве ограничивается таким образом, чтобы общая сумма ТИ не превышала величин, указанных в таблице № 6 приложения № 4 к настоящим Правилам;

б) ТИ для каждого транспортного пакета, грузового контейнера или перевозочного средства определяется либо как сумма ТИ всех содержащихся упаковок, либо прямым измерением уровня излучения, за исключением нежестких транспортных пакетов, для которых ТИ определяется только как сумма ТИ всех упаковок;

в) уровень излучения в обычных условиях перевозки не должен превышать 2 мЗв/ч в любой точке на внешней поверхности перевозочного средства, включая трюм, отсек, специально выделенную часть палубы на судах, и не должен превышать 0,1 мЗв/ч на расстоянии 2 м от этой поверхности, за исключением грузов, перевозимых на условиях исключительного использования автомобильным или железнодорожным транспортом, для которых радиационные пределы по периметру транспортного средства указаны в пунктах 5.9.2.2, 5.9.2.3, 5.10.6 настоящих Правил;

г) общая сумма ИБК для грузового контейнера и перевозочного средства не должна превышать значений, указанных в таблице № 7 приложения № 4 к настоящим Правилам.

Комментарий

Имеется ряд причин для ограничения накопления пакетов в группах или в транспортных средствах и грузовых контейнерах. В частности, необходимо предотвращать превышение уровней излучения. Для партий грузов это достигается установкой ограничения на значение ТИ. Кроме того, необходимо предотвращать риск возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления ограничением нейтронного взаимодействия между упаковками, содержащими ДМ.

5.7.4. Временное (транзитное) хранение упаковок, грузовых контейнеров, цистерн и транспортных пакетов может осуществляться на специально выделенных местах складов общего назначения и специально оборудованных складах железнодорожных станций, портов, аэропортов, грузовых автостанций.

Комментарий

Временное (транзитное) хранение груза РМ является этапом (составной частью) транспортирования, которое подлежит лицензированию в качестве вида деятельности, а объекты на которых эта деятельность осуществляется (склады железнодорожных станций, портов, аэропортов, грузовых автостанций и прочее), рассматриваются при лицензировании этого вида

деятельности. В случае непредвиденных остановок в процессе транспортирования ответственность за безопасность, включая сохранность груза, в местах временного (транзитного) хранения, как правило, без осуществления разгрузки транспортного средства, остается на перевозчике, который при необходимости, может согласовать условия хранения с грузоотправителем (грузополучателем), который несет всю полноту ответственности как эксплуатирующая организация.

Целесообразно в программе радиационной защиты при транспортировании рассмотреть и обосновать безопасность условий временного (транзитного) хранения в местах предполагаемой перегрузки груза РМ или в местах вынужденных остановок, если такое не исключается.

5.7.5. При временном (транзитном) хранении упаковки грузовые контейнеры, цистерны и транспортные пакеты должны быть отделены:

- а) от мест, занимаемых фоточувствительными материалами, в соответствии с приложением № 3;
- б) от других опасных грузов с учетом соответствующих правил перевозки и хранения;
- в) от работников (персонала) в рабочих зонах постоянного пребывания расстояниями, рассчитанными с использованием дозового критерия 5 мЗв в год и консервативных модельных параметров;
- г) от лиц из населения в местах общего открытого доступа расстояниями, рассчитанными с использованием дозового критерия 1 мЗв в год и консервативных модельных параметров.

Комментарий

Эффективным путем ограничения уровней излучения в ходе перевозки является установление надлежащих разделяющих расстояний между РМ и местами, где могут присутствовать люди.

Вычисления разделяющих расстояний должны быть основаны на консервативных предположениях.

При расчете разделяющих расстояний для зон транзитного хранения следует принимать во внимание ТИ упаковок и максимальное время нахождения персонала вблизи грузов РМ. Корректность выбора разделяющих расстояний следует проверять посредством измерений.

5.7.6. Количество упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров в группе, содержащих делящиеся материалы, которые при временном (транзитном) хранении находятся в одном месте, должно ограничиваться таким образом, чтобы общая сумма ИБК любой группы таких упаковок, транспортных пакетов или грузовых контейнеров не превышала 50. Группы таких упаковок, транспортных пакетов или грузовых контейнеров должны быть удалены не менее чем на 6 м от других групп таких упаковок, пакетов или грузовых контейнеров.

Комментарий

Требование об удалении групп упаковок друг от друга не менее чем на 6 м необходимо для исключения риска возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления. В случае если 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.

5.7.7. В случае если сумма ИБК нескольких групп упаковок на перевозочном средстве или у грузового контейнера превышает 50, то хранение организуется таким образом, чтобы было

обеспечено их удаление по меньшей мере на 6 м от других групп упаковок, транспортных пакетов или грузовых контейнеров, содержащих делящиеся материалы, или от других перевозочных средств, осуществляющих перевозку радиоактивных материалов.

Комментарий

Значение ИБК упаковки, превышающее 50, в соответствии с требованиями пункта 2.12.10 НП-053-16, означает следующее: менее пяти упаковок с таким ИБК являются подкритическими в нормальных условиях транспортирования при любом их расположении; менее двух таких упаковок остаются подкритическими в аварийных условиях. При данных условиях необходимы дополнительные организационные меры, исключающие скопление упаковок при транспортировании, включая временное хранение, либо меры, обеспечивающие безопасное взаимное расположение упаковок.

5.7.8. Разрешается совместное размещение и перевозка упаковок с различными видами радиоактивных материалов, а также совместное размещение различного вида упаковок с различными ТИ при условии соблюдения указаний таблиц № 6 и 7 приложения № 4 к настоящим Правилам.

При перевозке в специальных условиях совместное размещение упаковок не допускается, за исключением случаев, особо оговоренных в специальных условиях.

Комментарий

При совместном транспортировании упаковок с различными РМ необходимо, чтобы значения их суммарных ТИ и ИБК не превышали пределов, установленных в таблицах № 6 и № 7 приложения № 4 к НП-053-16 для соответствующих грузовых контейнеров и транспортных средств.

В специальных условиях перевозятся грузы, обладающие существенно более опасными свойствами, по сравнению с грузами, перевозимыми в других условиях. В связи с вышесказанным возможность их транспортирования с другими РМ должна быть обоснована отдельно.

5.7.9. Склады временного (транзитного) хранения упаковок оборудуются средствами извещения о пожаре и пожаротушения в соответствии с действующими требованиями в области пожарной безопасности.

Комментарий

Требования в области пожарной безопасности регулируются Федеральным законом Российской Федерации от 22.07.2008 г. № 122-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [83] и Федеральным законом Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [84]. Кроме того, необходимо учитывать требования к системам противопожарной защиты, отраженные, в частности, в документе СП 5.13130.2009 «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические» [85].

На складах временного хранения РМ следует устанавливать оповещатели о возникновении пожара, оборудование мониторинга пожарной обстановки, а также первичные средства пожаротушения, например, огнетушители и пожарные рукава.

В случае если на складе планируется хранение ДМ, применение средств пожаротушения не должно приводить к увеличению значения $K_{эфф}$.

5.8. Перевозка порожних транспортных упаковочных комплектов

5.8.1. Порожний упаковочный комплект, ранее содержавший радиоактивный материал, может перевозиться как освобожденная упаковка при выполнении следующих требований:

- а) упаковочный комплект находится в транспортабельном состоянии, надежно закрыт и опломбирован;
- б) общая активность содержимого в упаковочном комплекте не превышает величин, указанных в колонке 4 таблицы № 9 приложения № 4 для освобожденных упаковок;
- в) уровень нефиксированного радиоактивного загрязнения внутренних поверхностей упаковочного комплекта не превышает более чем в 100 раз значений, указанных в пункте 5.3.9;
- г) уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковочного комплекта не превышает 5 мкЗв/ч, если правилами перевозки опасных грузов, действующими на соответствующих видах транспорта, не установлено значение уровня излучения менее 5 мкЗв/ч;
- д) упаковочные комплекты, в состав которых входят природный уран, необлученный обедненный уран или необлученный природный торий, кроме указанных выше требований должны соответствовать требованиям пункта 5.5.6.

Комментарий

Порожние упаковочные комплекты, ранее содержавшие РМ и имеющие вследствие этого радиоактивное загрязнение или остатки перевозимого РМ, могут перевозиться:

- либо как освобожденная упаковка без использования этикеток и других знаков радиационной опасности, если порожняя упаковка не содержит остатков РМ и не имеет радиоактивного загрязнения;
- 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.

Полагается, что если упаковочный комплект использовался для перевозки РМ, то он отвечает общим требованиям к конструкции всех упаковочных комплектов, то есть по конструкции отвечает требованиям к освобожденным упаковкам и упаковкам типа ПУ-1.

Если порожняя упаковка не содержит РМ, ее перевозка не подпадает под действие НП-053-16. Нужно отметить, что правила ИАТА требуют в сопроводительных документах указывать: «Радиоактивный материал. Освобожденная упаковка UN2909 или UN2908».

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 пункте 5.3.9 НП-053-16, имеют уровень излучения от внешней поверхности ниже 5 мкЗв/ч и находятся в работоспособном состоянии. При этих условиях порожние упаковочные комплекты могут перевозиться как освобожденные упаковки.

В некоторых случаях, например, при возврате порожних упаковок в упаковках типа В, может перевозиться активность до A_2 , и в документации такая перевозка обозначается как перевозка упаковки типа А. С учетом более жестких требований к упаковкам типа В, требования к упаковкам типа А при таких же перевозках выполняются автоматически.

Определение остаточной активности РМ внутри порожнего упаковочного комплекта может быть осуществлено посредством взятия мазков или ряда других методов, включая:

- измерение общей активности и удельной активности;
- определение радионуклидного состава;
- определение 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 чрезмерного облучения персонала в процессе измерения. Особое внимание следует обращать на возможность высоких уровней излучения, когда система герметизации порожнего упаковочного комплекта открыта.

5.8.2. При выполнении требований, указанных в пункте 5.8.1 настоящих Правил, этикетки (знаки опасности) должны быть закрыты или сняты.

Комментарий

Порожняя упаковка, соответствующая требованиям пункта 5.8.1 НП-053-16, не представляет серьезной опасности для персонала и населения. Наличие знаков опасности, нанесенных на такую упаковку при ее прошлой эксплуатации, приведет к неправильному определению содержимого упаковки и его опасности, а также к реализации излишних мер защиты при обращении с данной упаковкой.

5.8.3. В случае невыполнения требований, указанных в подпунктах «б», «в» и «г» пункта 5.8.1, перевозка порожних упаковочных комплектов осуществляется как перевозка упаковок соответствующих типа и категории с соблюдением требований настоящих Правил.

Комментарий

Следующие примеры описывают ситуации, где положения пункта 5.8.1 НП-053-16 не применимы:

а) порожний упаковочный комплект, который не может быть надежно закрыт из-за поврежденных или других механических дефектов, может быть перевезен, например, в специальных условиях;

б) порожний упаковочный комплект, содержащий остатки РМ или внутренние загрязнения сверх пределов, установленных для нефиксированных загрязнений, в соответствии с пунктом 5.8.1 б) НП-053-16, следует перевозить только как категорию упаковок, которые соответствуют количеству, форме остатка РМ и загрязнения.

5.8.4. При всех перевозках порожних упаковочных комплектов следует обеспечивать, насколько это возможно, минимальный уровень радиоактивного загрязнения их внешних поверхностей, который во всех случаях должен быть не более значений, указанных в пункте 5.3.9.

Комментарий

Во всех случаях уровни загрязнения на внешних поверхностях упаковок следует сохранять на минимальном разумно достижимом уровне. Пределы, установленные в пункте 5.3.9 НП-053-16, применяются для всех упаковочных комплектов, в том числе порожних. Для соблюдения данных пределов следует проводить дезактивацию порожней упаковки перед ее перевозкой.

5.8.5. В случае отсутствия радиоактивного содержимого, радиоактивного загрязнения внутренних и наружных поверхностей упаковочного комплекта, подтвержденного грузоотправителем по результатам радиационного контроля, порожние упаковочные комплекты перевозятся как обычный груз, за исключением упаковочных комплектов, в состав которых входят природный уран, необлученный обедненный уран или необлученный природный торий, или другие радиоактивные материалы.

Комментарий

Для документального подтверждения отсутствия РМ и радиоактивного загрязнения следует оформить акт обследования упаковки.

5.9. Требования к перевозке радиоактивных материалов автомобильным транспортом

5.9.1. В дополнение к общим требованиям согласно положениям подразделов 5.1 – 5.8, 5.13 настоящих Правил при перевозке грузов автомобильным транспортом должны быть выполнены требования настоящего подраздела.

5.9.2. Для грузов, перевозимых на условиях исключительного использования, уровень излучения не должен превышать следующих величин.

5.9.2.1. Уровень излучения не должен превышать 10 мЗв/ч в любой точке внешней поверхности любой упаковки или транспортного пакета и может превышать 2 мЗв/ч только при условии, что:

- а) кузов транспортного средства оборудован ограждением, которое при обычных условиях перевозки предотвращает доступ посторонних лиц внутрь ограждения;
- б) предусмотрены меры по закреплению упаковки или транспортного пакета таким образом, чтобы их положение внутри транспортного средства при обычных условиях перевозки осталось неизменным;
- в) не производятся никакие погрузочные или разгрузочные операции во время перевозки.

5.9.2.2. Уровень излучения не должен превышать 2 мЗв/ч в любой точке внешней поверхности транспортного средства, включая верхнюю и нижнюю поверхности, или для открытого транспортного средства в любой точке вертикальных плоскостей, проходящих через внешние края транспортного средства, на верхней поверхности груза и на нижней наружной поверхности транспортного средства.

5.9.2.3. Уровень излучения не должен превышать 0,1 мЗв/ч в любой точке на расстоянии 2 м от вертикальных плоскостей, образованных внешними боковыми поверхностями транспортного средства, или, если груз перевозится на открытом транспортном средстве, в любой точке на расстоянии 2 м от вертикальных плоскостей, проходящих через внешние края транспортного средства.

Комментарий

В большинстве случаев уровень излучения в любой точке внешней поверхности упаковки ограничен значением 2 мЗв/ч. В случае транспортирования упаковок и транспортных пакетов автомобильным транспортом на условиях исключительного использования разрешается превышение предела 2 мЗв/ч, если доступ к закрытым областям транспортного средства ограничен.

Ограничение может быть достигнуто путем использования запирающегося транспортного средства.

При выполнении транзитных операций не следует проводить 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 времени. Если необходимо выполнение работ по обслуживанию на транспортном средстве в течение продолжительного времени, грузоотправителю или грузополучателю следует обеспечивать требуемую защиту от излучения, например, за счет дополнительной защиты и мониторинга уровня излучения.

В случае перевозки автомобильным транспортом упаковку или транспортный пакет следует закреплять с учетом воздействия сил, возникающих в результате ускорения, торможения, поворотов, которые возможны в нормальных условиях перевозки.

При определении мощности дозы для транспортного средства следует учитывать дополнительную защиту внутри перевозочного средства.

5.9.3. На транспортных средствах, перевозящих упаковки, транспортные пакеты или грузовые контейнеры, которые имеют знаки опасности категории «II - ЖЕЛТАЯ» или «III - ЖЕЛТАЯ», не разрешается находиться никому, кроме водителя, грузчика и лица, сопровождающего груз (или ответственного за сопровождение груза). В кузове автотранспортного средства, перевозящего упаковки и транспортные пакеты указанных категорий, не допускается присутствие людей, в том числе и сопровождающего персонала. При перевозке на автомобиле без специального оборудования эти упаковки и транспортные пакеты необходимо по возможности отдалять от кабины водителя.

Комментарий

Ограничения на тех, кому может быть разрешено присутствовать в машинах, перевозящих радиоактивные упаковки со значительным уровнем излучения, предназначены для предотвращения неконтролируемого облучения.

Термин «сопровождающее лицо» следует интерпретировать как работник, в чьи задачи на транспортном средстве входит обслуживание как транспортного средства, так и радиоактивного груза. Сопровождающими лицами, например, не могут быть население или пассажиры, которые находятся на транспортном средстве. Однако сопровождающими лицами могут быть специалисты по радиационной безопасности, присутствующие для выполнения своих обязанностей, или материально ответственное лицо, назначенное для сдачи (приемки) груза.

Транспортные средства следует загружать таким образом, чтобы сводить к минимуму уровни облучения в местах, занятых работниками (персоналом). Этого можно достичь, помещая упаковки с более высокими уровнями излучения в отдалении от зоны, занятой людьми, а 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 до упаковки. Следует предотвращать длительное пребывание персонала в зонах, где имеются значительные уровни излучения.

5.9.4. Водитель и (или) лицо, сопровождающее груз (или ответственный за сопровождение груза), обязаны иметь при себе сопроводительную документацию с учетом требований, приведенных в пункте 5.13, и аварийную карточку.

Комментарий

См. комментарии к пункту 5.13.1 НП-053-16.

5.9.5. Размещение и крепление груза производится под контролем водителя и (или) ответственного за сопровождение груза.

Комментарий

Водитель или ответственный за сопровождение груза должны контролировать правильность осуществления транспортных операций в соответствии с инструкциями и (или) разметкой внутри транспортного средства.

5.9.6. Ответственный за сопровождение груза должен обеспечить, чтобы посторонние лица не находились вблизи автотранспортного средства с грузом.

Комментарий

Дополнительные меры ограничения доступа посторонних лиц к транспортному средству требуются преимущественно при остановках. Под посторонними лицами понимается в первую очередь население, случайные прохожие и другие лица, не имеющие отношения к процессу транспортирования РМ.

5.9.7. При перевозке упаковок, транспортных пакетов, цистерн или грузовых контейнеров, помеченных знаками опасности, приведенными на рис. 2, 3, 4 или 5 приложения № 5 настоящих Правил, на двух внешних боковых стенках и на внешней задней стенке автотранспортного средства должны быть установлены информационные табло, приведенные на рис. 6 приложения № 5 к настоящим Правилам.

В случае, если транспортное средство не имеет боковых стенок, табло могут наноситься непосредственно на модуль, несущий груз, при условии, что они легко различимы. Применительно к цистернам или грузовым контейнерам больших размеров достаточно наличия табло на самих этих предметах. В случае, если конфигурация транспортного средства не позволяет наносить табло более крупных размеров, размеры табло, приведенного на рис. 6 приложения № 5 к настоящим Правилам, могут быть уменьшены до 100 мм. Любые информационные табло, не связанные с содержанием, должны быть сняты.

Комментарий

Наличие информационного табло на боковых и задних стенках автомобиля (модуля, несущего груз, крупногабаритного груза) позволяет предупредить окружающих об опасности груза на всех возможных направлениях приближения к нему. Следует обеспечивать, чтобы информационные табло были четко напечатаны и были устойчивыми к воздействиям погодных условий. Не следует устанавливать на транспортное средство дополнительные знаки, затрудняющие корректную идентификацию груза.

5.9.8. В случае если груз представляет собой неупакованные материалы НУА-I и ОПРЗ-I или груз, перевозимый на условиях исключительного использования, представляет собой неупакованный радиоактивный материал, состоящий из одного предмета, отнесенного к одному номеру ООН, то проставляется также соответствующий номер ООН (приложение № 7 к настоящим Правилам) черными цифрами высотой не менее 65 мм:

а) либо на белом фоне в нижней половине информационного табло, приведенного на рис. 6 приложения № 5 к настоящим Правилам;

б) либо на информационном табло, приведенном на рис. 7 приложения № 5 к настоящим Правилам.

При использовании варианта, указанного в подпункте «б» настоящего пункта, дополнительный знак закрепляется рядом с основным знаком на двух боковых стенках и внешней задней стенке кузова автотранспортного средства.

Комментарий

Размещение номера ООН на транспортном средстве позволяет однозначно определить ряд свойств РМ и упаковки. Данная информация является существенной, в частности, при выборе стратегии ликвидации последствий возможной аварии силами аварийно-спасательного формирования, прибывшего на место аварии.

5.9.9. Во всем, что не предусмотрено настоящими Правилами и не противоречит им, при перевозке радиоактивных материалов автомобильным транспортом необходимо руководствоваться Европейским соглашением о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ/ADR).

Комментарий

Для внутренних перевозок РМ по территории Российской Федерации (то есть, не экспортно-импортных или транзитных перевозок) действуют российские правила перевозки опасных грузов на соответствующих видах транспорта или международные правила, если они приняты в Российской Федерации для таких перевозок.

Международные перевозки автомобильным транспортом по территории Российской Федерации регламентируются Европейским соглашением о дорожной перевозке опасных грузов в международном сообщении (ADR), к которому приложены «Правила перевозок опасных грузов (ДОПОГ)» [4]. Данный документ обновляется под эгидой Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН и принят в Российской Федерации соответствующим постановлением правительства.

5.10. Требования к перевозке радиоактивных материалов железнодорожным транспортом

5.10.1. При перевозке грузов железнодорожным транспортом в дополнение к общим требованиям, установленным в подразделах 5.1 – 5.8, 5.13 настоящих Правил, должны выполняться требования настоящего подраздела.

5.10.2. Перевозка грузов может осуществляться в грузовых поездах повагонными, мелкими и контейнерными отправлениями в крытых вагонах (без тормозных площадок), специализированных багажных вагонах, полувагонах и на платформах, в грузовых контейнерах.

Для постоянной перевозки упаковок в любом сочетании могут быть использованы специально оборудованные вагоны (вагоны-контейнеры и др.).

Комментарий

Возможный вид отправки груза РМ зависит от массы партии груза и ее ТИ.

При достаточном размере партии груз РМ может быть отправлен повагонной отправкой (что практически эквивалентно понятию «исключительное использование»). Независимо от массы,

повагонными отправлениями должны перевозиться упаковки, требующие перевозки на условиях исключительного использования, а также группы упаковок любой категории, сумма ТИ которых выше 50.

Мелкими отправлениями 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.

Грузоотправитель обязан предъявлять к перевозке упаковки с РМ, следующие в один адрес, в пакетированном виде в соответствии с требованиями правил перевозок грузов в транспортных пакетах. Масса пакета, отправляемого мелкой отправкой, не должна превышать 1 т.

Учитывая возможные задержки отправки 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. Однако возможность, условия и способ перевозки таких упаковок должны в каждом отдельном случае определяться грузоотправителем по согласованию с федеральным органом исполнительной власти, в область ответственности которого входит обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте.

К перевозке 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;
- грузы 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 отделяется не менее чем одним вагоном (порожним вагоном или с вагоном с неопасным грузом)

от пассажирских вагонов, грузовых вагонов с людьми, вагонов, имеющих тормозную площадку, и вагонов с другими опасными грузами.

5.10.3. Груз следует по возможности перевозить в поездах прямого назначения.

Перевозка некоторых радиоактивных материалов может осуществляться специальными поездами, состоящими только из вагонов с радиоактивными материалами и при необходимости вагонов сопровождения.

Подъездные железнодорожные пути грузоотправителя (грузополучателя) должны обеспечивать прием и отправление таких поездов в полном составе, их формирование и расформирование, безопасное проведение маневровой работы, а также безопасный пропуск специальных вагонов для перевозки радиоактивных материалов, экипировку и техническое обслуживание этих вагонов.

Комментарий

Перевозка в поездах прямого назначения минимизирует необходимость временного (транзитного) хранения РМ в пути, а также проведения перегрузок РМ с одного поезда на другой. Часть РМ, например, ДМ, на которые распространяется действие постановления Правительства РФ от 19.06.2007 г. № 456 «Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов» [25], должна находиться под усиленной охраной (включая места транзитного хранения), а наличие вагонов, не связанных с транспортированием РМ (например, вагонов с другими грузами), должно быть исключено.

5.10.4. Урановые и ториевые руды следует перевозить в вагонах и полувагонах в таре, исключающей попадание груза в вагон и окружающую среду при обычных условиях перевозки.

Комментарий

Выполнение данного требования позволяет ограничить токсическое воздействие урана и тория на персонал и население при обычных условиях перевозки.

5.10.5. Допускается перевозка мелкими и контейнерными отправлениями упаковок всех категорий, за исключением упаковок с уровнем излучения на поверхности более 2 мЗв/ч и (или) ТИ более 10. Накопление упаковок контролируется согласно пункту 5.7.3.

Комментарий

Под мелкой отправкой в данном пункте подразумевается транспортирование РМ, при котором в вагоне, предназначенном для транспортирования, могут находиться другие, в том числе нерадиоактивные, грузы.

5.10.6. При перевозке на условиях исключительного использования уровень излучения не должен превышать величин, указанных в пункте 5.9.2, с учетом принятия дополнительных мер согласно пункту 5.9.2.1.

Комментарий

В качестве дополнительных мер защиты персонала и населения от излучения могут применяться блокировки (замки), ограничивающие проникновение посторонних лиц внутрь вагона при стоянках. Кроме того, следует закрепить груз РМ таким образом, чтобы он находился на как можно большем удалении от боковых поверхностей вагона.

5.10.7. Лица, сопровождающие радиоактивные материалы при перевозке, обязаны предъявлять представителям органов, уполномоченных осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор на объектах железнодорожного транспорта и осуществляющих в установленном порядке радиационный контроль на железнодорожном транспорте, протоколы измерений радиационных характеристик транспортных упаковочных комплектов и железнодорожного подвижного состава, выполненные в соответствии с установленными требованиями.

Комментарий

В протоколах измерений радиационных характеристик ТУК следует подтвердить соблюдение соответствующих требований НП-053-16 в части ограничения уровней излучения и поверхностного загрязнения.

5.10.8. Способы погрузки, размещения и крепления груза на железнодорожном подвижном составе разрабатываются грузоотправителем и должны соответствовать техническим условиям погрузки и крепления грузов на железнодорожном транспорте.

Комментарий

Способы погрузки, размещения и крепления упаковок должны учитывать все опасные свойства перевозимого груза.

5.10.9. На боковых стенках железнодорожного подвижного состава устанавливаются информационные табло согласно пункту 5.9.7, за исключением торцевых стенок.

Комментарий

Знаки опасности наносятся на обе боковые стенки вагона с РМ.

Сопровождающий персонал, обязательно направляемый для сопровождения грузов РМ в вагонах, на которых не устанавливаются знаки радиационной опасности (например, при специальных перевозках), 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.

5.10.10. При перевозке на условиях исключительного использования в случае необходимости перегрузка груза из неисправного железнодорожного подвижного состава грузоотправителя (грузополучателя) осуществляется силами грузоотправителя (грузополучателя).

Для выполнения указанных работ грузоотправитель (грузополучатель) в течение суток должен направить бригаду работников. Организации железнодорожного транспорта могут предоставлять в установленном порядке погрузочно-разгрузочные машины и механизмы для осуществления перегрузки.

Комментарий

Грузоотправителю (грузополучателю) следует заблаговременно определить лиц, ответственных за выполнение перегрузок груза из неисправного железнодорожного состава.

5.10.11. Кроме соответствующих требований данного подраздела, при перевозке грузов (в том числе радиоактивных фармацевтических препаратов) в багажных вагонах должны быть выполнены условия, указанные в санитарных правилах при транспортировании радиоактивных материалов.

Перевозка радиоактивных материалов в передвижных камерах хранения осуществляется по согласованию с органами, уполномоченными осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор на объектах железнодорожного транспорта.

Комментарий

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 подведомственен конкретный грузоотправитель (грузополучатель).

Передача такой информации осуществляется в соответствии с порядком, установленным нормативными документами.

5.10.12. Возможность и условия перевозки упаковок в отдельном купе пассажирского поезда с сопровождающим персоналом регламентируются санитарными правилами при транспортировании радиоактивных материалов, введенными в действие федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным осуществлять государственный санитарный и эпидемиологический надзор.

Комментарий

Перевозки РМ в купе пассажирских поездов регламентируются санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами «Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)» СанПиН 2.6.1.1281-03 [86].

5.10.13. Конструкция транспортного упаковочного комплекта должна обеспечивать устойчивость комплекта при перевозке, надежное и соответствующее техническим условиям погрузки и крепления закрепление его на железнодорожном подвижном составе, нагрузку на пол вагона не более 2200 кгс/м², а на пол универсального контейнера – не более 1000 кгс/м².

Комментарий

При транспортировании РМ железнодорожным транспортом должен быть максимально снижен риск повреждения упаковки в результате возможных толчков, поворотов и других воздействий. Дополнительные рекомендации по креплению упаковок приведены в приложении № 3 к настоящим Справочным материалам.

5.10.14. Во всем, что не предусмотрено настоящими Правилами и не противоречит им, при перевозке радиоактивных материалов железнодорожным транспортом необходимо руководствоваться правилами перевозки грузов (опасных грузов), действующими на железнодорожном транспорте Российской Федерации.

Комментарий

Перевозка опасных грузов по железным дорогам регламентируется документом «Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом» (РД 15-73-94) [87].

5.11. Требования к перевозке радиоактивных материалов на судах морского и речного флота

5.11.1. В дополнение к общим требованиям согласно положениям подразделов 5.1 – 5.8, 5.13 настоящих Правил при перевозке груза на судах морского и речного флота должны быть выполнены требования настоящего подраздела.

5.11.2. Грузовые и грузопассажирские морские и речные суда должны иметь класс Российского морского регистра судоходства или Российского речного регистра судоходства (для судов, совершающих рейсы по внутренним судоходным путям) или иностранного классификационного общества-члена МАКО (Международной ассоциации классификационных обществ) и соответствовать требованиям Международного кодекса морской перевозки опасных грузов (Кодекс ММОГ) Международной морской организации или РД 31.15.01-89 «Правила морской перевозки опасных грузов (Правила МОПОГ)», что применимо к судам, перевозящим грузы класса 7.

К перевозке на грузовых и грузопассажирских морских и речных судах допускаются упаковки I, II и III категорий. Перевозка упаковок с уровнем излучения на поверхности более 2 мЗв/ч осуществляется только в условиях исключительного использования или на специальных условиях с учетом санитарных правил при транспортировании радиоактивных материалов.

Комментарий

В случае перевозки морским транспортом 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. Для упаковок, имеющих уровень излучения на поверхности больше, чем 2 мЗв/ч, вводятся дополнительные ограничения. Так, перевозить морем любую упаковку, уровень излучения на поверхности которой превышает 2 мЗв/ч, необходимо только на условиях исключительного использования, за исключением тех случаев, когда упаковки размещены в вагоне или автотранспортном средстве, перевозимом на условиях исключительного использования. В данном случае желательно выделять специальную площадь для размещения таких вагонов или автотранспортных средств на судне. Выделение данной площади может быть целесообразно, в частности, на судах, выполняющих регулярные рейсы с грузами РМ, размещенными в других транспортных средствах (например, на паромах).

Более подробно требования к перевозке опасных грузов морским транспортом описаны в Кодексе ММОГ [2] и Кодексе ОЯТ [88] для соответствующих видов РМ. Так, например, в соответствии с положениями Кодекса ОЯТ [88] суда классов ОЯТ 1 – 3 должны иметь Международное свидетельство о годности судна к перевозке груза ОЯТ (пункт 1.3.2 Кодекса ОЯТ [88]), а также должны предусматривать вентиляцию или охлаждение закрытых грузовых помещений с целью не превышения температуры воздуха в помещениях + 55 °С (пункт 4.1 Кодекса ОЯТ [88]).

5.11.3. Перевозка упаковок на борту судна специального назначения, которое в силу своей конструкции или условий фрахта специально предназначено для перевозки только радиоактивных материалов, не подпадает под действие требований об ограничении уровня излучений и суммарного значения ИБК, указанных в пункте 5.7.3, при выполнении следующих условий:

а) в случае перевозки, осуществляемой зарубежными судоходными компаниями, программа радиационной защиты для перевозки должна быть одобрена компетентным органом страны

приписки судна и в случае необходимости компетентным органом страны каждого из портов захода;

б) в случае перевозки, осуществляемой российскими судоходными компаниями, программа радиационной защиты для перевозки должна быть одобрена ГКО и органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии;

в) условия размещения груза заранее определены для всего рейса, включая любые грузы, которые должны быть загружены в портах захода на маршруте;

г) погрузка, размещение, крепление и выгрузка грузов контролируются представителем грузоотправителя (грузополучателя), квалифицированным в области перевозки радиоактивных материалов, и сюрвейером перевозчика.

Комментарий

Под судами специального назначения понимаются суда, спроектированные или переоборудованные специально для перевозки РМ. Другие грузы на подобных судах не перевозятся. При определении порядка размещения РМ на судне специального назначения следует учитывать уровни радиоактивного излучения от упаковок, характеристики судна, длительность рейса и количество РМ. Дополнительно при размещении РМ следует учитывать уровни тепловыделения от упаковок, а также ИБК. В ходе рейса следует организовать радиационный контроль. При транспортировании за пределы Российской Федерации необходимо учитывать требования законодательства страны назначения.

Программа радиационной защиты может быть согласована с органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии после организации необходимой экспертизы в соответствии с положениями пункта б.2 постановления Правительства Российской Федерации «О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору» от 30.07.2004 г. № 401 [89].

При транспортировании РМ следует руководствоваться, в том числе, приложением к Кодексу ММОГ [2], в котором содержатся рекомендации по перевозке таких грузов морским транспортом (Кодекс ОЯТ [88]).

5.11.4. Места размещения упаковочных комплектов с радиоактивными материалами должны быть обозначены информационными табло согласно рисунку 6 приложения № 5 к настоящим Правилам. Эти места должны находиться от грузовых мест размещения грузов с фоточувствительными материалами на расстоянии, не меньшем указанного в приложении № 3 к настоящим Правилам.

За исключением грузов с делящимися материалами, между местами, где размещены грузы радиоактивных материалов, и местами пребывания людей, а также местами размещения грузов с фоточувствительными материалами целесообразно по возможности размещать другие грузы для ослабления излучения.

Комментарий

Запрет на размещение между грузами с ДМ других грузов связан с необходимостью обеспечения 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.

5.11.5. Перед предъявлением к перевозке груза грузоотправитель должен представить перевозчику правильно оформленный погрузочный ордер с указанием:

- наименования радиоактивного материала;
- его активности;
- ТИ (суммарного и отдельных упаковок);
- ИБК (суммарного и отдельных упаковок);
- обозначения группы для материалов НУА и ОПРЗ;
- массы (суммарной и отдельных упаковок);
- других данных, перечисленных в пункте 5.13.1.

В случае необходимости при предъявлении к перевозке короткоживущих изотопов грузоотправитель должен указать в погрузочном ордере допустимый срок пребывания груза в пути.

Комментарий

В отличие от требований к перевозке РМ другими видами транспорта, при перевозке морским транспортом в транспортный документ (ордер) необходимо дополнительно включать сведения о массе всех РМ (а не только ДМ), ТИ (вне зависимости от категории упаковок), а также ИБК (вне зависимости от того, является ли РМ освобожденным от требований к ДМ).

5.11.6. Грузоотправитель может завозить в порт и сдавать для отправки упаковки не позднее чем за 2 часа до отправления судна, если иное не оговорено в погрузочном ордере или в других транспортных документах.

Комментарий

Два часа позволяют в большинстве случаев обеспечить достаточно времени для погрузки большого числа упаковок с РМ на борт судна.

5.11.7. Сопровождающий персонал обязан предъявить органам санитарного надзора по их требованию протоколы дозиметрических измерений, составленные грузоотправителем (грузополучателем).

Комментарий

В протоколе дозиметрических измерений следует указать средства измерений, сведения о их поверке, результаты измерений уровня излучения в контрольных точках, заключение по результатам измерений и другие необходимые сведения.

5.11.8. По прибытии груза в порт назначения капитан порта должен немедленно известить об этом грузополучателя, который обязан вывезти груз с территории порта в кратчайший срок. Грузополучатель обязан ко времени прибытия груза с делящимися материалами обеспечить предоставление перевозочных средств для его вывоза с территории порта.

Комментарий

Грузополучателю следует заблаговременно определить лиц, ответственных за своевременный вывоз РМ с территории порта прибытия.

5.11.9. Возможность и условия перевозки упаковок с сопровождающим персоналом регламентируются санитарными правилами при транспортировании радиоактивных материалов.

Лицо, сопровождающее упаковки, обязано заблаговременно явиться к капитану порта и предъявить документы, подтверждающие, что предъявителю поручена перевозка упаковок. В документах также должны быть указаны пункты отправления и назначения, категория упаковок, число мест и масса упаковок.

Комментарий

Дополнительные требования могут быть введены санитарными или санитарно-гигиеническими правилами, регламентирующими перевозки РМ.

5.11.10. При перевозке упаковок, транспортных пакетов и грузовых контейнеров, требующих специальных способов размещения и крепления, для выполнения требований Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74), Кодекса безопасной практики по укладке и креплению груза (издание Международной морской организации) и Международного кодекса морской перевозки опасных грузов (Кодекс ММОГ) Международной морской организации должна быть разработана технологическая карта размещения радиоактивных материалов на судне.

Комментарий

В технологической карте следует привести технические средства и организационные мероприятия, обеспечивающие выполнение требований международных документов.

5.11.11. Во всем, что не предусмотрено настоящими Правилами и не противоречит им при морской перевозке радиоактивных материалов, необходимо руководствоваться Правилами морской перевозки опасных грузов, действующими в Российской Федерации, и/или требованиями Международного кодекса морской перевозки опасных грузов (Кодекс ММОГ) Международной морской организации, а при перевозке речным транспортом необходимо руководствоваться Европейским соглашением о перевозке опасных грузов внутренними водными путями (ВОПОГ/AND).

Комментарий

Дополнительные требования к регламентации условий перевозки РМ на судах морского и речного транспорта устанавливаются Правилами морской перевозки опасных грузов (РД 31.15.01-89) [90] и требованиями Кодекса ММОГ [2].

5.12. Требования к перевозке радиоактивных материалов воздушным транспортом

5.12.1. В дополнение к общим требованиям согласно положениям подразделов 5.1 – 5.8, 5.13 настоящих Правил при перевозке всех видов радиоактивных материалов воздушным транспортом должны быть выполнены требования настоящего подраздела.

5.12.2. На пассажирском и грузовом воздушном транспорте могут перевозиться упаковки I, II и III категорий, а также освобожденные упаковки.

Комментарий

При транспортировании РМ по воздуху вводятся дополнительные ограничения, которые запрещают перевозить РМ пассажирским воздушным транспортом на условиях исключительного использования, а также запрещают перевозить упаковки типа В(М).

5.12.3. Запрещается перевозка радиоактивных материалов в багаже пассажиров.

Комментарий

Данное требование распространяется и на багаж пассажиров, размещаемый в пассажирском салоне, и на багаж пассажиров в багажных отсеках. Данный багаж может не соответствовать требованиям НП-053-16 и других документов.

Требование не запрещает перевозку в багажных отсеках грузов РМ, представленных грузоотправителем в установленном порядке, а не перевозимых в багаже пассажиров.

5.12.4. Упаковки типа В(М) и грузы на условиях исключительного использования не должны перевозиться пассажирским воздушным транспортом.

Комментарий

Грузы РМ, перевозимые на условиях исключительного использования, характеризуются большим уровнем ионизирующего излучения и требуют особых условий обращения с ними. Безопасность пассажиров, совершающих перелет совместно с такими грузами, зачастую не может быть обеспечена.

Следует отметить, что требованиями данного пункта не запрещается перевозить упаковки типа В(М) или грузы РМ на условиях исключительного использования в самолетах, приспособленных для перевозки пассажиров, но не перевозящих никаких пассажиров в данном полете.

5.12.5. Упаковки типа В(М) со сбросом избыточного давления, требующие внешнего охлаждения с помощью вспомогательной системы, упаковки, требующие эксплуатационного контроля во время перевозки, упаковки, содержащие жидкие пирофорные вещества, а также радиоактивные материалы, самовозгорающиеся на воздухе, не должны перевозиться воздушным транспортом.

Комментарий

При транспортировании по воздуху вероятно значительное снижение давления окружающего воздуха на высоте. Для некоторых воздушных судов это частично компенсируется системой герметизации, однако такая система не является абсолютно надежной. Системы сброса давления в упаковках типа В(М) рассчитаны на уровень внешнего давления, равный атмосферному, и могут не быть работоспособными при существенном снижении давления окружающего воздуха.

Обоснование работоспособности других вспомогательных систем упаковки, включая систему охлаждения, во время перелетов также затруднено.

5.12.6. Перевозка радиоактивных материалов на воздушных судах должна по возможности производиться прямыми рейсами и с минимально возможным количеством посадок.

Комментарий

Требование о минимизации количества посадок введено с целью снижения облучения персонала и населения в ходе стоянок и при временном хранении РМ в самолете.

5.12.7. Радиоактивные материалы должны размещаться на максимально возможном расстоянии от мест постоянного пребывания экипажа, сопровождающих и пассажиров. Минимальные расстояния определены в Технических инструкциях по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху (Doc 9284-AN/905) ИКАО.

Комментарий

Воздушное судно следует загружать таким образом, чтобы сводить к минимуму уровни облучения в местах, занятых персоналом. Этого можно достичь, помещая упаковки с более высокими уровнями излучения дальше от зоны, занятой персоналом, а тяжелые упаковки с низкими уровнями излучения – ближе к этой зоне.

При выборе минимальных разделяющих расстояний следует руководствоваться Техническими инструкциями по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху (документ ИКАО, 9284-AN/905) [32]. Пример определения разделяющих расстояний также приведен в приложении № 4 к настоящим Справочным материалам.

5.12.8. При перевозке упаковок в багажных отсеках они должны быть удалены от ручной клади на расстояние согласно приложению № 3 к настоящим Правилам.

Комментарий

Выполнение данного требования позволяет исключить воздействие ионизирующего излучения на фоточувствительные материалы, которые могут находиться в ручной клади.

5.12.9. Общая масса и суммарный ТИ при перевозке упаковок на воздушных судах в каждом отдельном случае согласовываются с перевозчиком.

Комментарий

Воздушное судно имеет определенный предел грузоподъемности, который необходимо учитывать при выборе максимальной массы транспортируемого груза.

5.12.10. При перевозке упаковок, имеющих удельную нагрузку на площадь пола помещений перевозочных средств, превышающую допустимую, должны использоваться специальные средства для распределения нагрузки от груза.

Комментарий

Выполнение данного требования позволяет равномерно распределить вес упаковки по внутренней площади самолета.

5.12.11. При предъявлении к перевозке одной или нескольких упаковок и транспортных пакетов массой более 90 кг (каждый) грузоотправитель должен согласовать порядок их погрузки и выгрузки с перевозчиком.

На упаковки, транспортные пакеты, грузовые контейнеры и цистерны массой более 50 кг должно быть нанесено не смываемое водой обозначение положения центра тяжести.

Комментарий

При обращении с массивными упаковками следует применять вспомогательные средства, облегчающие их погрузку и выгрузку. У части перевозчиков может не оказаться таких дополнительных средств, в связи с чем введено требование о необходимости согласования порядка погрузки и выгрузки упаковок.

5.12.12. Если радиоактивные материалы нельзя перевозить при пониженных (до -40°C) и повышенных (до 55°C) температурах, а также при пониженном (до 5 кПа) давлении, грузоотправитель должен отметить это в грузовой накладной в графе «Особые отметки» и на этикетке категории, а также согласовать эти условия с перевозчиком. Если эти условия не могут быть обеспечены, груз не должен приниматься к перевозке.

Комментарий

Данное требование обусловлено тем, что грузовые отсеки воздушных судов зачастую не герметичны. В зависимости от высоты полета значения давления и температуры в негерметизированных грузовых отсеках могут выйти за допустимые пределы для перевозимых упаковок. Данное обстоятельство необходимо учитывать при планировании перелета.

5.12.13. Перевозка радиоактивных материалов воздушным транспортом осуществляется на основании разовых заявок. В заявке, которая представляется грузоотправителем перевозчику, должна быть представлена информация согласно пункту 5.13.1.

Комментарий

Заявки на перевозку РМ следует оформлять заблаговременно с целью своевременной подготовки воздушного транспорта и персонала.

5.12.14. Завоз радиоактивных материалов производится:

- а) в аэропорты, имеющие пункты хранения упаковок с соответствующими радиоактивными материалами, не позже, чем за 3 часа до отправления самолета;
- б) в аэропорты, где нет такого склада, непосредственно ко времени, устанавливаемому руководителем аэропорта.

Время завоза для погрузки на грузовые воздушные суда, в том числе специально выделенные, согласовывается с руководителем аэропорта.

Комментарий

При завозе РМ в аэропорт необходим запас времени для загрузки упаковок на самолет. При этом необходимо учитывать, что в части аэропортов отсутствуют специализированные пункты хранения РМ. Хранение РМ на территории таких аэропортов может быть сопряжено с повышенным радиационным воздействием на персонал и население.

5.12.15. В случае отмены рейсов из-за неблагоприятных метеорологических условий или по другим причинам, когда невозможна доставка радиоактивных материалов в пункт назначения в срок, указанный грузоотправителем (в заявке или грузовой накладной), руководитель аэропорта обязан своевременно известить грузоотправителя о необходимости вывоза радиоактивных материалов из аэропорта и сообщить ему дату возобновления перевозки.

Комментарий

Оповещение грузоотправителя необходимо проводить по возможности сразу после выявления факта невозможности отправки груза РМ.

5.12.16. На перевозку радиоактивных материалов грузоотправитель должен заполнять грузовую накладную, применяемую для перевозки опасных грузов (с красной полосой по диагонали).

На грузовых накладных (в верхней части) должен быть проставлен штамп «Радиоактивность». При перевозке короткоживущих изотопов в верхней части грузовой накладной грузоотправитель проставляет штамп красной мастикой со словами: «Короткоживущие изотопы. Срок доставки ... час.».

Комментарий

Требование пункта не освобождает от необходимости оформления других транспортных документов с приведением в них информации, не указываемой в грузовой накладной (пункт 5.13.1 НП-053-16).

5.12.17. Перед погрузкой (выгрузкой) упаковок III категории администрация аэропорта или лицо, ответственное за обеспечение радиационной безопасности, обязаны поставить в известность работников инженерно-авиационной службы, проинструктировать экипаж воздушного судна и работников, производящих погрузку, о порядке обращения с упаковками и конкретно указать им, в каком помещении и на каком удалении от мест постоянного пребывания экипажа, пассажиров, багажа и ручной клади, а также грузов с фоточувствительными материалами должны быть расположены упаковки, как и чем они должны быть закреплены. При погрузке (выгрузке) на специально выделенные воздушные суда эти указания выполняются с учетом инструкций грузоотправителя.

Комментарий

Администрацией аэропорта, в котором осуществляется обращение с упаковками III категории, должны быть разработаны должностные инструкции, содержащие подробные указания по действиям работников в ходе различных операций с РМ, включая их погрузку на воздушное судно, выгрузку из него и другие. Требования данных инструкций могут быть основаны на требованиях инструкций грузоотправителя.

5.12.18. После загрузки специально выделенного воздушного судна грузоотправитель измеряет мощность дозы излучения на соответствие требованиям применимых пунктов настоящих Правил. Результаты измерений оформляются актом, который подписывают дозиметрист от грузоотправителя и лицо, ответственное за обеспечение радиационной безопасности в аэропорту.

Комментарий

В соответствии с требованиями пункта 5.7.3 в) НП-053-16 мощность дозы излучения не должна превышать 2 мЗв/ч на поверхности транспортного средства, в том числе самолета, а также не должна превышать 0,1 мЗв/ч на расстоянии 2 м от этой поверхности.

5.12.19. В аэропортах с массовым отправлением и прибытием радиоактивных материалов должен быть обеспечен систематический радиационный контроль упаковок, перевозочных средств, персонала и работ.

Комментарий

При определении мер радиационного контроля следует учитывать количество, тип и категорию упаковок, транспортирование которых осуществляется через аэропорт, длительность транспортно-технологических операций, а также их особенности. В аэропорту должны быть определены ответственные за проведение мероприятий по радиационному контролю, а лица, задействованные в данных мероприятиях, должны пройти соответствующее обучение.

5.12.20. Упаковки или транспортные пакеты, имеющие уровень излучения на поверхности выше 2 мЗв/ч, не должны перевозиться воздушным транспортом, за исключением случаев перевозки в специальных условиях.

Комментарий

Требования для грузов, которые следует перевозить в специальных условиях, предусматривают участие компетентного органа и допускают разработку специальных мер предосторожности при обращении во время загрузки, в полете или в любых промежуточных точках перевозки.

Разрешение на специальные условия должно включать рассмотрение условий по обслуживанию, загрузке и размещению в полете для обеспечения контроля дозы облучения экипажа, персонала наземной поддержки и населения. Это может потребовать специальных инструкций для членов экипажа, оповещения соответствующих лиц, таких как персонал терминала в месте назначения и в промежуточных точках, и специального рассмотрения процедур перегрузки на другие виды транспорта.

5.12.21. Во всем, что не предусмотрено настоящими Правилами и не противоречит им при перевозке радиоактивных материалов воздушным транспортом, необходимо руководствоваться Техническими инструкциями по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху (документ ИКАО 9284-AN/905).

Комментарий

В ТИ ИКАО [32] установлены более подробные требования к перевозке опасных грузов (в том числе РМ) по воздуху. Хотя в части РМ требования ИКАО [32] в целом основаны на положениях Правил МАГАТЭ, существуют отдельные общие требования, которые необходимо выполнять при перевозке РМ по воздуху, например, по оформлению дополнительной документации (авиационной накладной) и маркировке места размещения груза.

5.13. Особенности оформления транспортных документов при перевозке радиоактивных материалов

5.13.1. На каждый груз грузоотправителем должен быть составлен транспортный документ (в соответствии с правилами перевозки опасных грузов на конкретном виде транспорта), сопровождающий груз, в который должна быть включена идентификация грузоотправителя и грузополучателя, включая их наименования и адреса, и следующая информация в указанной последовательности:

- а) номер ООН, назначенный данному материалу, как указано в приложении № 7 к настоящим Правилам;
- б) транспортное наименование, как указано в приложении № 7 (таблица № 1) к настоящим Правилам;
- в) номер класса ООН для опасного груза — «7»;
- г) после основного класса или подкласса опасности в скобках должны быть приведены номера дополнительного класса или подкласса опасности, если таковые присваиваются, и они должны соответствовать наносимому знаку дополнительной опасности;
- д) название или символ каждого изотопа, или для смеси радионуклидов соответствующее общее описание, или перечень наиболее ограничивающих радионуклидов;
- е) описание физической и химической формы материала или запись о том, что материал представляет собой радиоактивный материал особого вида или радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию; для химической формы допустимо общее химическое описание;

ж) максимальная активность радиоактивного содержимого во время перевозки, выраженная в беккерелях (кюри), с соответствующей приставкой СИ (приложение № 9 к настоящим Правилам); для делящегося материала также указывается масса в граммах или единицах, кратных грамму (г);

з) категория упаковки;

и) ТИ (только для категорий «II - ЖЕЛТАЯ» и «III - ЖЕЛТАЯ»);

к) для делящегося материала:

- если он перевозится на условиях освобождения в соответствии с одним из подпунктов «а» – «е» пункта 2.12.2, — указание на этот пункт;
- если он перевозится на условиях освобождения в соответствии с одним из подпунктов «в» – «д» пункта 2.12.2, — общая масса делящихся нуклидов;
- если он содержится в упаковке, на которую распространяется один из подпунктов «а»–«в» пункта 2.12.13 или пункта 2.12.14, — указание на этот пункт;
- ИБК для делящегося материала, за исключением делящегося материала, освобожденного от требований настоящих Правил в соответствии с одним из подпунктов «а»–«е» пункта 2.12.2.

л) опознавательный знак сертификатов-разрешений, примененный для данного груза;

м) для груза, содержащего упаковки в грузовом контейнере или транспортном пакете, подробно указывается содержимое каждой упаковки; если в пункте промежуточной разгрузки упаковки должны извлекаться из грузового контейнера или транспортного пакета, подготавливается соответствующая документация;

н) если груз необходимо перевозить на условиях исключительного использования, то делается запись: «Перевозка на условиях исключительного использования» или «Повагонная отправка» для железнодорожного транспорта;

о) для грузов НУА-II, НУА-III, ОПРЗ-I и ОПРЗ-II указывается общая активность в единицах, кратных A_2 ; для радиоактивного материала, для которого величина A_2 не ограничивается, значение, кратное A_2 , равняется нулю;

п) номер аварийной карточки для данного груза и указание, где она должна находиться;

р) заверение грузоотправителя, включающее следующий текст:

«Я настоящим заявляю, что содержимое данного груза полностью и точно описано надлежащим транспортным наименованием, оно классифицировано, упаковано, маркировано и снабжено знаками опасности/информационными табло и во всех отношениях находится в должном состоянии для перевозки в соответствии с требованиями Правил безопасности при транспортировании радиоактивных материалов и правил (инструкции)...» (указывается соответствующий документ, действующий на данном виде (видах) транспорта).

Заверение должно быть датировано и подписано ответственным представителем грузоотправителя с указанием его должности и фамилии;

с) дополнительные эксплуатационные требования к погрузке, укладке, перевозке, обращению и выгрузке упаковки, транспортного пакета, грузового контейнера, включая любые специальные методы укладки для обеспечения безопасного отвода тепла, или уведомление о том, что таких требований не имеется;

т) ограничения, касающиеся вида транспорта или перевозочного средства, и любые необходимые указания о маршруте.

Комментарий

Перечень информации, предоставляемой грузоотправителем, предназначен для информирования перевозчика, грузополучателя и других заинтересованных сторон о точной природе груза и организации необходимых действий. При подготовке этой информации грузоотправитель также получает напоминание об основных нормативных требованиях, применимых к грузу в ходе его подготовки к перевозке и при отправке.

Перечень надлежащих транспортных наименований и соответствующие номера ООН приведены в приложении № 7 к НП-053-16.

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.

Примерами надлежащего транспортного наименования могут являться:

- 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, неделиющийся или делящийся освобожденный;
- ООН № 2915 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А;
- ООН № 3332 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А, ОСОБОГО ВИДА, неделиющийся или делящийся освобожденный;
- ООН № 3332 РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, УПАКОВКА ТИПА А, ОСОБОГО ВИДА.

Если в упаковочном комплекте есть остатки РМ, упаковочный комплект не следует называть «порожним упаковочным комплектом» и его следует транспортировать как упаковку с РМ. Количество остатка будет определять категорию упаковки.

Необходимо чтобы максимальная активность содержимого во время перевозки была указана в транспортных документах. В некоторых случаях активность может возрасти в результате накопления дочерних нуклидов в ходе перевозки. В таких случаях следует определять максимальную активность.

5.13.2. В грузовую накладную на груз включаются сведения согласно подпунктам «б», «д», «ж», «з», «к», «л», «м» и краткая информация о наличии заверения грузоотправителя согласно подпункту «р» пункта 5.13.1.

На грузовой накладной ставится штампель «Радиоактивно».

Комментарий

В грузовую накладную на груз следует включать только информацию, которой достаточно для однозначной идентификации РМ.

5.13.3. Грузоотправитель, прежде чем приступить к загрузке, отправке и перевозке упаковок, должен иметь экземпляр каждого сертификата-разрешения, требуемого в соответствии с положениями главы IV настоящих Правил, и копии инструкций по эксплуатации упаковочных комплектов.

Комментарий

В сертификатах-разрешениях и инструкциях по перевозке и эксплуатации упаковочных комплектов могут быть описаны особые положения, которые необходимо учитывать при транспортировании, в частности, порядок организации временного хранения.

5.13.4. Перевозчик, прежде чем приступить к перевозке упаковок, должен иметь копию лицензии, разрешающей осуществлять перевозку радиоактивных материалов, полученной в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Комментарий

В процессе перевозки возможно осуществление проверок, в ходе которых перевозчик должен предъявлять проверяющим лицам копии лицензий на перевозку соответствующих РМ, грузовую накладную (в соответствии с требованиями пунктов 5.12.16 и 5.13.2 НП-053-16), акт (протокол) радиационного контроля (в соответствии с требованиями пункта 6.5 НП-053-16), копию сертификата-разрешения (в соответствии с требованиями пункта 5.13.5 НП-053-16), копию разрешения Ростехнадзора на право ведения работ в области использования атомной энергии у работников надлежащих должностей, участвующих в транспортировании (на практике у капитанов морских и воздушных судов), или разрешения ДОПОГ у водителей автотранспорта, а также копию страхового полиса об ответственности за ущерб, причиненный радиационным воздействием при транспортировании РМ юридическим и физическим лицам, здоровью граждан, в соответствии с требованиями главы XII 46 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ [12].

5.13.5. Для всех типов упаковок (кроме тех случаев, когда сертификаты-разрешения не обязательны) грузоотправитель должен обеспечить представление (передачу) заверенных копий сертификатов-разрешений по требованию перевозчика и (или) базы перегрузки, на территории которой осуществляются погрузка, выгрузка и любая перегрузка, до выполнения этих работ.

Комментарий

Наличие у перевозчика заверенной копии сертификата-разрешения позволяет достоверно подтвердить все особые условия, выполнение которых необходимо при перевозке. Копия сертификата-разрешения должна быть заверена ГКО.

5.13.6. Когда радиоактивный материал (кроме перевозимого в цистернах) упакован или загружен в любой грузовой контейнер или транспортное средство, которое будет перевозиться морским путем, ответственные за упаковку контейнера или транспортного средства должны представить свидетельство о загрузке контейнера/транспортного средства, в котором указываются идентификационные номера контейнера/транспортного средства и удостоверяется, что данная операция произведена в соответствии с применимыми положениями Международного

кодекса морской перевозки опасных грузов (Кодекс ММОГ) Международной морской организации.

Комментарий

В дополнение к требованиям НП-053-16 необходимо выполнять требования других документов, в том числе международных. В частности, при транспортировании РМ морским транспортом необходимо соблюдать требования Кодекса ММОГ [2] в части требований к перевозке опасных грузов, наличия свидетельства о загрузке контейнера и выполнения соответствующих процедур загрузки.

VI. Радиационный контроль

6.1. Радиационный контроль должен обеспечивать получение необходимой информации, на основании которой можно судить:

- а) о соответствии радиационных параметров перевозочных средств и грузов значениям, регламентированным настоящими Правилами;
- б) об изменении радиационных параметров грузов в процессе перевозки, включая любые происшествия и аварийные ситуации;
- в) об уровнях облучения лиц, занятых выполнением работ, в ходе перевозки и возможных уровнях облучения лиц из населения.

Комментарий

Гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при всех видах обращения с РМ при транспортировании с момента отгрузки их грузоотправителем до момента 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) [86].

6.2. Радиационный контроль включает:

- а) контроль мощности дозы нейтронного излучения и гамма-излучения на поверхности груза (перевозочных средств), на различных расстояниях от него, а также в местах пребывания персонала, охраны и лиц из населения;
- б) контроль радиоактивного загрязнения наружных поверхностей груза и перевозочных средств, внутренних поверхностей перевозочных средств после разгрузки;
- в) измерение радиоактивного загрязнения наружных и внутренних поверхностей порожних перевозочных средств, упаковочных комплектов, транспортных пакетов, грузовых контейнеров перед отправкой грузоотправителем;
- г) контроль индивидуальных доз облучения и радиоактивного загрязнения персонала, занятого перевозкой грузов, и охраны.

Комментарий

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 [86]), и может включаться в программу радиационной защиты, разрабатываемую грузоотправителем, грузополучателем и перевозчиком в соответствии с требованиями пункта 5.1.16 НП-053-16.

6.3. По результатам радиационного контроля осуществляются:

- а) оптимизация радиационной защиты;
- б) определение (уточнение) регламента проведения работ, связанных с возможным облучением персонала в процессе перевозки;

- в) установление категории облучаемых лиц, связанных с перевозкой грузов радиоактивных материалов;
- г) принятие решений о вмешательстве в случае радиационной аварии.

Комментарий

Проведенные в рамках обоснования безопасности транспортирования расчетные оценки уровней ионизирующего излучения могут не учитывать ряд факторов, что может приводить к занижению или завышению реального радиационного воздействия на персонал. Проведение проверки уровней ионизирующего излучения посредством радиационного контроля позволяет откорректировать полученные ранее значения дозовых нагрузок.

6.4. Радиационный контроль при перевозке грузов должен осуществляться:

- а) грузоотправителем перед отправкой груза и порожних упаковочных комплектов (перед каждой отправкой);
- б) грузополучателем при приемке груза и порожних упаковочных комплектов (при каждой приемке);
- в) перевозчиком или лицом, сопровождающим груз в пути его следования, если имели место происшествия или аварии.

Комментарий

Радиационный контроль должен осуществляться на всех этапах транспортирования. При этом должно быть четкое разграничение полномочий по осуществлению радиационного контроля на данных этапах. При транспортировании не должно возникать ситуаций, при которых не определены ответственные за осуществление радиационного контроля.

6.5. Радиационный контроль, осуществляемый грузоотправителем (грузополучателем), проводится службой радиационной безопасности или лицом, специально выделенным грузоотправителем (грузополучателем).

Результаты радиационного контроля грузоотправитель (грузополучатель) обязан представить перевозчику по его требованию.

Комментарий

Персонал, задействованный в проведении радиационного контроля, должен обладать достаточной подготовкой в области радиационной безопасности. Грузоотправителем (грузополучателем) должны быть разработаны внутренние документы, определяющие состав и структуру службы радиационной безопасности, либо документально определено лицо, осуществляющее радиационный контроль.

Результаты радиационного контроля оформляются в виде актов (протоколов) радиационного контроля.

VII. Мероприятия при авариях при перевозке радиоактивных материалов

7.1. Классификация аварий и общие положения

7.1.1. Неисправности и поломки перевозочных средств, не вызывающие воздействия на груз радиоактивных материалов, устраняются в установленном порядке на каждом виде транспорта с соблюдением соответствующих требований к обеспечению радиационной безопасности. Работы по устранению неисправностей и поломок должны быть проведены под наблюдением лица, ответственного за сопровождение груза, и (или) с учетом информации, содержащейся на знаках опасности, размещенных на грузе, перевозочных средствах, и в транспортных документах, с учетом требований санитарных правил при транспортировании радиоактивных материалов.

Комментарий

В НП-053-16 достаточно кратко представлены основные положения по мероприятиям, которые должны выполняться при подготовке и проведении работ в случае аварий при перевозке РМ.

В отличие от других требований НП-053-16, 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. Так, основные требования к планированию и обеспечению готовности при транспортировании РМ приведены в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ» (НП-074-06) [14].

Действия по ликвидации последствий аварий, в том числе при транспортировании РМ, координируются Единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [91], а также приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 августа 2015 г. № 318 «О функциональной подсистеме контроля за ядерно и радиационно опасными объектами ядерной государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [92].

Неисправности и поломки транспортных средств, не вызывающие воздействия на груз, то есть не изменяющие его радиационные характеристики, не являются аварией (радиационной аварией). 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.

Для проведения радиационного контроля и обеспечения радиационной безопасности ремонтных работ перевозчик должен заранее проводить оценки возможных доз для работников

(персонала) и отражать их в общих положениях по таким работам в аварийных инструкциях (планах) и в программе радиационной защиты.

7.1.2. Для оперативного первичного определения степени радиационной опасности, возникающей в результате аварии с грузом радиоактивных материалов, и принятия соответствующих первичных мер аварии с грузами радиоактивных материалов подразделяются на три категории опасности.

7.1.2.1. Аварии I категории – аварии, при которых груз радиоактивных материалов в результате механических воздействий не получил видимых повреждений или имеет незначительные повреждения, ослабление или обрыв отдельных элементов крепления на перевозочном средстве, или груз подвергся небольшому тепловому воздействию (без непосредственного контакта с огнем) в результате пожара вне грузового помещения или перевозочного средства.

При авариях этой категории не увеличивается выход радиоактивного содержимого из упаковок выше значений, допустимых для нормальных условий перевозки, а уровень излучения может возрасти не более чем на 20 %.

7.1.2.2. Аварии II категории — аварии, при которых:

а) грузу с упаковками типа В, типа С, упаковками, содержащими делящиеся материалы или гексафторид урана, нанесены значительные механические повреждения и (или) упаковки попали в очаг пожара, в результате чего увеличение уровней излучения и выход радиоактивных материалов из упаковок не должны превышать пределов, установленных настоящими Правилами для аварийных условий перевозки;

б) грузу с промышленными упаковками и упаковками типа А, не содержащими делящиеся материалы, нанесены значительные механические повреждения или такие упаковки попали в очаг пожара, или упаковки полностью разрушены.

7.1.2.3. Аварии III категории — аварии, при которых упаковки типа В, типа С, упаковки, содержащие делящиеся материалы или гексафторид урана, частично или полностью разрушены, уровни излучения и выход радиоактивных веществ из упаковок могут превышать пределы, предусмотренные настоящими Правилами для аварийных условий перевозки (запроектная авария).

7.1.2.4. К авариям I, II или III категории относятся также ситуации, когда в ходе перевозки обнаруживается, что упаковка повреждена и/или имеет утечку радиоактивного содержимого, или имеются основания полагать, что упаковка была повреждена и/или имела утечку радиоактивного содержимого.

Комментарий

Радиационная опасность при авариях категории I не превышает уровней, допустимых для нормальных условий перевозки.

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 С радиационная опасность при авариях такой категории не превышает допустимых уровней для аварийных условий.

Аварии категории III возможны только для упаковок типа В, С и упаковок с ДМ. Теоретически последствия таких аварий могут иметь самый серьезный катастрофический характер. Однако проведенные многочисленные оценки риска самых серьезных аварийных условий на

транспорте, а также анализ поведения упаковок в запроектных авариях показывают, что вероятность таких аварий крайне мала (менее 10^{-8} в год). В мировой практике аварий с такими последствиями не зафиксировано. Тем не менее необходимо чтобы организации, участвующие в транспортировании РМ, были готовы к ликвидации последствий таких аварий.

7.1.3. Работы по перемещению грузов радиоактивных материалов, за исключением действий, связанных с оказанием неотложной помощи людям или тушением пожара, проводятся только по указаниям лица, сопровождающего груз, или ответственного представителя грузоотправителя, или ответственного представителя штатного аварийно-спасательного формирования (далее — АСФ), в том числе по средствам дальней связи.

Комментарий

При осуществлении мероприятий аварийного реагирования крайне важно обеспечить безопасность при обращении с РМ. Любые операции с РМ должны выполняться обученным персоналом под руководством ответственного лица, обеспечивающего контроль правильности выполнения данных операций и контроль за выполнением требований безопасности.

7.1.4. Аварийные процедуры должны учитывать возможность образования других опасных веществ, которые могут явиться результатом взаимодействия в случае аварии содержимого груза с окружающей средой.

Комментарий

Примерами других опасных свойств РМ могут являться повышенная склонность к коррозии, взрывоопасность, токсичность и другие. Кроме того, в случае выхода содержимое может реагировать с окружающей средой (воздухом, водой и т. п.), создавая, в свою очередь, опасные вещества. В частности, гексафторид урана (UF_6) реагирует при определенных условиях как с влагой в воздухе, так и с водой с образованием токсичных веществ.

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, а также отравляющие вещества, потенциально опасные для окружающей среды и населения. Данное обстоятельство следует учитывать при планировании мероприятий аварийного реагирования.

7.1.5. Для своевременного принятия необходимых мер по ликвидации аварий с грузом грузоотправитель (грузополучатель) должен обеспечить систематический контроль за движением грузов, за исключением освобожденных упаковок.

Комментарий

НП-053-16 не устанавливает конкретные требования к системе контроля за движением грузов РМ, включая периодичность контроля. Меры контроля и его периодичность зависят как от степени потенциальной опасности груза РМ, так и от условий перевозки. Основной задачей такого контроля, как следует из данного пункта, является обеспечение своевременного принятия аварийных мер.

В качестве примера контроля за движением грузов может являться оповещение об отправке и приемке груза РМ в конечных пунктах.

Описание системы контроля за движением грузов РМ, используемой участниками перевозки, должно быть представлено в заявке на получение сертификата-разрешения на перевозку.

7.1.6. Во всем, что не предусмотрено и не противоречит требованиям настоящей главы и настоящих Правил в целом, при проведении работ в случае аварий должны выполняться соответствующие требования нормативных документов по перевозкам опасных грузов различными видами транспорта.

Комментарий

Основным документом, регламентирующим требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании РМ, являются федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ» (НП-074-06) [**Ошибка! Залка не определена.**].

7.2. Основные требования по проведению работ в случае аварии

7.2.1. Проведение первичных аварийно-спасательных работ в случае аварий, вызывающих воздействие на груз радиоактивных материалов, осуществляется прибывающими в установленном порядке на место аварии работниками транспорта, сотрудниками внутренних дел, пожарно-спасательных подразделений, АСФ органов местного самоуправления, спасательных сил и средств транспортных организаций с обязательным участием сопровождающего персонала и охраны (при наличии и дееспособности).

Комментарий

Сопровождающий персонал должен быть соответствующим образом подготовлен к осуществлению противоаварийных мероприятий и оснащен необходимыми документами, оборудованием, а также инструментами.

Сопровождающий персонал при аварийных работах действует в соответствии с имеющимися у него инструкциями, учитывающими конкретные радиационные, прочностные и другие характеристики конкретного груза, а также аварийными карточками.

Если сопровождающий персонал в результате аварии оказался недееспособным, первичные работы выполняются по аварийным карточкам другими должностными лицами, оказавшимися на месте аварии. Эти лица обычно не имеют специальной подготовки в области радиационной безопасности. В связи с вышеотмеченным указание, приводимые в аварийных карточках, должны быть максимально простыми и сформулированными в общепринятых понятиях и терминах.

При ликвидации последствий аварий следует качественно определить степень опасности состояния груза РМ (нахождение в пожаре, незначительное повреждение, разрушение, нахождение вне транспортного средства и т. п.), а также передать данную информацию АСФ и другим подразделениям, осуществляющим аварийное реагирование.

7.2.2. Во всех случаях проведение первичных аварийно-спасательных работ в случае аварий должно осуществляться с обязательным использованием аварийной карточки на груз радиоактивных материалов.

Утверждение аварийных карточек на различные виды грузов радиоактивных материалов и определение порядка их использования осуществляет ГКО.

Комментарий

Основная организационная специфика проведения аварийных работ с грузами РМ – осуществление работы непосредственно с грузами РМ (их перемещение и прочее) 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.

7.2.3. Для проведения аварийно-спасательных работ и дальнейших мероприятий по ликвидации последствий аварий при перевозках грузов радиоактивных материалов должны быть оповещены и задействованы (в том числе с использованием средств дальней связи) штатные АСФ грузоотправителей и штатные АСФ ГКО.

Комментарий

Аварийно-спасательные формирования должны быть оснащены специальной техникой, оборудованием, инструментами и материалами, необходимыми для ликвидации последствий аварий, а также для проведения спасательных работ.

7.2.4. Порядок и степень участия штатных АСФ грузоотправителей устанавливаются в плане организации работ по ликвидации последствий аварий при перевозке грузов радиоактивных материалов, разрабатываемом грузоотправителем или грузополучателем в случае транспортирования им груза радиоактивных материалов с учетом условий выполняемых перевозок. Требования к плану устанавливаются федеральными нормами и правилами. План должен быть согласован с ГКО и штатными АСФ ГКО в установленном порядке.

Комментарий

В плане работ по ликвидации последствий аварий предусматривается распределение обязанностей и ответственности между грузоотправителем, грузополучателем, перевозчиком и другими организациями и ведомствами, участвующими в транспортировании РМ, а также координация их действий по всему маршруту транспортирования РМ с учетом степени опасности возникновения аварийной ситуации. Требования к плану ликвидации последствий аварий при транспортировании РМ установлены в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ» (НП-074-06) [14].

7.2.5. Порядок и степень участия штатных АСФ ГКО устанавливаются положениями о штатных АСФ, положениями о взаимодействии штатных АСФ и штатных АСФ грузоотправителей, аварийными карточками и другими организационно-распорядительными документами, утвержденными ГКО в установленном порядке.

Комментарий

Состав и содержание аварийных карточек для работ при аварии при транспортировании грузов РМ на различных видах транспорта установлены в соответствии с приказом ГК «Росатом» от 14.03.2011 г. № 1/183-П [93].

7.2.6. При авариях I категории после приведения перевозочных средств и груза в исправное состояние и составления акта об аварии решение о дальнейшей перевозке груза принимается лицом, сопровождающим груз (при наличии и дееспособности) совместно с работниками транспортной организации и по согласованию со штатными АСФ ГКО.

В случае отсутствия или недееспособности сопровождающего персонала для определения возможности дальнейшей перевозки груза радиоактивных материалов на место аварии должен быть вызван представитель грузоотправителя (грузополучателя) и штатного АСФ ГКО, которые составляют акт об аварии и принимают решение о дальнейшей перевозке груза.

Решение о дальнейшей перевозке груза принимается в том числе на основании оценки соответствия состояния груза радиоактивных материалов и/или условий дальнейшей перевозки положениям сертификата-разрешения на конструкцию и/или перевозку данного груза радиоактивных материалов.

Комментарий

При принятии решения о дальнейшей перевозке груза РМ необходимо принимать во внимание состояние упаковок и РМ, а также влияние данного состояния на безопасность транспортирования. Следует принять меры по минимизации радиационного воздействия на персонал и население при транспортировании РМ после аварии.

7.2.7. При авариях II и III категорий должны быть проведены следующие работы с учетом требований аварийной карточки:

- спасение людей, жизнь которых подвергается опасности, и оказание первой медицинской помощи пострадавшим;
- тушение пожара в случае его возникновения;
- передача информации об аварии;
- удаление людей из опасной зоны на расстояние 30 – 50 м;
- установление знаков, предупреждающих об опасности;
- организация оцепления зоны аварии и при необходимости организация дополнительной охраны груза;
- обеспечение общественного порядка на месте аварии;
- визуальный осмотр груза и передача уточненной информации об аварии в соответствии с аварийной карточкой;
- принятие первичных неотложных мер по устранению последствий аварии и предотвращению расширения ее последствий;
- учет лиц, которые могли подвергнуться радиационному воздействию при аварии (облучение, загрязнение), и их задержание до прибытия специалистов по радиационному контролю с соответствующей аппаратурой (за исключением лиц, которым требуется срочная медицинская помощь в стационарном медицинском учреждении);
- установление по мере возможности контроля радиационной обстановки.

Комментарий

Выполнение действий по спасению людей, жизнь которых подвергается опасности, оказание первой медицинской помощи и тушение пожара (при наличии) являются первоочередными действиями. Указание о таких первоочередных действиях должны быть особо подчеркнуты в аварийных карточках, инструкциях сопровождающего персонала и других документах.

7.2.8. Вопрос о дальнейшей перевозке груза после аварий II и III категорий решается грузоотправителем (или грузополучателем, если им осуществляется транспортирование груза). При этой перевозке должно быть обеспечено выполнение требований настоящих Правил или приняты меры, обеспечивающие уровень безопасности, требуемый настоящими Правилами. Условия дальнейшей перевозки должны быть согласованы с ГКО и органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии, а также (в случае перевозки железнодорожным транспортом) с федеральным органом исполнительной власти в области железнодорожного транспорта. При этом оформление сертификата-разрешения при перевозке РМ с места аварии II и III категорий не требуется.

Комментарий

При принятии решения о дальнейшей перевозке груза РМ необходимо принимать во внимание состояние упаковок и РМ, а также влияние данного состояния на безопасность транспортирования. Следует принять меры по минимизации радиационного воздействия на персонал и население при транспортировании РМ после аварии. Условия перевозки груза после аварий могут быть согласованы с органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии после организации необходимой экспертизы в соответствии с положениями пункта 6.2 Постановления Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 г. № 401 [89].

7.2.9. По согласованию со штатными АСФ, органом государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии и ГКО упаковки с повреждениями или утечкой радиоактивного содержимого выше допустимых пределов для нормальных условий перевозки (аварии II или III категории) могут быть удалены на подходящий промежуточный объект, находящийся под радиационным контролем, но не должны отправляться дальше, прежде чем они будут отремонтированы или приведены в надлежащее состояние и дезактивированы, а также прежде чем будут выполнены условия согласно пункту 7.2.8 настоящих Правил.

Комментарий

Промежуточный объект должен быть оборудован техническими средствами, необходимыми для ликвидации утечки радиоактивного содержимого и (или) устранения повреждений упаковки. Радиационное воздействие на персонал и население при работах с поврежденными упаковками на данном объекте должно ограничиваться в соответствии с требованиями нормативных документов. Предпочтение должно отдаваться объектам, имеющим лицензии Ростехнадзора на осуществление соответствующего вида деятельности.

7.2.10. Работы по ликвидации последствий радиационной аварии считаются законченными после завершения ликвидации радиоактивного загрязнения, подтвержденного радиационно-гигиеническим заключением органов государственного санитарно-эпидемиологического надзора и обеспечения безопасности движения перевозочных средств с составлением комиссионного акта о ликвидации последствий аварии. К акту, помимо заключения, прилагаются протоколы радиационного контроля территории и объектов, подвергавшихся радиационному загрязнению.

Комментарий

В соответствии со статьей 46 Федерального закона № 170-ФЗ [12] при транспортировании ЯМ или РВ транспортные организации (перевозчики) с участием грузоотправителя и грузополучателя РМ осуществляют мероприятия по предупреждению транспортных происшествий и

аварий и по ликвидации их последствий, а также мероприятия по защите работников ОИАЭ, населения, окружающей среды и материальных ценностей.

Для осуществления данных мероприятий привлекаются специализированные АСФ и другие организации (при необходимости).

7.3. Дополнительные требования на случай аварии при перевозке водным транспортом

7.3.1. Перед погрузкой груза на судно капитан судна и ответственный представитель порта должны быть ознакомлены с аварийной карточкой на данный груз.

Комментарий

Учитывая, что организация аварийных работ на судне осуществляется по инструкциям перевозчика (пункт 7.3.3 НП-053-16), аварийная карточка, предъявляемая капитану или представителю порта, может включать в себя описание только первичных работ по ликвидации последствий аварий.

7.3.2. На судне должны быть выделены и соответственно подготовлены лица для проведения работ в случае аварии с грузом радиоактивных материалов.

Комментарий

Лица, привлекаемые для проведения работ в случае аварии с грузом РМ, должны обладать профессиональной и технической подготовкой в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, оказания первой доврачебной помощи и использования средств индивидуальной защиты.

7.3.3. Аварийные работы при авариях с грузом радиоактивных материалов на судне проводятся под руководством капитана судна или специально назначенного им для этих целей лица в соответствии с инструкцией перевозчика и требованиями аварийной карточки.

Комментарий

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. Целесообразно тесное взаимодействие перевозчика и грузоотправителя при разработке документов перевозчика по действиям в случае аварии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технические инструкции по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). Doc 9284. Издание 2017 – 2018 гг.
2. IMDG Code. International Maritime Dangerous Goods Code. 2014 edition. Volume 1 and Volume 2. Incorporating amendment 37–14. International Maritime Organization Publishing, London, 2014.
3. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) (с изменениями на 1 июля 2017 года). Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД), 2017.
4. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ/ADR). Организация объединенных наций, Нью-Йорк и Женева, 2016.
5. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model regulations. Volumes I and II. Nineteenth revised edition, United Nations, 2015.
6. Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID), UNECE. United Nations Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Geneva (1995).
7. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition (Revised) № TS-R-1 (ST-1, Revised). International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.
8. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition № SSR-6. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
9. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards № GSR Part 3. General Safety Requirements Part 3. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2014.
10. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 5.
11. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-16: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 января 2017 г., регистрационный № 45375).
12. Об использовании атомной энергии: Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ.
13. Об утверждении порядка проведения экспертизы программ для электронных вычислительных машин, используемых в целях построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии: приказ Ростехнадзора от 30 июля 2018 г. № 325.

14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ядерных материалов и радиоактивных веществ. НП-074-06: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 декабря 2006 г. № 8.
15. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Состав и содержание программы радиационной защиты при транспортировании радиоактивных материалов. РБ-127-17: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24 августа 2017 г. № 330.
16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по разработке программ обеспечения качества при транспортировании радиоактивных материалов. РБ-110-16: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 января 2016 г. № 30.
17. Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accidents Involving Radioactive Material. Safety Guide № TS-G-1.2 (ST-3). International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
18. Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. Safety Guide № TS-G-1.1 (ST-2). International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
19. Radiation Protection Programmes for the Transport of Radioactive Material. Safety Guide № TS-G-1.3. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.
20. The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material. Safety Guide № TS-G-1.4. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2008.
21. Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material. Safety Guide № TS-G-1.5. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009.
22. Об утверждении административного регламента предоставления федеральной службой по экологическому и атомному надзору государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии: приказ Ростехнадзора от 8 октября 2014 г. № 453.
23. Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition). Specific Safety Guide SSG-26. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
24. Schedules of Provisions of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition). Specific Safety Guide № SSG-33. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
25. Об утверждении правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов: постановление Правительства РФ от 19.06.2007 г. № 456.
26. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании. НП-073-11: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2011 г. № 747

(зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 20 января 2012 г., регистрационный № 22984).

27. Fairbairn, A., The development of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, *At. Energ. Rev.* 11, 4 (1973).
28. United States Enrichment Corporation, Reference USEC-651, USEC, Washington, DC (1998).
29. ISO 7195 : 2005. Specifies requirements for packaging of uranium hexafluoride (UF6) for transport.
30. 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).
31. ГОСТ Р 51919-2002 (ИСО 9978-92). Государственный стандарт Российской Федерации. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Методы испытания на утечку.
32. Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air. 1998-1999 edition, ICAO. International Civil Aviation Organization, Montreal (1996).
33. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Ninth Revised Edition, ST/SG/AC.10/1/Rev. 9, UN. United Nations, New York and Geneva (1995).
34. ГОСТ 31314.3-2006 (ИСО 1496-3:1995). Межгосударственный стандарт. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 3. Контейнеры-цистерны для жидкостей, газов и сыпучих грузов под давлением: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 июля 2007 г. № 178-ст.
35. 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).
36. Biaggio A., Lopez-Vietri J. UF6 in transport accidents, Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 86 (Proc. Symp. Davos, 1986), IAEA, Vienna (1986).
37. Saroul J., et al. UF6 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).
38. Pinton E., Duret B., Rancillac F. Interpretation of TEN2 experiments, Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995), Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).
39. Williams W. R., Anderson J. C., Estimation of time to rupture in a fire using 6FIRE, a lumped parameter UF6 cylinder transient heat transfer/stress analysis model, Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995), Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).
40. Wataru M., et. al. Safety analysis on the natural UF6 transport container, Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995), Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).

41. Lykins M. L. Types of corrosion found on 10- and 14-ton mild steel depleted uranium UF₆ storage cylinders, Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995). Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).
42. Blue S. C. Corrosion control of UF₆ cylinders. Uranium Hexafluoride: Processing, Handling, Packaging, Transporting (Proc. 3rd Int. Conf. Paducah, KY, 1995). Institute of Nuclear Materials Management, Northbrook, IL (1995).
43. 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).
44. American National Standard for Leakage Tests on Packages for Shipment of Radioactive Material, ANSI N.14.5-1977, ANSI. American National Standards Institute, New York (1977).
45. Safe Transport of Radioactive Material – Leakage Testing of Packages, ISO 12807:1996(E), first edition 1996-9-15, ISO. International Organization For Standardization, Geneva (1996).
46. Clark H. K. Sub-critical limits for plutonium systems. Nucl. Sci. Eng. 79 (1981).
47. Clark H. K. Sub-critical limits for uranium-235 systems. Nucl. Sci. Eng. 81 (1981).
48. Clark H. K. Sub-critical limits for uranium-233 systems. Nucl. Sci. Eng. 81 (1981).
49. Nuclear Criticality Safety Handbook, Nihon Shibou, Science and Technology Agency (1988) (на японском языке). Japan Atomic Energy Research Institute. [Перевод на английский язык: JAERI-Review 95–13, JAERI, Tokyo (1995)].
50. Guide de Criticite, Rep. CEA-R-3114, CEA. Commissariat A L'energie Atomique, Paris (1967).
51. Takano M., Okuno H. OECD/NEA Burnup Credit Criticality Benchmark, Result of Phase MA, Rep. NEA/NSC/DOC(96)01, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokyo (1996).
52. 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).
53. Bowden R. L., Thorne P. R., Strafford P. I. The methodology adopted by British Nuclear Fuels pic in claiming credit for reactor fuel burnup in criticality safety assessments, ibid (1995).
54. 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).
55. Transport Packaging for Radioactive Materials (Proc. Sem. Vienna, 1976), IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna (1976).
56. 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).

57. ГОСТ Р 52241-2004 (ИСО 2919:1999). Национальный стандарт Российской Федерации. Источники ионизирующего излучения радионуклидные закрытые. Классы прочности и методы испытаний: утвержден постановлением Госстандарта России от 9 марта 2004 г. № 106-ст.
58. Directory of Transport Packaging Test Facilities, IAEA-TECDOC-295, IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna (1983).
59. 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).
60. Dennis A. W., Foley J. T., Hartman W. F., Larson D. W. Seventies of Transportation Accidents Involving Large Packages, Rep. SLA-77-0001, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1978).
61. McClure J. D. An Analysis of the Qualification Criteria for Small Radioactive Material Shipping Packages, Rep. SAND-76-708, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1977).
62. McClure J. D. The Probability of Spent Fuel Transportation Accidents, Rep. SAND-80-1721, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1981).
63. 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).
64. 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).
65. 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).
66. 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).
67. Fry C. J. An experimental examination of the IAEA fire test parameters. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 92 (Proc. Symp. Yokohama City, 1992), Science & Technology Agency, Tokyo (1992).
68. Wieser G., Droste B. Thermal test requirements and their verification by different test methods. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 92 (Proc. Symp. Yokohama City, 1992), Science & Technology Agency, Tokyo (1992).
69. The Air Transport of Radioactive Material in Large Quantities or with High Activity. IAEA-TECDOC-702, IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna (1993).
70. 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).
71. 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).

72. Qualification Criteria to Certify a Package for Air Transport of Plutonium. Rep. NUREG/0360, USNRC, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC (1978).
73. 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).
74. Bonson L. L. Final Report on Special Impact Tests of Plutonium Shipping Containers: Description of Test Results, Rep. SAND-76-437, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1977).
75. ISO 7195-2005 Nuclear energy – Packaging of uranium hexafluoride (UF₆) for transport (2005).
76. Административный регламент предоставления Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» государственной услуги по выдаче сертификатов-разрешений на транспортирование (перевозку) ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них, на использование определенной конструкции транспортного упаковочного комплекта радиоактивного вещества особого вида: утвержден приказом ГК «Росатом» от 22.12.2017 № 1/60-НПА.
77. О государственном компетентном органе по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них: постановление Правительства Российской Федерации от 19 марта 2004 г. № 204 с изменениями № 5 от 08 декабря 2015.
78. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии. НП-024-2000: утверждены Госатомнадзором России от 28 декабря 2000 г. № 16.
79. Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов по внутренним водным путям (ВОПОГ/ANDR). Организация объединенных наций, Нью-Йорк и Женева, 2010.
80. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе объектов ядерного топливного цикла. НП-047-11: утверждены приказом Ростехнадзора от 23 декабря 2011 № 736 (зарегистрирован в Минюсте России от 19 января 2012 г. № 22965).
81. Guide to the Design, Testing and Use of Packaging for the Safe Transport of Radioactive Materials, BS 3895:1976, GR 9, BSI, British Standards Institute, London (1976).
82. 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).
83. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 122-ФЗ.
84. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ.

85. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: свод правил от 25.03.2009 № 175.
86. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ) (СанПиН 2.6.1.1.1281-03): утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ от 16.04.2003.
87. Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом. РД 15-73-94: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 июля 2017 г. № 254.
88. Международный кодекс безопасной перевозки облученного ядерного топлива, плутония и радиоактивных отходов высокого уровня активности в упаковке на судах (Кодекс ОЯТ), 2008.
89. О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401.
90. Правила морской перевозки опасных грузов (Правила МОПОГ). РД 31.15.01-89: утверждены приказом Минморфлота СССР от 3 мая 1989 г. № 56.
91. Положение о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794.
92. Положение о функциональной подсистеме контроля за ядерно и радиационно опасными объектами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.08.2015 г. № 318.
93. О введении в действие аварийных карточек № 701 и № 702 для первичных работ при аварии с грузами радиоактивных материалов на автомобильном, железнодорожном, воздушном и водном транспорте взамен действующих аварийных карточек: приказ ГК «Росатом» от 14 марта 2011 г. № 1/183-П.

Приложение № 1. Комментарии к определениям, используемым в НП-053-16

В данном приложении к настоящим Справочным материалам приведены комментарии к части определений, используемых по тексту НП-053-16.

1. A_1 — значение активности радиоактивного материала особого вида, которое указано в таблицах № 1 и 2 приложения № 2 или определено согласно приложению № 2 и которое используется для определения пределов активности согласно соответствующим требованиям настоящих Правил.

2. A_2 — значение активности радиоактивного материала, за исключением радиоактивного материала особого вида, которое указано в таблицах № 1 и 2 приложения № 2 или определено согласно приложению № 2 и которое используется для определения пределов активности согласно соответствующим требованиям настоящих Правил.

Комментарий

Ограничения активности содержимого для любого радионуклида или комбинации радионуклидов определяются исходя из вероятных радиационных последствий после разрушения упаковки в результате аварии с учетом основных принципов обеспечения радиационной безопасности (приложение № 2 к настоящим Справочным материалам).

3. Альфа-излучатели низкой токсичности — природный уран, обедненный уран, природный торий, уран-235 или уран-238, торий-232, торий-228 и торий-230, содержащиеся в рудах или в форме физических и химических концентратов; альфа-излучатели с периодом полураспада менее 10 суток.

Комментарий

Альфа-излучатели низкой токсичности имеют сравнительно небольшое значение удельной активности. Маловероятно, что попадание таких радионуклидов в организм в малых количествах (в форме концентратов или руды) приведет к существенным дозам облучения.

4. Делящиеся нуклиды — уран-233, уран-235, плутоний-239 и плутоний-241.

Комментарий

Данные нуклиды обладают способностью поддерживать реакцию деления на тепловых нейтронах при условии накопления достаточно большой массы (критической массы). Приведенный в определении перечень нуклидов содержит только те элементы, которые могут перевозиться в достаточно большом количестве (300 г и более). Существует ряд других нуклидов (например, ^{238}Pu), которые также могут поддерживать цепную реакцию деления, однако для такой реакции необходимы дополнительные условия (например, наличие металлического отражателя вокруг цельного объема, содержащего только данный нуклид). Возникновение критичности при транспортировании таких материалов практически невозможно. Кроме того, крайне маловероятно, что данные нуклиды будут перевозиться в чистом виде, а также что их масса будет близка к критической.

Тем не менее в случае маловероятной перевозки других нуклидов, которые потенциально могут поддерживать реакцию деления (^{240}Pu , ^{241}Am и т. д.) в количестве, приблизительно

соответствующем их критической массе, следует выполнять требования НП-053-16 в части обеспечения ядерной безопасности.

5. Исключительное использование – использование одним грузоотправителем перевозочного средства или большого грузового контейнера, с которыми все начальные, промежуточные и окончательные операции по погрузке и выгрузке осуществляются грузоотправителем или грузополучателем, или по их указаниям.

Комментарий

Выполнение начальных, промежуточных и окончательных операций по погрузке и выгрузке по указаниям грузоотправителей или грузополучателей означает либо непосредственные указания представителей грузоотправителя (грузополучателя), либо выполнение письменных инструкций, полученных от грузоотправителя (грузополучателя).

При перевозках на условиях исключительного использования организуется дополнительный контроль со стороны грузоотправителя (грузополучателя), что позволяет компенсировать несоответствия требованиям части пунктов НП-053-16. В частности, в соответствии с требованиями НП-053-16, при таких перевозках допускается:

- использование промышленных упаковок для материалов с НУА;
- перевозка упаковок, уровень излучения на поверхности которых превышает 2 мЗв/час (но не более 10 мЗв/ч), либо ТИ которых больше 10.

6. Максимальное нормальное рабочее давление — максимальное давление, превышающее атмосферное давление на уровне моря, которое может возникнуть в системе герметизации упаковки в течение одного года в условиях температурного режима и солнечной радиации, соответствующих окружающим условиям, без сброса избыточного давления, внешнего охлаждения посредством дополнительной системы или без мер эксплуатационного контроля во время перевозки.

Комментарий

МНРД представляет собой разность между максимальным внутренним давлением в системе герметизации ТУК и средним атмосферным давлением на уровне моря.

Условия внешней среды, которые следует использовать для определения МНРД упаковки, определены в пункте 2.9.10 НП-053-16 или для случая воздушного транспорта в пункте 2.4.12 НП-053-16. Другие условия, которые нужно учитывать при определении МНРД, состоят в предположении о том, что упаковка не обслуживается в течение одного года и подвергается воздействию максимальных внутренних тепловых нагрузок.

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. 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 могут приводить к существенному повышению внутреннего давления в системе герметизации. Следует учитывать изменение способности рассеивания тепла, образования газов вследствие радиолиза, коррозию, химические реакции, выход газа из-под оболочек топлива в систему герметизации. Некоторые процессы могут приводить к снижению МНРД (например, снижение давления вследствие уменьшения выделения тепла благодаря радиоактивному распаду содержимого).

7. Материал с низкой удельной активностью (НУА) – радиоактивный материал, который по своей природе имеет ограниченную удельную активность, или радиоактивный материал, к которому применяются пределы установленной средней удельной активности. Материалы внешней защиты, окружающие материал НУА, при определении средней удельной активности не должны учитываться.

Материалы НУА входят в одну из трех групп:

7.1. Материалы НУА-I:

- урановые и ториевые руды и концентраты таких руд, другие руды, содержащие радионуклиды природного происхождения (например, уран, торий);
- природный уран, обедненный уран, природный торий или их составы или смеси, не облученные и находящиеся в твердой или жидкой форме;
- радиоактивные материалы, для которых величина A_2 не ограничивается, кроме делящихся материалов в количествах, не подпадающих под освобождение по пункту 2.12.2;
- другие радиоактивные материалы, в которых активность распределена по всему объему и установленная средняя удельная активность не превышает более чем в 30 раз концентрацию активности, указанную в приложении № 2, за исключением делящихся материалов в количествах, не подпадающих под освобождение по пункту 2.12.2.

7.2. Материалы НУА-II:

- вода с удельной активностью трития до 0,8 ТБк/л;
- материалы, в которых активность распределена по всему объему, а установленная средняя удельная активность не превышает $10^{-4} A_2/\text{г}$ для твердых и газообразных материалов и $10^{-5} A_2/\text{г}$ для жидкостей.

7.3. Материалы НУА-III – твердые материалы, например связанные отходы, активированные материалы, исключая порошки, в которых:

- радиоактивный материал распределен по всему твердому материалу или набору твердых объектов, или в значительной степени равномерно распределен в твердом сплошном связывающем материале, таком как бетон, битум, керамика и т.д.;
- радиоактивный материал мало растворим в воде или по своей природе содержится в малорастворимой основной массе (утечка радиоактивного материала при помещении его в воду на 7 суток не превышает $0,1A_2$);
- установленная средняя удельная активность без учета любого защитного материала не превышает $2 \cdot 10^{-3} A_2/\text{г}$.

Комментарий

Материалы НУА обладают 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. К указанной категории, в частности, относятся урановые и ториевые руды.

При определении конкретной категории РМ типа НУА необходимо определить его удельную активность посредством, например, последовательного измерения активностей различных частей данного РМ с одинаковым объемом. При этом необходимо учитывать возможные

различия в значениях активностей. В качестве удельной активности РМ типа НУА в целом может быть выбрано максимальное из значений активности различных частей РМ с одинаковым объемом, либо их среднее значение, при условии незначительных отличий.

Ограничения на уровни активности установлены исходя из предположения, что нахождение человека в атмосфере, содержащей значимое количество материала типа НУА, в течение долгого времени крайне маловероятно.

Требованиями НП-053-16 допускается возможность перевозки твердых материалов НУА без какого-либо упаковочного комплекта. Если удельная активность относительно низкая и активность остается внутри или фиксируется на поверхности материала НУА, то его можно рассматривать как упаковку. С целью обеспечения безопасности пределы излучения на поверхности неупакованных материалов НУА не должны превышать пределы, установленные для упакованных материалов. В случае превышения уровней излучения на поверхности неупакованных материалов НУА, допустимых для упаковок (2 мЗв/ч для неисключительного использования и 10 мЗв/ч для исключительного использования), объект должен быть упакован в промышленную упаковку, которая обеспечивает надлежащую защиту.

Материалы НУА-I могут перевозиться неупакованными, либо могут перевозиться в упаковках типа ПУ-1. Например, уран с обогащением до 20 % может транспортироваться либо как материал НУА-1, либо в упаковке типа ПУ-1, либо неупакованным в количествах, освобожденных от требований к упаковкам с ДМ.

Материалы, относящиеся к НУА-II, могут включать низкоактивные отходы, такие как смолы, отфильтрованные осадки, абсорбированные жидкости и другие подобные материалы, получаемые при эксплуатации ядерных установок. Кроме того, материалами типа НУА-II могут являться подвергшиеся активации элементы оборудования.

Материалами типа НУА-III могут быть только твердые вещества либо жидкости, включенные в твердотельную матрицу, они могут перевозиться в упаковках типа ПУ-3.

Более высокий предел удельной активности для материалов НУА-III обосновывается:

- перевозкой данных материалов в твердой недисперсной форме;
- проведением испытаний на выщелачивание для обоснования достаточной нерастворимости указанных материалов в случае неблагоприятных погодных условий;
- более высоким уровнем требований к упаковкам типа ПУ-3.

8. Многостороннее утверждение — утверждение компетентным органом страны происхождения конструкции или перевозки в соответствующих случаях, а также в случае, когда груз должен перевозиться через территорию или на территорию любой другой страны, утверждение компетентным органом этой страны.

Комментарий

Утверждение конструкции или перевозки необходимо для подтверждения того, что конструкция или перевозка отвечает соответствующим требованиям и что требуемые меры контроля соответствуют условиям страны перевозки. Поскольку транспортные операции и условия перевозки отличаются для различных стран, подход, использующий многостороннее утверждение, обеспечивает возможность для регулирующего органа и компетентного органа каждого государства удостовериться в том, что перевозка будет проводиться должным образом с учетом всех особенностей национальных условий.

Концепция многостороннего утверждения означает, что к утверждению привлекаются только те компетентные органы, юрисдикции которых непосредственно затрагиваются при перевозке. Незапланированные отклонения, возникающие в процессе перевозки и приводящие к необходимости въезда в страну, где такая перевозка не была предварительно утверждена, требуют индивидуального подхода.

Многостороннее утверждение не подразумевает согласование конструкции компетентным органом той страны, через которую груз перевозится по воздуху (без посадок).

9. Необлученный торий — торий, содержащий не более 10^{-7} г урана-233 на 1 г тория-232.

Комментарий

Несмотря на то, что до настоящего времени не реализованы проекты реакторов, в активную зону которых загружается ториевое топливо, данное направление может представлять определенный интерес. Введение данного термина позволяет рассматривать облученное ториевое топливо как РМ в контексте безопасности транспортирования. В определении учитывается, что даже в природном тории не исключается наличие ^{233}U .

10. Необлученный уран — уран, содержащий не более $2 \cdot 10^3$ Бк плутония на 1 г урана-235 и не более 9 МБк продуктов деления на 1 г урана-235 и не более $5 \cdot 10^{-3}$ г урана-236 на 1 г урана-235.

Комментарий

В данном определении предполагается, что необлученный уран не был загружен в активную зону реактора любого типа. В определении учитывается, что даже в природном уране не исключается наличие плутония, продуктов деления, а также ^{236}U .

11. Неснимаемое (фиксированное) радиоактивное загрязнение поверхности — радиоактивные материалы, которые самопроизвольно или при контакте с поверхностью при обычных условиях перевозки не переходят с загрязненной поверхности в окружающую среду.

Комментарий

Радиоактивные загрязнения включают в себя два типа РМ, распределенных по поверхности. Для практических целей различают загрязнения, которые в обычных условиях перевозки остаются связанными (фиксированными) и, таким образом, не могут увеличивать радиационную опасность вследствие их попадания внутрь организма и несвязанными (нефиксированными) загрязнениями, которые могут быть источником такой опасности. Фиксированные загрязнения представляют опасность только за счет внешнего облучения, в то время как нефиксированные загрязнения обладают потенциальной опасностью как внутреннего облучения ингаляционным или пероральным путем, так и внешнего облучения при загрязнении кожи. В аварийных условиях и при определенных условиях эксплуатации (например, при сильном ветре) фиксированные загрязнения могут стать нефиксированными.

Загрязнения ниже уровней $0,4 \text{ Бк/см}^2$ для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности, а также других альфа-излучателей с уровнем загрязнения ниже $0,04 \text{ Бк/см}^2$ не приводят к значительному облучению. Любые поверхности с таким уровнем загрязнения считаются незагрязненными поверхностями.

12. Объект с поверхностным радиоактивным загрязнением — твердый объект, который, не являясь сам по себе радиоактивным, содержит радиоактивный материал на его поверхности.

ОПРЗ относятся к одной из двух групп:

24.1. ОПРЗ-I – твердый объект, на котором:

а) нефиксированное радиоактивное загрязнение на доступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь меньше 300 см^2), не превышает 4 Бк/см^2 для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и $0,4 \text{ Бк/см}^2$ для всех других альфа-излучателей;

б) фиксированное радиоактивное загрязнение на доступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь меньше 300 см^2), не превышает $4 \cdot 10^4 \text{ Бк/см}^2$ для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и $4 \cdot 10^3 \text{ Бк/см}^2$ для всех других альфа-излучателей;

в) нефиксированное радиоактивное загрязнение плюс фиксированное радиоактивное загрязнение на недоступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь меньше 300 см^2), не превышает $4 \cdot 10^4 \text{ Бк/см}^2$ для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и $4 \cdot 10^3 \text{ Бк/см}^2$ для всех других альфа-излучателей.

24.2. ОПРЗ-II – твердый объект, на котором фиксированное загрязнение или нефиксированное загрязнение поверхности превышает соответствующие пределы, указанные для ОПРЗ-I, и на котором:

а) нефиксированное радиоактивное загрязнение на доступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь меньше 300 см^2), не превышает 400 Бк/см^2 для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и 40 Бк/см^2 для всех других альфа-излучателей;

б) фиксированное радиоактивное загрязнение на доступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь меньше 300 см^2), не превышает $8 \cdot 10^5 \text{ Бк/см}^2$ для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и $8 \cdot 10^4 \text{ Бк/см}^2$ для всех других альфа-излучателей;

в) нефиксированное радиоактивное загрязнение плюс фиксированное радиоактивное загрязнение на недоступной поверхности, усредненное по площади 300 см^2 (или по всей поверхности, если ее площадь менее 300 см^2), не превышает $8 \cdot 10^5 \text{ Бк/см}^2$ для бета- и гамма-излучателей, альфа-излучателей низкой токсичности и $8 \cdot 10^4 \text{ Бк/см}^2$ для всех других альфа-излучателей.

Комментарий

Понятие ОПРЗ введено с целью обеспечения возможности транспортирования РМ, загрязненных активностью более A_2 , в неупакованном виде в промышленных упаковках при условии, что данная активность распределена по достаточно большой площади, что позволяет обеспечить достаточный уровень безопасности. Кроме того, загрязненные поверхности ОПРЗ находятся в связанном состоянии, что ограничивает рассеяние РВ при аварии и соответствующие радиационные последствия.

В зависимости от уровня загрязнения поверхности ОПРЗ разделяются на две категории, которые допускается перевозить либо в упаковках типа ПУ-1 (ОПРЗ-I), либо ПУ-2 (ОПРЗ-II).

Следует учитывать, что указанные в определении пределы уровней загрязнения распространяются только на доступные поверхности материала, которыми, например, не являются внутренние поверхности оборудования (например, труб), надежно закрытые или защищенные от контактов с внешней средой.

Приведенные в определении значения пределов активности ОПРЗ-I, усредненной по площади, получены исходя из следующих предположений. 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, в соответствии с требованиями пункта 5.6.4 НП-053-16, ОПРЗ-I может быть в неупакованном виде, однако при этом гарантируется отсутствие его распространения из транспортного средства. Предполагается, что ОПРЗ-I попадают в аварийные условия, где 20 % поверхности подвергается внешнему воздействию и 20 % фиксированного загрязнения высвобождается с данной поверхности. Кроме того, предполагается, что с поверхности высвобождается все нефиксированное загрязнение. Общий выход активности составляет 160 МБк для фиксированного загрязнения и 0,4 МБк — для нефиксированного. При использовании предположения о том, что поверхность ОПРЗ-I загрязнена смешанными бета- и гамма-излучателями, значение A_2 для таких нуклидов составит 0,02 ТБк, а вышедшая с поверхности активность составит $8 \cdot 10^{-3} A_2$. При этом необходимо учитывать, что только часть данной активности попадет в итоге в тело человека. В соответствии с консервативными предположениями, изложенными в приложении № 2 к настоящим Справочным материалам, поглощенная человеком активность составит не более 10^{-4} от изначальной высвобожденной активности, что соответствует $0,8 \cdot 10^{-6} A_2$ и, следовательно, обеспечивает уровень безопасности, эквивалентный уровню безопасности для упаковок типа А.

Предположения, на основании которых получены пределы активности для загрязнения поверхностей объектов типа ОПРЗ-II, в целом аналогичны вышеизложенным. Несмотря на то, что допустимые уровни поверхностного загрязнения ОПРЗ-II существенно выше аналогичных значений для ОПРЗ-I, данные объекты могут перевозиться только в упаковках типа ПУ-2, которые обеспечивают приемлемый уровень безопасности.

13. Перевозка — перемещение груза от места отправления к месту получения.

Комментарий

Под местом получения в НП-053-16 понимается конечный пункт маршрута, в котором предполагается вскрытие груза, либо его долговременное хранение.

14. Радиоактивный материал с низкой способностью к рассеянию — твердый радиоактивный материал или твердый радиоактивный материал, помещенный в герметичную оболочку, имеющий ограниченную способность к рассеянию и не находящийся в порошкообразной форме.

Комментарий

Концепция РМ с низкой способностью к рассеянию применяется только для установления исключений из требований к упаковкам типа С при перевозках воздушным транспортом.

РМ с низкой способностью к рассеянию 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 крайне ограниченным.

В соответствии с требованиями НП-053-16 необходимо, чтобы характеристики РМ с низкой способностью к рассеянию были продемонстрированы без учета свойств упаковочного комплекта, в котором они перевозятся.

РМ с низкой способностью к рассеянию может быть РМ в твердой нерассеиваемой форме либо высокопрочная герметичная капсула, содержащая РМ.

15. Радиоактивное содержимое — радиоактивный материал вместе с любыми радиоактивными или активированными твердыми веществами, жидкостями и газами, находящимися в упаковочном комплекте.

Комментарий

Понятие «радиоактивное содержимое» включает в себя не только РМ, перевозимые в упаковке, но и те материалы, которые сопровождают данные РМ (радиоактивное загрязнение внутренних поверхностей упаковки и ее элементов, оставшиеся, например, в результате загрузки или после 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.

16. Радиоактивный материал – это любой материал, содержащий радионуклиды, для которого удельная активность и суммарная активность груза превышают значения, указанные в пунктах 1–7 приложения № 2 к настоящим Правилам.

Комментарий

Главная задача данного определения заключается в объединении понятий РВ и ЯМ, принятых в Федеральном законе «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 № 170-ФЗ [1.1], в единое понятие РМ. РАО также подпадают под определение РМ.

17. Система герметизации (упаковки) — часть конструкции упаковочного комплекта, предназначенная для удержания радиоактивного содержимого во время перевозки.

Комментарий

Система герметизации может представлять собой всю упаковку либо только часть данной упаковки. Например, система герметизации может быть в виде емкости с радиоактивным содержимым, размещенной в упаковочном комплекте. Система герметизации не обязательно включает в себя радиационную защиту, которую могут обеспечивать другие элементы упаковочного комплекта. Требования к герметичности системы герметизации зависят от радиотоксичности радиоактивного содержимого; например, упаковки типа В(U) или С в аварийных условиях должны иметь выход радиоактивности, ограниченный значением A_2 в неделю.

18. Специальные условия – условия перевозки, на которые требуется получение сертификата-разрешения ГКО в соответствии с требованиями главы IV настоящих Правил, при выполнении которых может перевозиться груз радиоактивных материалов, не в полной мере удовлетворяющий требованиям настоящих Правил и действующим на каждом виде транспорта правилам (инструкциям). Выполнение этих условий должно обеспечить по крайней мере такую же степень безопасности, как и при выполнении требований настоящих Правил.

Комментарий

Специальные условия перевозки прорабатываются грузоотправителем РМ.

В качестве мер, позволяющих компенсировать отступления от требований НП-053-16 и других нормативных документов, действующих на различных видах транспорта, следует отдавать предпочтение техническим средствам, не подразумевающим вовлечение персонала в работу. Использование мер административного контроля следует по возможности сводить к минимуму.

19. Транспортный пакет — укрупненная грузовая единица, сформированная одним грузоотправителем из нескольких грузовых единиц (упаковок) с применением различных способов и средств пакетирования, обеспечивающая возможность комплексной механизации обработки, погрузки, выгрузки груза и складских работ. К средствам пакетирования относятся: поддоны (плоские, стоечные, решетчатые, ящичные), гибкие или жесткие обвязки (ленты, стропы, сетки, пленки), проволочные, тросовые и другие элементы крепления.

Комментарий

Перевозку груза от одного грузоотправителя до одного грузополучателя возможно облегчить посредством объединения в один транспортный пакет. К конструкции транспортного пакета не предъявляется особых требований, так как функции безопасности выполняются за счет свойств упаковочного комплекта. Тем не менее следует принимать во внимание взаимодействие транспортного пакета с упаковками.

20. Транспортный индекс — число, присвоенное упаковке, транспортному пакету, грузовому контейнеру, цистерне или неупакованным материалам НУА-I и ОПРЗ-I, используемое для контроля радиационной безопасности при перевозке груза радиоактивных материалов.

Способ определения числового значения транспортного индекса приведен в пункте 5.3 настоящих Правил.

Комментарий

ТИ имеет в НП-053-16 многофункциональное назначение, включая его использование перевозчиком в качестве основы при отделении РМ от людей, непроявленных фотопленок и других грузов, содержащих РМ, а также для ограничения уровня воздействия излучения на лиц из населения и транспортных рабочих при перевозке и транзитном хранении.

21. Упаковка — упаковочный комплект с находящимся в нем радиоактивным содержимым в подготовленном для перевозки виде.

Настоящие Правила содержат требования к упаковкам следующих типов:

- освобожденная упаковка;
- промышленная упаковка (IP) типов 1, 2, 3 (IP-1, IP-2, IP-3);
- упаковка типа А;
- упаковка типа В;
- упаковка типа С.

К упаковкам всех типов, содержащим делящиеся материалы, предъявляются дополнительные требования (раздел 2.12).

К упаковкам, содержащим гексафторид урана, предъявляются дополнительные требования (раздел 2.7).

Для единообразия классификации упаковок согласно Правилам МАГАТЭ, в обозначениях упаковок типов «IP», «В» и «С» применяются латинские буквы.

Комментарий

Термины «упаковка» и «упаковочный комплект» используются, чтобы различать совокупность компонентов для размещения РМ (упаковочный комплект) и совокупность компонентов, совмещенных с радиоактивным содержимым (упаковкой).

22. Упаковочный комплект — это одна или несколько емкостей и любые другие компоненты или материалы, необходимые для выполнения этими емкостями функции удержания радиоактивного содержимого и других функций безопасности.

Комментарий

В данном определении под другими функциями безопасности понимается, в частности, обеспечение радиационной защиты, соблюдение требований по ядерной безопасности, обеспечение тепловой защиты. Компоненты или материалы, которые не выполняют каких-либо функций безопасности, не считаются частью упаковочного комплекта.

23. Уровень излучения — соответствующая мощность дозы, выраженная в миллизивертах в час или в микрозивертах в час.

Комментарий

При определении уровня излучения следует обеспечивать выбор аппаратуры, подходящей для мониторинга излучаемой энергии, а также удостовериться в достаточности поверки приборов. Следует принимать во внимание неопределенности, связанные с калибровкой приборов, при проведении как начальных, так и контрольных измерений.

У дозиметров существует явная зависимость показания прибора от уровня энергии излучения. Спектральное распределение излучения, которое использовалось для калибровки прибора, и спектральное распределение излучения, 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.

В большинстве случаев измерение, выполняемое с помощью переносного 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. Применение относительно больших по сравнению с размерами упаковки приборов может привести к занижению измеренных значений уровня излучения. Если 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 таблице № 1.1 настоящего приложения, 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. Показание прибора следует умножить на поправочный коэффициент чтобы получить действительное значение уровня излучения на поверхности упаковки.

Таблица № 1.1. Поправочные коэффициенты на размеры упаковки и детектора

Расстояние между центром детектора и поверхностью упаковки, см	Половина линейного размера упаковки, см	Поправочный коэффициент
1	> 10	1
2	10 – 20	1,4
	> 20	1,0
5	10 – 20	2,3
	20 – 50	1,6
	> 50	1,0
10	10 – 20	4,0
	20 – 50	2,3
	50 – 100	1,4
	> 100	1,0

24. Цистерна — переносная цистерна (включая контейнер-цистерну), автоцистерна, железнодорожная цистерна или емкость для твердых веществ, жидкостей или газов вместимостью не менее 450 л при использовании для перевозки газообразных веществ.

Комментарий

Ограничение объема цистерны значением не менее 450 л выбрано в соответствии с Рекомендациями ООН [1.2].

Список литературы, используемой в приложении № 1

[1.1] Об использовании атомной энергии: Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ.

[1.2] Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Ninth Revised Edition, ST/SG/AC.10/1/Rev. 9, UN. United Nations, New York and Geneva (1995).

Приложение № 2. Q-система для расчета и применения значений A_1 и A_2

Введение

Q-система определяет значения активностей A_1 и A_2 через «количественные» пределы для допустимого содержания радионуклида в упаковке типа А. Эти значения также используются в НП-053-16 для таких целей, как определение пределов утечки активности из упаковок типа В(U), В(M) или С, пределов содержания для упаковок с материалами с низкой удельной активностью и освобожденных упаковок. Символ «Q» в названии системы обозначает количество.

Предпосылки

Упаковки типа А предназначены для экономичной перевозки большого количества грузов низкой активности с обеспечением в то же время высокого уровня безопасности. Пределы для содержимого упаковок установлены так, чтобы избежать неприемлемых радиационных последствий в случае серьезного повреждения упаковки типа А и исключать необходимость утверждения конструкции упаковки ГКО, за исключением упаковок, содержащих ДМ.

Основы Q-системы

В рамках Q-системы рассматривается ряд путей облучения, каждый из которых может привести к облучению (внутреннему или внешнему) людей вблизи упаковки типа А, попавших в транспортную аварию. Пути облучения схематически представлены на рис. 2.1 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, дозы облучения кожи от загрязнения, дозы внутреннего облучения при ингаляционном и пероральном поступлении, дозы внешнего облучения от радиоактивного облака, соответственно. Пределы содержания для альфа-излучателей и излучателей нейтронов материалов особого вида, а также для трития рассматриваются отдельно.

Значение A_1 для материалов особого вида определяется как меньшее из двух значений Q_A и Q_B , а значение A_2 для РМ, не относящихся к особому виду, является наименьшим из A_1 и остальных значений Q. При определении A_2 предполагалось, что поступление внутрь организма $10 \cdot 6A_2$ в результате «среднестатистической» аварии приводит к облучению в размере половины предела годового поступления для персонала группы А. Среднестатистическая авария была определена условно как авария, приводящая к полной потере защиты упаковки и выходу 0,1 % от содержимого упаковки, таким образом, что 0,1 % от этого вышедшего содержимого впоследствии поступает в организм находящегося рядом человека. Конкретные предположения для определения путей облучения, используемые при определении каждого значения Q, рассмотрены ниже, однако все они основаны на следующих радиационных критериях:

а) эффективная или ожидаемая эффективная доза для лица, находящегося вблизи транспортной упаковки при аварии, не должна превышать 50 мЗв.

б) эквивалентная или ожидаемая эквивалентная доза, полученная отдельными органами, включая кожу и конечности человека, не должна превышать 0,5 Зв, а для хрусталика глаза – 0,15 Зв.

в) маловероятно, что человек будет находиться на расстоянии 1 м от поврежденной упаковки в течение времени большего, чем 30 мин.

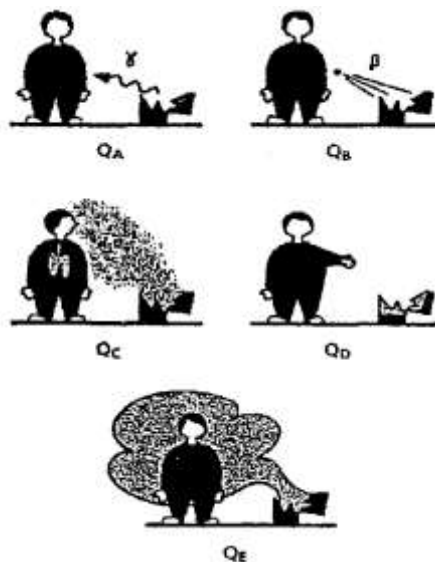


Рис. 2.1. Схематическое представление путей облучения, применяемых в Q-системе

В системе Основных норм безопасности (BSS) [2.1] Q-система относится к области нормирования потенциального облучения. Q-система описывает потенциальное облучение, которое может быть результатом аварии вследствие какого-либо события или последовательности событий вероятностного характера, включая отказы оборудования и ошибки при эксплуатации.

Эффективная доза облучения для человека, находящегося вблизи транспортной упаковки после аварии, не должна превышать 50 мЗв. При расчетах предполагается, что человек находится на расстоянии 1 м от поврежденной упаковки и остается в этом месте в течение 30 мин. Эффективная доза определяется суммой эквивалентных доз для тканей, каждая из которых умножается на соответствующий весовой коэффициент. Значения весовых коэффициентов для тканей приняты равными тем, что используются в радиационной защите и приведены в Публикации 60 МКРЗ [2.2].

Предполагается, что 30 мин – это то время, в течение которого рядом с упаковкой будут находиться лица, изначально присутствовавшие при аварии. Также предполагается, что последующие восстановительные операции осуществляются под надзором и с использованием средств защиты от ионизирующего излучения. 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

В данном разделе описаны дозиметрические модели и предположения, лежащие в основе вывода пяти основных значений Q.

Q_A — доза внешнего гамма-облучения

Значение Q_A для радионуклида определяется исходя из доз внешнего гамма- или рентгеновского облучения всего тела человека вблизи поврежденной упаковки типа А после аварии. Предполагается, что защита упаковки полностью разрушена и соответствующая мощность дозы на расстоянии 1 м от края (или поверхности) незащищенного РМ ограничивается значением 0,1 Зв/ч. Кроме того, предполагается, что поврежденная упаковка может рассматриваться как точечный источник.

Значение Q_A рассчитывалось с использованием полного спектра рентгеновского и гамма-излучения радионуклидов, в соответствии с Публикацией 38 МКРЗ [2.3]. Взаимосвязь между эффективной дозой и экспозиционной дозой на открытом воздухе принималась в соответствии с Публикацией 51 МКРЗ [2.4] для изотропной геометрии.

Значения Q_A определяются формулой:

$$Q_A = \frac{D/t}{DRC_\gamma} C, \quad (2.1)$$

где: D — контрольная доза 0,05 Зв;

t — время облучения 0,5 ч;

DRC_γ — коэффициент мощности эффективной дозы для радионуклида;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность Q_A .

Значения Q_A определяются из:

$$Q_A (\text{ТБк}) = \frac{10^{-13}}{e_{pt}}, \quad (2.2)$$

где e_{pt} — коэффициент мощности эффективной дозы для радионуклида на расстоянии 1 м, Зв·Бк⁻¹·ч⁻¹.

Коэффициенты эффективной дозы и мощности эффективной дозы приведены в таблице № 5.2 приложения № 5 к настоящим Справочным материалам.

Коэффициент мощности эффективной дозы рассчитан по формуле:

$$\dot{e}_{pt} = \frac{C}{4\pi d^2} \sum_i \left(\frac{e}{X} \right)_{E_i} Y_i E_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E_i} e^{-\mu_i d} B(E_i, d), \quad (2.3)$$

где: $\left(\frac{e}{X} \right)_{E_i}$ — соотношение между эффективной дозой и экспозиционной дозой в воздухе, Зв·Р⁻¹;

Y_i — выход фотонов энергии E_i на один распад, 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 , см²·г⁻¹;

μ_i — линейный коэффициент ослабления в воздухе для фотонов энергии E_i , см⁻¹;

$B(E_i, d)$ — керма фактор накопления фотонов энергии E_i на расстоянии d ;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность e_{pt} .

Расстояние d принято равным 1 м. Значение $(e/X)_{Ei}$ получено интерполяцией данных из Публикации 51 МКРЗ [2.4]. Этот подход верен для фотонов с энергией в диапазоне от 5 кэВ до 10 МэВ. Значение $(e/X)_{Ei}$ зависит от предположений относительно углового распределения поля излучения (геометрии излучения).

Q_B — доза внешнего бета-облучения

Значение Q_B определяется исходя из дозы бета-излучения, полученной кожей человека, облученного в результате аварии с упаковкой типа А, содержащей РМОВ. Предполагается полное разрушение упаковки при аварии. При этом учитывается малая длина пробега бета-излучения в веществе и связанное с этим уменьшение уровня ионизирующего излучения.

Значение Q_B рассчитывается с использованием полного спектра бета-излучения для радионуклидов в соответствии с Публикацией 38 МКРЗ [2.3]. Спектр излучения интересующего нуклида принят по данным [2.5, 2.6]. Предполагается, что бета-излучение низких энергий экранируется компонентами РМ. Самоэкранирование упаковки считается гладкой функцией максимальной энергии бета-спектра (рис. 2.2). Значение Q_B определяется по формуле:

$$Q_B = \frac{D/t}{DRC_\beta} C, \quad (2.4)$$

где: D — контрольная доза 0,5 Зв;

t — время облучения 0,5 ч;

DRC_β — коэффициент мощности эффективной дозы для радионуклида;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность Q_B .

Значение Q_B определяются из:

$$Q_B(ТБк) = \frac{1 \cdot 10^{-12}}{\dot{e}_\beta}, \quad (2.5)$$

где \dot{e}_β — коэффициент 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 таблице № 5.2 приложения № 5 к настоящим Справочным материалам.

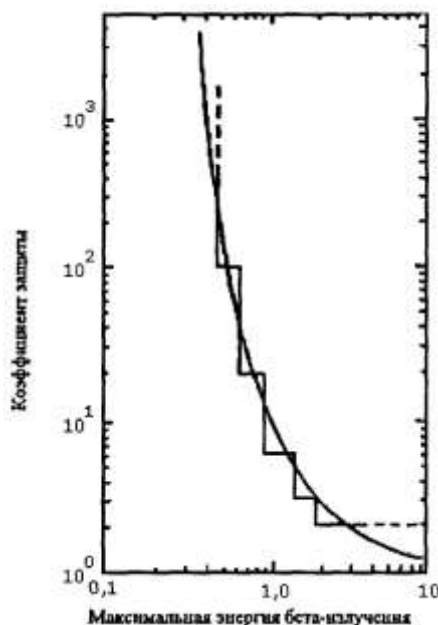


Рис. 2.2. Коэффициент защиты в зависимости от энергии бета-излучения.

Коэффициент защиты = $e\mu d$, $\mu = 0,017 \cdot E_{\beta\max}^{-1,14}$,

$d = 150 \text{ мг/см}^2$

В этом уравнении значение C принято равным 10^{-12} Тбк/Бк.

Коэффициент мощности дозы определяется как:

$$\dot{e}_{\beta} = \frac{1}{SF_{\beta\max}} J_{air} C, (2.6)$$

где: $SF_{\beta\max}$ — коэффициент защиты, рассчитанный при максимальной энергии бета-излучения;

J_{air} — доза в воздухе на расстоянии 1 м от одного бета-распада, $\text{МэВ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность e_{β} .

Параметр J_{air} рассчитывается как:

$$J_{air} = \frac{n}{4\pi r^2} \int_0^{E_{\max}} N(E) j(r/r_E, E) (E/r_E) dE, (2.7)$$

где: n — количество бета-частиц, излучаемых на один распад;

$N(E)$ — количество электронов, излучаемых с энергией в диапазоне от E до $E + dE$;

$j(r/r_E, E)$ — безразмерное распределение дозы, представляющее долю энергии, поглощаемой в сферической оболочке с радиусами r/r_E и $r/r_E + d(r/r_E)$, согласно [2.6, 2.7].

Следует отметить, что хотя предел дозы для хрусталика глаза ниже, чем для кожи (0,15 Зв по сравнению с 0,5 Зв), ограничивающим фактором всегда является доза на кожу [2.8 – 2.10]. Таким образом, учет дозы на хрусталик глаза не требуется.

Q_C — доза внутреннего облучения ингаляционным путем

Значение Q_C для радионуклидов, входящих во все РМ, за исключением РМОВ, определяется исходя из дозы, полученной человеком, подвергшимся облучению от РМ, вышедших при

аварии из поврежденной упаковки типа А, за счет ингаляционного поступления РМ в организм человека.

В рамках Q-системы рассматривается ряд аварий, включая происходящие как в помещении, так и на открытом воздухе, и возможные воздействия пожаров.

Предполагается, что вероятность «крупной аварии», способной вызвать выход большей части содержимого упаковки, мала [2.11–2.13]. Также предполагается, что из упаковки выходит около 0,1–1 % радиоактивного содержимого.

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 двуокси углерода доля вдыхаемых аэрозолей была определена как приблизительно равная 1 % [2.14]. Для жидкостей возможны большие доли выхода содержимого, но многочисленные барьеры, обеспечиваемые материалами упаковки типа А, включая абсорбенты и двойную систему герметизации, остаются эффективными даже после аварий с тяжелыми ударными или раздавливающими воздействиями [2.13]. Например, при аварии с источником ^{131}I , который был полностью раздавлен в автодорожной аварии, после удаления обломков упаковки на дороге осталось менее 2 % содержимого упаковки [2.15].

Наиболее тяжелыми аварийными условиями для множества упаковок типа А является сочетание тяжелого механического повреждения с пожаром. Однако даже в этой ситуации роль обломков в удержании выхода РМ может быть значительной [2.12, 2.13].

Зачастую при пожаре образуются относительно большие частицы материала, которые имеют тенденцию минимизировать радиационные последствия, вызванные ингаляционным поступлением радионуклидов, 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 ингаляционного поступления радионуклидов.

Величина доли поглощения РМ 0,01–0,1 % от количества вышедших РМ определена рассмотрением 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 $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, коэффициент поглощения получается равным приблизительно 10^{-3} за время облучения 30 мин. Альтернативный сценарий предполагает облучение в транспортном средстве объемом 50 м^3 при десятикратном воздухообмене в час. Предполагая ту же интенсивность дыхания и время облучения, что и ранее, коэффициент поглощения получается равным $2,4 \cdot 10^{-3}$, то есть имеющим тот же порядок величины, что и выше.

Для аварий, происходящих на открытом воздухе, наиболее консервативным предположением для атмосферного рассеяния вышедшего из упаковки материала является расположение точечного источника на уровне земли. Коэффициенты разбавления для этой ситуации на расстоянии 100 м по ветру изменяются в диапазоне от $7 \cdot 10^{-4}$ до $1,7 \cdot 10^{-2} \text{ с}/\text{м}^3$ [2.16], 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 $3,3 \cdot 10^{-7}$, то есть находится ближе к нижней границе указанного диапазона.

Экстраполяция использованных моделей расчета коэффициента разбавления в атмосфере на меньшие расстояния будет давать большую нагрузку. Уменьшение расстояния от облучающего объекта на порядок, то есть 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 могут стать доминирующими.

Таким образом, 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} . Вместе с предельными дозами, рассмотренными ранее, это приводит к выражению для предела содержимого по условиям облучения ингаляционным путем в виде:

$$Q_C = \frac{D}{1 \cdot 10^{-6} DC_{inh}} C, \quad (2.8)$$

где: D — контрольная доза 0,05 Зв;

$1 \cdot 10^{-6}$ — часть радиоактивного содержимого упаковки, поступающая ингаляционным путем;

DC_{inh} — дозовый коэффициент при ингаляции;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность Q_C .

Таким образом, величину Q_C можно рассчитать из

$$Q_C (\text{ТБк}) = \frac{5 \cdot 10^{-8}}{e_{inh}}, \quad (2.9)$$

где e_{inh} — дозовый коэффициент для ингаляции радионуклида, Зв/Бк.

Значения e_{inh} можно найти в таблицах II и III в Серии по безопасности № 115 [2.1]. Коэффициенты для расчета дозы и мощности дозы можно найти в таблице № 5.2 приложения № 5 к настоящему Справочным материалам.

В этом уравнении значение C было принято равным 10^{-12} ТБк/Бк.

Q_D — дозы от загрязнения кожи и перорального поступления

Значения Q_D определяются исходя из дозы бета-излучения, получаемой кожей человека, загрязненной РМ, за исключением РМОВ 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 в результате обращения с обломками упаковки происходит загрязнение рук РМ с активностью до 10 % от этого уровня [2.8]. Также предполагается, что облученный человек не носит перчатки и не моет руки в течение 5 ч.

Эти предположения представляют основу для оценки уровня загрязнения кожи, которое может возникнуть в условиях аварии. При пределе мощности дозы для кожи, равном 0,1 Зв/ч, и времени облучения 5 ч уровень загрязнения равен $10^{-3} Q_D / \text{м}^2$.

Значения Q_D были рассчитаны с использованием спектра бета-излучения в соответствии [2.3, 2.4]. Величина Q_D определяется по формуле:

$$Q_D = \frac{D}{10^{-3} \cdot DRC_{skin} \cdot t} C, \quad (2.10)$$

где: D — контрольная доза 0,5 Зв;

$1 \cdot 10^{-3}$ — доля содержимого упаковки, распределенная на единицу 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 .

Также Q_D можно определить из:

$$Q_D(\text{ТБк}) = \frac{2,8 \cdot 10^{-2}}{\dot{h}_{skin}}, \quad (2.11)$$

где \dot{h}_{skin} — доза на кожу на единицу активности на единицу площади кожи, $\text{Зв} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ТБк}^{-1} \cdot \text{м}^2$.

В этом уравнении значение C было приравнено к 1.

Q_E — доза внешнего облучения от радиоактивного облака

Значение Q_E для радиоактивных благородных газов, не поступающих в организм человека, определяется по дозе внешнего облучения от погружения в облако, образовавшееся при аварии в ходе перевозки РМ, как в сжатом, так и несжатом состоянии. Предполагается быстрый выход 100 % содержимого упаковки в помещении размерами $3 \times 10 \times 10$ м проветриванием с четырехкратным воздухообменом 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}).

Величина Q_E определяется выражением:

$$Q_E = \frac{D}{d_f \cdot DRC_{subm}} \cdot C, \quad (2.12)$$

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_{subm} — коэффициент мощности эффективной дозы внешнего облучения от радиоактивного облака на единичную объемную активность радионуклидов в воздухе, $\text{Зв} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^3$;

C — переводной коэффициент, определяющий размерность Q_E .

В этом уравнении значение d_f принято равным $2,6 \text{ Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ на Бк, вышедший в определенное помещение, а коэффициент C — 10^{-12} ТБк/Бк .

В таблице № 2.1 приведены значения дозовых коэффициентов внешнего облучения от радиоактивного облака.

Таблица № 2.1. Дозовые коэффициенты внешнего облучения от радиоактивного облака

Дозовые коэффициенты h_{sub} для внешнего облучения от радиоактивного облака, Зв·Бк ⁻¹ ·с ⁻¹ ·м ³			
Нуклид	h_{sub}	Нуклид	h_{sub}
³⁷ Ar	0	¹²² Xe	2,19·10 ⁻¹⁵
³⁹ Ar	1,15·10 ⁻¹⁶	¹²³ Xe	2,82·10 ⁻¹⁴
⁴¹ Ar	6,14·10 ⁻¹⁴	¹²⁷ Xe	1,12·10 ⁻¹⁴
⁸¹ Kr	2,44·10 ⁻¹⁶	^{131m} Xe	3,49·10 ⁻¹⁶
⁸⁵ Kr	2,40·10 ⁻¹⁶	¹³³ Xe	1,33·10 ⁻¹⁵
^{85m} Kr	6,87·10 ⁻¹⁵	¹³⁵ Xe	1,10·10 ⁻¹⁴
⁸⁷ Kr	3,97·10 ⁻¹⁴	²¹⁸ Rn	3,40·10 ⁻¹⁷
		²¹⁹ Rn	2,46·10 ⁻¹⁵
		²²⁰ Rn	1,72·10 ⁻¹⁷
		²²² Rn	1,77·10 ⁻¹⁷

Таким образом, QE определяется как:

$$Q_E(\text{ТБк}) = \frac{1,9 \cdot 10^{-14}}{h_{E,subm}}, \quad (2.13)$$

где $h_{E,sub}$ — коэффициент эффективной дозы внешнего облучения от радиоактивного облака, Зв·Бк⁻¹·с⁻¹·м³.

Коэффициенты дозы и мощности дозы можно найти в таблице № 5.2 приложения № 5 к настоящим Справочным материалам.

$$Q_E(\text{ТБк}) = \frac{1,9 \cdot 10^{-13}}{h_{skin,subm}}, \quad (2.14)$$

где $h_{skin,subm}$ — коэффициент эквивалентной дозы внешнего облучения от радиоактивного облака Зв·Бк⁻¹·с⁻¹·м³.

Модели, описанные выше, применимы к подавляющему большинству интересующих радионуклидов и могут использоваться для определения их значений Q и соответствующих величин A₁ и A₂. 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

В таких случаях значения Q рассчитывается для материнских и дочерних радионуклидов, и ограничивающее значение используется при определении A₁ и A₂ материнского радионуклида.

В Q-системе предполагается, что максимальное время перевозки 50 сут. РМ с периодом полураспада меньше 10 сут находятся в равновесии с их более долгоживущими материнскими

радионуклидами. Предполагается, что дочерние радионуклиды с периодом полураспада менее 10 сут находятся в вековом равновесии с более долгоживущим материнским радионуклидом; вклад дочерних радионуклидов в каждую величину Q суммируется с вкладом материнского нуклида. Это позволяет рассчитывать активности дочерних радионуклидов с ветвящимися фракциями менее единицы; например, ^{137m}Ba образуется в 0,946 распадах его материнского нуклида ^{137}Cs . В случаях когда дочерний радионуклид имеет период полураспада либо более 10 сут, либо больший, чем у материнского нуклида, рассматривалась смесь дочерних и материнских радионуклидов. Например, упаковка, содержащая ^{47}Ca (4,53 сут) рассчитывается в равновесии со своим дочерним радионуклидом ^{47}Sc (3,351 сут). Упаковка, содержащая ^{77}Ge (11,3 ч), рассчитывается как смесь ^{77}Ge и его дочернего нуклида ^{77}As (38,8 ч).

Иногда долгоживущий дочерний радионуклид образуется при распаде короткоживущего материнского радионуклида. В таких случаях возможный вклад дочернего радионуклида в дозу 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 ^{131m}Te (30 час), распадающийся на ^{131}Te (25 мин); последний, в свою очередь, распадается на ^{131}I (8,04 сут). Грузоотправитель должен применить правило для смеси к этой упаковке с активностью ^{131}I , определенной исходя из времени перевозки и накопления дочерних нуклидов. Цепочки распада, для которых вклад дочерних нуклидов включается в определение величины Q материнского нуклида, приведены в таблице № 2.3 настоящего приложения.

Альфа-излучатели

Радионуклид считается альфа-излучателем, если более чем в 10^{-3} распадах он излучает альфа-частицы или при его распаде образуется альфа-излучатель. Например, ^{235}Np , который распадается с излучением альфа-частиц в $1,4 \cdot 10^{-5}$ распадах, не является альфа-излучателем. В то же время ^{212}Pb является альфа-излучателем, поскольку его дочерний нуклид ^{212}Bi подвержен альфа-распаду.

Для альфа-излучателей не нужно рассчитывать значения Q_A или Q_B . Верхний предел альфа-излучателей особого вида исходя из статистических данных установлен $10^3 A_2$. 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 (таблица № 2.2 настоящего приложения).

Нейтронные излучатели

При разработке Q -системы предполагалось, что нейтронное излучение вносит незначительный вклад в общий уровень облучения [2.18]. Однако в случае, например, ^{252}Cf дозой от нейтронов пренебрегать нельзя. Согласно данным, приведенным в Публикации 21 МКРЗ [2.19] мощность дозы нейтронного- и гамма-излучения от ^{252}Cf массой 1 г составляет 25,4 Зв/ч на 1 м. В сочетании с указанным выше пределом мощности дозы для ^{252}Cf это дает величину Q_A , равную 0,095 ТБк. Двукратное увеличение дозы, в соответствии с взвешивающим коэффициентом для нейтронного излучения [2.2], дает значение для Q_A $4,7 \cdot 10^{-2}$. Нейтронная компонента в дозе внешнего облучения от источника ^{252}Cf доминирует, и аналогичные соображения применимы к другим спонтанно делящимся изотопам [2.20, 2.21].

Тормозное излучение

В целях защиты от возможного влияния тормозного излучения величины A_1 и A_2 , ограничение осталось на уровне 40 ТБк, а для некоторых нуклидов на уровне 20 ТБк.

Тритий и его соединения

При разработке Q-системы жидкости, содержащие тритий, рассматриваются отдельно. Использовалась модель с разлитием большого количества воды, содержащей тритий, на ограниченной площади в результате пожара. На основе этих предположений значение A_2 для жидкостей с тритием установлено равным 40 ТБк при дополнительном условии, что концентрация должна быть меньше 1 ТБк/л.

Радон и его дочерние продукты

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 пути облучения, помимо внешнего облучения от радиоактивного облака [2.22]. Единственным случаем, представляющим практический интерес, является ^{222}Rn , для которого доза на легкие вследствие ингаляции короткоживущих дочерних нуклидов специально рассмотрена МКРЗ [2.23].

Здесь при определении значений Q для ^{222}Rn учтены дочерние радионуклиды, перечисленные в таблице № 2.3 настоящего приложения. Соответствующее значение Q_C 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 ^{222}Rn с его дочерними нуклидами как благородный газ, то это дает значение $Q_E = 4,2 \cdot 10^{-3}$ ТБк.

Материалы с низкой удельной активностью с «неограниченными» значениями A_1 и A_2

В НП-053-16 выделена категория материалов, удельная активность которых столь мала, что представляется маловероятным их поступление в организм в опасном количестве (материалы НУА). Они были определены исходя из того, что 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 РМ, транспортируемое в упаковках типа А. Эта гипотетическая модель оставлена в системе Q и приводит к критерию для НУА, равному $10^{-4} \cdot Q_C/\text{г}$ таким образом, что 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 ^{238}U , ^{232}Th и ^{235}U , удовлетворяют вышеуказанному критерию. Расчеты с использованием новейших дозовых коэффициентов, приведенных в Основных нормах безопасности [2.1] и в изданиях МКРЗ [2.24], показывают, что необлученный уран, обогащенный до < 20 %, также удовлетворяет этому критерию, если основываться на смесях изотопов, приведенных в [2.25]. 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.

В представленных выше рассуждениях исключены соображения по поводу химической токсичности урана, для которой МКРЗ [2.23] рекомендовано значение его дневного поглощения 2,5 мг [2.26].

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. Предполагается, что присутствие $1 \div 10$ мг/см² загрязнения на руках легко обнаруживается и быстро стирается или смывается вне зависимости от возможной активности. 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

При определении максимально допустимой скорости утечки для упаковок типа В(У) или В(М) в нормальных условиях перевозки в качестве наиболее неблагоприятных условий принималось, что работник проводит 20 % своего рабочего времени в закрытом транспортном средстве объемом 50 м³, проветривая его с десятикратным воздухообменом в час. Считалось, что транспортное средство содержит упаковку типа В(У) или В(М), имеющую утечку активности со скоростью r (Бк/ч), и предполагалось консервативно, что результирующая активность в воздухе не меняется. На этой основе годовое поступление активности за счет ингаляции I_a человеком, работающим 2 000 ч в год со средней интенсивностью дыхания 1,25 м³/ч, было рассчитано как:

$$I_a = \frac{r}{50 \cdot 10} \cdot 1,25 \cdot 2000 \cdot 0,2, \quad (2.15)$$

или

$$I_a = r.$$

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.

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. Данный уровень консерватизма был сочтен адекватным, чтобы охватывать также маловероятные ситуации нескольких упаковок с протечками в одном транспортном средстве.

Допустимую скорость утечки r в помещении $30 \times 10 \times 10$ м при четырехкратном воздухообмене в час и интенсивности дыхания взрослого человека 1,25 м³/ч, с учетом эквивалентной дозы 20 мЗв, можно рассчитать следующим образом:

$$r = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{50} \cdot \frac{3000 \cdot 4 A_2}{2000 \cdot 1,25} \text{ в час}; \quad (2.16)$$

$$r = 1,9 \cdot 10^{-6} A_2 \text{ в час.}$$

Предполагаемое значение времени облучения принято очень консервативно.

Упаковки при нормальной перевозке редко имеют скорость утечки, близкую к предельно допустимой $10^{-6} A_2$. Такая утечка из упаковок может приводить к очень серьезному загрязнению

поверхности вблизи уплотнений и была бы легко обнаружена в результате радиационного контроля в ходе перевозки или при приемке груза грузополучателем.

Скорости утечки для аварийных условий

Аварии такой степени тяжести, которая моделируется в испытаниях упаковок типа В, определенных НП-053-16, крайне маловероятны в условиях ограниченного пространства помещений, кроме того, при возникновении подобных аварий будет осуществлена немедленная эвакуация всех людей, находящихся поблизости [2.27], что снизит вероятный уровень облучения. Следовательно, наиболее вероятный сценарий облучения – это авария, произошедшая на открытом воздухе. В такой ситуации радиационные последствия максимального допустимого выхода активности величиной A_2 за неделю от упаковки типа В(У) или В(М) можно выразить как предел эквивалентной дозы облучения лиц, непрерывно находящихся с подветренной стороны от поврежденной упаковки в течение времени выхода активности.

На практике маловероятно, что аварийный выход будет происходить в течение всей недели. В большинстве ситуаций аварийная бригада прибывает на место аварии и предпринимает эффективные восстановительные действия по ограничению выхода в течение нескольких часов. На этой основе максимальная эффективная доза за счет ингаляции РМ для лиц, находящихся на расстоянии 50÷200 м по ветру от поврежденной упаковки типа В(У) или В(М), при средних погодных условиях равна 1÷10 мЗв и увеличивается приблизительно в 5 раз при менее вероятных в целом и преобладающих стабильных метеорологических условиях. Эффекты локальной герметизации и турбулентности в атмосфере вблизи радиоактивного источника плюс возможные эффекты поднимающегося шлейфа, если имеет место пожар, будут уменьшать пространственную неравномерность доз на расстояниях от источника, превышающих несколько десятков метров, и приближать ее к нижней границе указанного диапазона доз. Следует также учитывать, что аварийный персонал в этой зоне должен работать при наличии дозиметрического контроля и наблюдения.

Особое положение для ^{85}Kr 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 ^{85}Kr и других (негазообразных) радионуклидов. В частности, было отмечено, что модель ингаляционного пути облучения, использованная при определении значений A_2 , неприемлема для радиоактивного благородного газа, который не создает внутреннего облучения. В рамках системы Q значение A_2 для ^{85}Kr равно значению Q_E для дозы внешнего облучения от радиоактивного облака кожи лиц, находящихся в помещении после быстрого выхода содержимого упаковки типа А при аварии. Можно показать, что даже допустимый выход величиной $10 A_2$ для ^{85}Kr крайне консервативен по сравнению с эквивалентными значениями A_2 для 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:

$$D_{inh} = A_2 \cdot d_f \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{50}{A_2 \cdot 10^{-6}} \text{ (мЗв)}, \quad (2.17)$$

где $3,3 \cdot 10^{-4}$ — средняя интенсивность дыхания взрослого человека ($\text{м}^3/\text{с}$), а поступление $A_2 \cdot 10^{-6}$ уравнено с дозой 50 мЗв.

На этой же основе выход $10A_2$ для ^{85}Kr (100 ТБк) приводит к дозе от нахождения в облаке, определяемой по выражению:

$$D_{subm} = 100 \cdot d_f \cdot 2,4 \cdot 10^{-1} \text{ (мЗв)}, \text{ (2.18)}$$

где $2,4 \cdot 10^{-1}$ — дозовый коэффициент дозы внешнего облучения от радиоактивного облака, мЗв·м³·ТБк⁻¹·с⁻¹.

Из приведенных выше выражений D_{inh}/D_{subm} равно приблизительно 680. Таким образом, предел выхода активности из упаковки типа В(У) или В(М) для ⁸⁵Kr представляется более чем на два порядка величины консервативнее по сравнению с (негазообразными) радионуклидами.

Таблица значений Q

Полный перечень значений Q , определенных на основе моделей, описанных выше, представлен в таблице № 2.2 настоящего приложения. Туда также включены соответствующие значения A_1 и A_2 пределов содержимого упаковок типа А для РМОВ и РМ, не относящихся к особому виду, соответственно. Значения Q в таблице № 2.2 настоящего приложения округлены до двух значащих цифр, а значения A_1 и A_2 — до одной; в последнем случае также применен условный (произвольный) предел 40 ТБк.

Химическая форма или химические свойства радионуклидов не учитываются. При определении значений Q_C используются наиболее ограничивающие дозовые коэффициенты из рекомендованных МКРЗ [2.9].

Таблица № 2.2. Пределы содержимого упаковки типа А: Q_A , Q_B , Q_C . Значения и пределы для материалов особого вида (A_1) и не особого вида (A_2)

Радионуклид	а — указано 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
²²⁵ Ac		4,9	$8,5 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$
²²⁷ Ac	а	$9,3 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^2$	$9,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-5}$
²²⁸ Ac		1,2	$5,6 \cdot 10^{-1}$	2,0	$5,2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
¹⁰⁵ Ag		2,0	$1,0 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	2	2
^{108m} Ag		$6,5 \cdot 10^{-1}$	5,9	1,4	6,0	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{110m} Ag		$4,2 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^1$	4,2	2,1	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
¹¹¹ Ag		$4,1 \cdot 10^1$	1,9	$2,9 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
²⁶ Al		$4,3 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	2,8	$7,1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
²⁴¹ Am	а	$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{242m} Am	а	$1,4 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
²⁴³ Am		5,0	$2,6 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-1}$	5	$1 \cdot 10^{-3}$

Радионуклид	а — указано 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
^{37}Ar		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	-	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{39}Ar		-	$7,3 \cdot 10^1$	-	$1,8 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{41}Ar		$8,8 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	-	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{72}As		$6,1 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^1$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{73}As		$9,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{74}As		1,4	1,7	$2,4 \cdot 10^1$	$9,4 \cdot 10^{-1}$	1	$9 \cdot 10^{-1}$
^{76}As		2,5	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$6,8 \cdot 10^1$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{77}As		$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^2$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{211}At		$2,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{193}Au		7,0	$1,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^2$	1,8	7	2
^{194}Au		1,1	$1,0 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^2$	6,1	1	1
^{195}Au		$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^1$	5,5	$1 \cdot 10^1$	6
^{198}Au		2,6	1,1	$6,0 \cdot 10^1$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{199}Au		$1,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,7 \cdot 10^1$	$6,4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{131}Ba		1,6	$1,0 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	2,2	2	2
^{133}Ba		2,6	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^1$	3	3
^{133m}Ba		$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{140}Ba		$6,3 \cdot 10^{-1}$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^1$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^7Be		$2,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$9,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{10}Be		-	$5,8 \cdot 10^1$	1,5	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{205}Bi		$6,9 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{206}Bi		$3,4 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^1$	1,1	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{207}Bi		$7,1 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	9,4	5,0	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{210}Bi		-	1,3	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
$^{210\text{m}}\text{Bi}$		4,3	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{212}Bi		1,0	$6,5 \cdot 10^{-1}$	1,7	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{247}Bk	а	7,7	$1,0 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	1,4	8	$8 \cdot 10^{-4}$
^{249}Bk		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{76}Br		$4,4 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^2$	$9,9 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{77}Br		3,4	$1,0 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^1$	3	3
^{82}Br		$4,1 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,8 \cdot 10^1$	$7,7 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{11}C		1,0	2,0	$1,0 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{14}C		-	$1,0 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^1$	3,2	$4 \cdot 10^1$	3
^{41}Ca		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{45}Ca		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^1$	1,2	$4 \cdot 10^1$	1
^{47}Ca		2,7	$3,7 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^1$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	3	$3 \cdot 10^{-1}$
^{109}Cd		$2,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	6,2	1,9	$3 \cdot 10^1$	2
$^{113\text{m}}\text{Cd}$		-	$9,1 \cdot 10^1$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{115}Cd		3,9	3,3	$4,3 \cdot 10^1$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	3	$4 \cdot 10^{-1}$
$^{115\text{m}}\text{Cd}$		$5,0 \cdot 10^1$	$5,2 \cdot 10^{-1}$	6,8	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{139}Ce		6,8	$1,0 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^1$	2,2	7	2

Радионуклид	a — указано 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
^{141}Ce		$1,6 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{143}Ce		3,7	$8,9 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^1$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{144}Ce		$2,2 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	1,0	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{248}Cf	a	$6,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-3}$
^{249}Cf		3,2	$1,0 \cdot 10^3$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	4,6	3	$8 \cdot 10^{-4}$
^{250}Cf	a	$1,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-3}$
^{251}Cf	a	7,5	$1,0 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-1}$	7	$7 \cdot 10^{-4}$
^{252}Cf		$4,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$
^{253}Cf	a	$4,2 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	1,2	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^{-2}$
^{254}Cf		$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{36}Cl		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^1$	7,2	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{38}Cl		$8,1 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{240}Cm	a	$1,7 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{241}Cm		2,2	$1,0 \cdot 10^3$	1,3	1,5	2	1
^{242}Cm	a	$1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-2}$
^{243}Cm		8,6	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-1}$	9	$1 \cdot 10^{-3}$
^{244}Cm	a	$1,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-3}$
^{245}Cm	a	9,1	$1,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	2,7	9	$9 \cdot 10^{-4}$
^{246}Cm	a	9,1	$1,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^3$	9	$9 \cdot 10^{-4}$
^{247}Cm		3,2	$1,6 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	Неогранич.	3	$1 \cdot 10^{-3}$
^{248}Cm		$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	Неогранич.	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$
^{55}Co		$5,4 \cdot 10^{-1}$	$9,7 \cdot 10^{-1}$	$9,1 \cdot 10^1$	$7,7 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{56}Co		$3,3 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^1$	7,8	2,9	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{57}Co		$1,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{58}Co		1,1	$7,8 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^1$	3,8	1	1
^{58m}Co		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{60}Co		$4,5 \cdot 10^{-1}$	$7,3 \cdot 10^2$	1,7	$9,7 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{51}Cr		$3,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{129}Cs		3,6	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^1$	4	4
^{131}Cs		$3,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{132}Cs		1,5	$1,0 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^1$	1	1
^{134}Cs		$6,9 \cdot 10^{-1}$	3,6	7,4	$9,2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{134m}Cs		$3,7 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{135}Cs		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	1,5	$4 \cdot 10^1$	1
^{136}Cs		$5,1 \cdot 10^{-1}$	$8,3 \cdot 10^2$	3,8	$7,0 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{137}Cs		$1,8 \cdot 10^{+00}$	8,2	1,0	$6,3 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{64}Cu		5,6	$1,1 \cdot 10^2$	$4,2 \cdot 10^2$	1,1	6	1
^{67}Cu		$1,0 \cdot 10^1$	$4,1 \cdot 10^2$	$8,6 \cdot 10^1$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{159}Dy		$2,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{165}Dy		$4,1 \cdot 10^1$	$9,4 \cdot 10^{-1}$	$8,2 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{166}Dy		$3,4 \cdot 10^1$	$8,6 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{169}Er		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^1$	$9,5 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	1
^{171}Er		2,9	$8,3 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{147}Eu		2,2	$1,0 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^1$	3,8	2	2

Радионуклид	a — указано 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
^{148}Eu		$5,1 \cdot 10^{-1}$	$5,1 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^1$	$1,9 \cdot 10^1$	$5,1 \cdot 10^{-1}$
^{149}Eu		$2,0 \cdot 10^1$	$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{150}Eu		$7,2 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	1,0	7,1	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{150m}Eu		$23 \cdot 10^1$	1,5	$2,6 \cdot 10^2$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	2	$7 \cdot 10^{-1}$
^{152}Eu		$9,6 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^2$	1,3	1,3	1	1
^{152m}Eu		3,7	$8,1 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^2$	$7,8 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$
^{154}Eu		$9,0 \cdot 10^{-1}$	1,6	1,0	$5,5 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{155}Eu		$1,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	7,7	3,2	$2 \cdot 10^1$	3
^{156}Eu		$8,8 \cdot 10^{-1}$	$7,4 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^1$	$6,7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{18}F		1,0	$2,8 \cdot 10^1$	$8,3 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{52}Fe		$4,1 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$7,6 \cdot 10^1$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{55}Fe		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{59}Fe		$9,4 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^1$	$8,9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{60}Fe		$2,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	3,7	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{67}Ga		7,4	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$	3,2	7	3
^{68}Ga		1,1	$4,6 \cdot 10^{-1}$	$9,8 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{72}Ga		$4,3 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$9,1 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{146}Gd		$5,3 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^2$	7,3	1,0	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{148}Gd	a	$2,0 \cdot 10^1$	-	$2,0 \cdot 10^{-3}$	-	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-3}$
^{153}Gd		9,5	$1,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^1$	8,9	$1 \cdot 10^1$	9
^{159}Gd		$2,1 \cdot 10^1$	3,1	$1,9 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$
^{68}Ge		1,1	$4,6 \cdot 10^{-1}$	3,8	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{71}Ge		$5,2 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{77}Ge		1,1	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{172}Hf		$5,8 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	1,5	1,7	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{175}Hf		2,9	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^1$	4,7	3	$3 \cdot 10^{400}$
^{181}Hf		1,9	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^1$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	2	$5 \cdot 10^{-1}$
^{182}Hf		4,6	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{194}Hg		1,1	$1,0 \cdot 10^3$	1,3	6,1	1	1
^{195m}Hg		3,1	$1,0 \cdot 10^3$	5,3	$7,3 \cdot 10^{-1}$	3	$7 \cdot 10^{-1}$
^{197}Hg		$1,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^1$	$1,6 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{197m}Hg		$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	8,1	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{203}Hg		4,6	$1,0 \cdot 10^3$	6,7	1,1	5	1
^{166}Ho		$3,8 \cdot 10^1$	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$7,6 \cdot 10^1$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{166m}Ho		$6,2 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	1,3	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{123}I		6,3	$1,0 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^2$	2,9	6	3
^{124}I		1,1	6,0	3,8	2,5	1	1
^{125}I		$1,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	3,3	$1,0 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	3
^{126}I		2,3	6,4	1,7	1,3	2	1
^{129}I		$2,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{131}I		2,8	$2,0 \cdot 10^1$	2,3	$6,9 \cdot 10^{-1}$	3	$7 \cdot 10^{-1}$
^{132}I		$4,8 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{133}I		1,8	$7,3 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{134}I		$4,2 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$6,9 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{135}I		$8,2 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{111}In		2,8	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$	3,0	3	3
$^{113\text{m}}\text{In}$		4,1	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	1,6	4	2
$^{114\text{m}}\text{In}$		$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	5,4	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
$^{115\text{m}}\text{In}$		6,5	$1,0 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^2$	1,0	7	1
^{189}Ir		$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{190}Ir		$7,5 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^1$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{192}Ir		1,3	$4,6 \cdot 10^1$	8,1	$6,1 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{194}Ir		$1,2 \cdot 10^1$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$8,9 \cdot 10^1$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{40}K		7,3	$9,4 \cdot 10^{-1}$	Неогранич.	Неогранич.	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{42}K		4,2	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^2$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{43}K		1,1	$7,3 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{81}Kr		$1,1 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	-	$7,9 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{85}Kr		$4,8 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^1$	-	$1,4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$		7,5	7,6	-	2,8	8	3
^{87}Kr		1,5	$2,1 \cdot 10^{-1}$	-	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{137}La		$3,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	5,7	$1,0 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^1$	6
^{140}La		$4,9 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$4,5 \cdot 10^1$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{172}Lu		$5,9 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^1$	2,2	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{173}Lu		8,0	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^1$	8	8
^{174}Lu		8,5	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^1$	9	9
$^{174\text{m}}\text{Lu}$		$1,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^1$	$3,7 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$

Радионуклид	а — указано 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
^{177}Lu		$3,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^1$	$7,3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{28}Mg		$3,7 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{52}Mn		$3,2 \cdot 10^{-1}$	$7,3 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^1$	1,9	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{53}Mn		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{54}Mn		1,3	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	1	1
^{56}Mn		$6,7 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{93}Mo		$8,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{99}Mo		6,2	1,3	$5,1 \cdot 10^1$	$5,5 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{13}N		1,0	$9,3 \cdot 10^{-1}$	-	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{22}Na		$5,0 \cdot 10^{-1}$	3,8	$3,8 \cdot 10^1$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{24}Na		$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{93m}Nb		$4,9 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{94}Nb		$6,8 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	1,1	$7,0 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{95}Nb		1,4	$1,0 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^1$	4,0	1	1
^{97}Nb		1,6	$9,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{147}Nd		7,4	5,6	$2,2 \cdot 10^1$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	6	$6 \cdot 10^{-1}$
^{149}Nd		2,9	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{59}Ni		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{63}Ni		-	$1,0 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$

Радионуклид	а — указано 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
^{65}Ni		2,1	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$5,7 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{235}Np		$1,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{236}Np		8,7	$1,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$	9	$2 \cdot 10^{-2}$
^{236m}Np		$2,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^1$	1,5	$2 \cdot 10^1$	2
^{237}Np	а	$2,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-3}$
^{239}Np		6,7	$2,6 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^1$	$4,1 \cdot 10^{-1}$	7	$4 \cdot 10^{-1}$
^{185}Os		1,5	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^1$	$2,3 \cdot 10^1$	1	1
^{191}Os		$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^1$	2,3	$1 \cdot 10^1$	2
^{191m}Os		$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{193}Os		$1,5 \cdot 10^1$	1,6	$9,8 \cdot 10^1$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{194}Os		$1,2 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{32}P		-	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^1$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{33}P		-	$1,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^1$	1,2	$4 \cdot 10^1$	1
^{230}Pa		1,7	$1,0 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	2,1	2	$7 \cdot 10^{-2}$
^{231}Pa	а	$1,0 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^1$	4	$4 \cdot 10^{-4}$	3,8
^{233}Pa		5,4	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^1$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	5	$7 \cdot 10^{-1}$
^{201}Pb		1,5	$1,0 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^2$	3,3	1	1
^{202}Pb		$9,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	$1,6 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{203}Pb		3,6	$1,0 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^2$	2,6	4	3
^{205}Pb		$8,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{210}Pb		$2,4 \cdot 10^2$	1,3	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	1	$5 \cdot 10^{-2}$
^{212}Pb		1,0	$7,0 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{103}Pd		$4,7 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{107}Pd		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{109}Pd		$7,0 \cdot 10^1$	1,9	$1,4 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^{-1}$	2	$5 \cdot 10^{-1}$
^{143}Pm		3,3	$1,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^1$	$3,6 \cdot 10^2$	3	3
^{144}Pm		$6,7 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	6,4	$3,4 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{145}Pm		$2,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{147}Pm		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^1$	1,7	$4 \cdot 10^1$	2
$^{148\text{m}}\text{Pm}$		7,6	9,1	$7,2 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$8,3 \cdot 10^{-1}$
^{149}Pm		$1,0 \cdot 10^2$	1,7	$6,9 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{151}Pm		3,3	1,8	$1,1 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{210}Po	а	$1,7 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{142}Pr		$2,0 \cdot 10^1$	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$8,9 \cdot 10^1$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{143}Pr		$1,0 \cdot 10^3$	3,0	$2,2 \cdot 10^1$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$
^{188}Pt		$9,7 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^1$	$7,8 \cdot 10^{-1}$	1	$8 \cdot 10^{-1}$
^{191}Pt		3,6	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^2$	3,5	4	3
^{193}Pt		$8,7 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
$^{193\text{m}}\text{Pt}$		$9,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
$^{195\text{m}}\text{Pt}$		$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^2$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{197}Pt		$4,7 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$5,5 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
$^{197\text{m}}\text{Pt}$		$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{236}Pu	а	$2,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-3}$

Радионуклид	а — указано 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
^{237}Pu		$2,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$
^{238}Pu	а	$1,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{239}Pu	а	$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{240}Pu	а	$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{241}Pu		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-2}$
^{242}Pu	а	$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{244}Pu		3,1	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{223}Ra		3,9	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-3}$
^{224}Ra		1,1	$4,3 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{225}Ra		$1,2 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$
^{226}Ra		$6,5 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$
^{228}Ra		1,2	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{81}Rb		1,7	$1,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^{-1}$	2	$8 \cdot 10^{-1}$
^{83}Rb		2,1	$1,0 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^1$	$4,3 \cdot 10^2$	2	2
^{84}Rb		1,2	$4,0 \cdot 10^1$	$4,5 \cdot 10^1$	2,2	1	1
^{86}Rb		$1,2 \cdot 10^1$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^1$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{87}Rb		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
Rb (природ.)		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{184}Re		1,2	$1,0 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^1$	1,7	1	1
^{184m}Re		2,8	$1,0 \cdot 10^3$	8,2	1,2	3	1
^{186}Re		$5,8 \cdot 10^1$	2,0	$4,5 \cdot 10^1$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{187}Re		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{188}Re		$2,0 \cdot 10^1$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$9,1 \cdot 10^1$	$5,4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{189}Re		$3,2 \cdot 10^1$	2,5	$1,2 \cdot 10^2$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
Re (природ.)		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{99}Rh		1,8	$1,0 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^1$	7,5	2	2
^{101}Rh		4,3	$1,0 \cdot 10^3$	9,8	2,6	4	3
^{102}Rh		$5,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	3,1	$5,4 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{102m}Rh		2,2	8,9	7,5	1,8	2	2
^{103m}Rh		$4,5 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{105}Rh		$1,4 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$8 \cdot 10^1$
^{222}Rn		$6,7 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	-	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$
^{97}Ru		4,7	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^1$	5	5
^{103}Ru		2,2	$2,0 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^1$	1,6	2	2
^{105}Ru		1,4	1,2	$2,8 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
^{106}Ru		5,3	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$8,1 \cdot 10^{-1}$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{35}S		-	$1,0 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^1$	3,0	$4 \cdot 10^1$	3
^{122}Sb		2,4	$4,3 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{124}Sb		$6,2 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$	8,2	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{125}Sb		2,4	$2,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^1$	1,4	2	1
^{126}Sb		$3,8 \cdot 10^{-1}$	1,3	$1,8 \cdot 10^1$	$7,1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{44}Sc		$5,1 \cdot 10^{-1}$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{46}Sc		$5,4 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	7,8	$8,5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{47}Sc		$1,1 \cdot 10^1$	$1,7 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^1$	$7,0 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{48}Sc		$3,3 \cdot 10^{-1}$	$9,0 \cdot 10^{-1}$	$4,5 \cdot 10^1$	$6,5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{75}Se		2,9	$1,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^1$	3	3
^{79}Se		-	$1,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^1$	2,3	$4 \cdot 10^1$	2
^{31}Si		$1,0 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{32}Si		-	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	1,6	$4 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{145}Sm		$1,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{147}Sm		$5,6 \cdot 10^1$	-	Неогранич.	-	Неогранич.	Неогранич.
^{151}Sm		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{153}Sm		$1,7 \cdot 10^1$	9,1	$8,2 \cdot 10^1$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	9	$6 \cdot 10^{-1}$
^{113}Sn		3,7	$1,0 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^1$	1,6	4	2
^{117m}Sn		7,1	$1,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^1$	$4,0 \cdot 10^{-1}$	7	$4 \cdot 10^{-1}$
^{119m}Sn		$6,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{121m}Sn		$1,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^1$	$8,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{123}Sn		$1,6 \cdot 10^2$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	6,5	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{125}Sn		3,6	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^1$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{126}Sn		$6,6 \cdot 10^{-1}$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	1,9	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{82}Sr		$9,7 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	5,0	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{85}Sr		2,1	$1,0 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^1$	$8,5 \cdot 10^1$	$2,10^{+00}$	2
^{85m}Sr		5,2	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^1$	5	2
^{87m}Sr		3,3	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	3,3	3	3
^{89}Sr		$1,0 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	6,7	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{90}Sr		$1,0 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{91}Sr		1,5	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{92}Sr		8,2	1,1	$1,2 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	1	$3 \cdot 10^{-1}$
T (^3H)		-	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	-	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{178}Ta		1,1	$1,0 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^2$	$8,2 \cdot 10^{-1}$	1	$8 \cdot 10^{-1}$
^{179}Ta		$3,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^1$
^{182}Ta		$8,7 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^1$	5,1	$5,4 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{157}Tb		$3,1 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{158}Tb		1,4	$1,6 \cdot 10^2$	1,1	1,8	1	1
^{160}Tb		$9,8 \cdot 10^{-1}$	2,3	7,6	$5,8 \cdot 10^{-1}$	1	$6 \cdot 10^{-1}$
$^{95\text{m}}\text{Tc}$		1,5	$1,0 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^1$	$1,2 \cdot 10^1$	2	2
^{96}Tc		$4,3 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
$^{96\text{m}}\text{Tc}$		$4,3 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{97}Tc		$7,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
$^{97\text{m}}\text{Tc}$		$8,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^1$	1,4	$4 \cdot 10^1$	1
^{98}Tc		$7,5 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	$6,8 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{99}Tc		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	$8,8 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-1}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$		9,8	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	4,3	$1 \cdot 10^1$	4
^{121}Te		1,8	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$	2	2
$^{121\text{m}}\text{Te}$		5,1	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^1$	2,5	5	3
$^{123\text{m}}\text{Te}$		7,7	$1,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^1$	1,2	8	1
$^{125\text{m}}\text{Te}$		$2,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^1$	$9,1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{127}Te		$2,2 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^1$	$4,2 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
$^{127\text{m}}\text{Te}$		$5,0 \cdot 10^1$	$1,9 \cdot 10^1$	6,8	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{129}Te		$1,7 \cdot 10^1$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{129m}Te		$1,3 \cdot 10^1$	$8,5 \cdot 10^{-1}$	7,9	$4,4 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{131m}Te		$7,5 \cdot 10^{-1}$	1,2	$4,5 \cdot 10^1$	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
^{132}Te		$4,9 \cdot 10^{-1}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^1$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{227}Th		$1,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	4,7	$1 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^{-3}$
^{228}Th		$7,6 \cdot 10^{-1}$	$5,3 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{229}Th	а	5,1	$1,0 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	1,8	5	$5 \cdot 10^{-4}$
^{230}Th	а	$1,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{231}Th		$3,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	1,2	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{232}Th		1,2	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{234}Th		$4,2 \cdot 10^1$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	6,8	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Th (природ.)		$4,7 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{44}Tl		$4,8 \cdot 10^{-1}$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{200}Tl		$8,5 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^2$	7,1	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$
^{201}Tl		$1,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	4,0	$1 \cdot 10^1$	4
^{202}Tl		2,3	$1,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^1$	2	2
^{204}Tl		$9,9 \cdot 10^2$	9,6	$1,1 \cdot 10^2$	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-1}$
^{167}Tm		7,4	$1,0 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^1$	$8,2 \cdot 10^{-1}$	7	$8 \cdot 10^{-1}$
^{170}Tm		$2,0 \cdot 10^2$	2,6	7,6	$6,1 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$
^{171}Tm		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{230}U (F)		$5,2 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	3,1	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-1}$
^{230}U (M)	а	$3,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	3,1	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^{-1}$

Радионуклид	а — указано 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
^{230}U (S)	а	$3,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	3,1	$3 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-3}$
^{232}U (F)	а	$1,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-2}$
^{232}U (M)	а	$7,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^{-3}$
^{232}U (S)	а	$1,4 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-3}$
^{233}U (F)		$8,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-2}$
^{233}U (M)	а	$1,6 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{233}U (S)	а	$5,7 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-3}$
^{234}U (F)		$6,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^{-2}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$9 \cdot 10^{-2}$
^{234}U (M)	а	$1,6 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{234}U (S)	а	$5,9 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-3}$
^{235}U (F)		6,4	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{235}U (M)		6,4	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{235}U (S)		6,4	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{236}U (F)		$6,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{236}U (M)	а	$1,7 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$
^{236}U (S)	а	$6,3 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	Неогранич.	$4 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^{-3}$
^{238}U (F)		$7,5 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{238}U (M)	а	$1,9 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{238}U (S)	а	$6,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U (природн.)		$6,4 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
U (< 20% об.)		-	-	-	-	Неогранич.	Неогранич.
U (обедн.)		$4,7 \cdot 10^1$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{48}V		$3,8 \cdot 10^{-1}$	3,0	$2,2 \cdot 10^1$	1,1	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{49}V		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{178}W		8,8	$1,0 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^2$	4,6	9	5

Радионуклид	а — указано 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
^{181}W		$2,6 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^2$	3	$3 \cdot 10^1$
^{185}W		$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^1$	$8 \cdot 10^{-1}$
^{187}W		2,2	2,1	$2,5 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	2	$6 \cdot 10^{-1}$
^{188}W		$2,0 \cdot 10^1$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^1$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{122}Xe		1,1	$4,0 \cdot 10^{-1}$	-	8,8	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{123}Xe		1,8	$1,0 \cdot 10^1$	-	$6,8 \cdot 10^{-1}$	2	$7 \cdot 10^{-1}$
^{127}Xe		3,9	$1,0 \cdot 10^3$	-	1,7	4	2
^{131m}Xe		$3,8 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	-	$4,0 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
^{133}Xe		$2,1 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	-	$1,5 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
^{135}Xe		4,5	3,5	-	1,8	3	2
^{87}Y		1,4	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$	3,2	1	1
^{88}Y		$4,3 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
^{90}Y		$1,0 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^1$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{91}Y		$3,1 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	6,0	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
^{91m}Y		2,0	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^1$	2	2
^{92}Y		4,4	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
^{93}Y		$1,3 \cdot 10^1$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$
^{169}Yb		3,5	$1,0 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^1$	1,0	4	1
^{175}Yb		$2,7 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^1$	$4,2 \cdot 10^1$	2	2
^{69}Zn		$1,0 \cdot 10^3$	3,2	$1,0 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$
^{69m}Zn		3,4	4,0	$1,7 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^{-1}$	3	$6 \cdot 10^{-1}$
^{88}Zr		2,6	$1,0 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^1$	$2,1 \cdot 10^1$	3	3

Радионуклид	a — указано 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
^{93}Zr		-	$1,0 \cdot 10^3$	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.	Неогранич.
^{95}Zr		1,8	$4,5 \cdot 10^2$	9,1	$8,5 \cdot 10^{-1}$	2	$8 \cdot 10^{-1}$
^{97}Zr		$9,2 \cdot 10^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^1$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$

Примечания

(F) — высокие темпы легочной поглощаемости;

(M) — средние темпы легочной поглощаемости;

(S) — низкие темпы легочной поглощаемости.

Описанное здесь использование Q-системы 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, получаемые вблизи поврежденной упаковки, 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 РМОВ, для которого $Q_A \approx Q_B$, по расчетам на основе моделей системы Q эффективная доза и эквивалентная доза на кожу облученного человека могут приблизиться к 50 мЗв и 0,5 Зв соответственно. Анализ таблицы 2.2 показывает, что это соображение справедливо лишь в отношении относительно небольшого числа радионуклидов, и по этой причине в Q-системе сохранено независимое рассмотрение путей облучения.

Наконец, необходимо рассматривать пределы содержимого упаковки для смесей радионуклидов, включая особый случай смеси продуктов деления. Для смесей радионуклидов, нуклидный состав и активность которых известны, необходимо показывать, что:

$$\sum_i \frac{B(i)}{A_1(i)} + \sum_j \frac{C(j)}{A_2(j)} \leq 1, \quad (2.19)$$

где: $B(i)$ — активность материала особого вида;

$A_1(i)$ — значение A_1 для i-го радионуклида;

$C(j)$ — активность j-го радионуклида материала не особого вида;

$A_2(j)$ — значение A_2 для j-го радионуклида.

Альтернативно значения для смеси могут быть определены как:

$$X_m \text{ для смеси} = \frac{1}{\sum_i \frac{f(i)}{X(i)}}, \quad (2.20)$$

где: $f(i)$ — доля активности i-го радионуклида в смеси;

$X(i)$ — соответствующее значение A_1 или A_2 для i-го радионуклида;

X_m — полученное значение A_1 или A_2 для смеси.

В таблице № 2.3 приведены цепочки распада, использованные при определении значений A_1 и A_2 в рамках Q-системы.

Таблица № 2.3. Цепочки распада, используемые в Q-системе

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
^{28}Mg	^{28}Al
^{42}Ar	^{42}K
^{47}Ca	^{47}Sc
^{44}Ti	^{44}Sc
^{52}Fe	$^{52\text{m}}\text{Mn}$
^{60}Fe	$^{60\text{m}}\text{Co}$
$^{69\text{m}}\text{Zn}$	^{69}Zn
^{68}Ge	^{68}Ga
^{83}Rb	$^{83\text{m}}\text{Kr}$
^{82}Sr	^{82}Rb
^{90}Sr	^{90}Y
^{91}Sr	$^{91\text{m}}\text{Y}$
^{92}Sr	^{92}Y
^{87}Y	$^{87\text{m}}\text{Sr}$
^{95}Zr	$^{95\text{m}}\text{Nb}$
^{97}Zr	$^{97\text{m}}\text{Nb}, ^{97}\text{Nb}$
^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$
$^{95\text{m}}\text{Tc}$	^{95}Tc
$^{96\text{m}}\text{Tc}$	^{96}Tc
^{103}Ru	$^{103\text{m}}\text{Rh}$
^{106}Ru	^{106}Rh
^{103}Pd	$^{103\text{m}}\text{Rh}$
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	^{108}Ag
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{110}Ag
^{115}Cd	$^{115\text{m}}\text{In}$
$^{114\text{m}}\text{In}$	^{114}In
^{113}Sn	$^{113\text{m}}\text{In}$

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	^{121}Sn
^{126}Sn	$^{126\text{m}}\text{Sb}$
^{118}Te	^{118}Sb
$^{127\text{m}}\text{Te}$	^{127}Te
$^{129\text{m}}\text{Te}$	^{129}Te
$^{131\text{m}}\text{Te}$	^{131}Te
^{132}Te	^{132}I
^{135}I	$^{135\text{m}}\text{Xe}$
^{122}Xe	^{122}I
^{137}Cs	$^{137\text{m}}\text{Ba}$
^{131}Ba	^{131}Cs
^{140}Ba	^{140}La
^{144}Ce	$^{144\text{m}}\text{Pr}, ^{144}\text{Pr}$
$^{148\text{m}}\text{Pm}$	^{148}Pm
^{146}Gd	^{148}Eu
^{166}Dy	^{166}Ho
^{172}Hf	^{172}Lu
^{178}W	^{178}Ta
^{188}W	^{188}Re
^{189}Re	$^{189\text{m}}\text{Os}$
^{194}Os	^{194}Os
^{189}Ir	$^{189\text{m}}\text{Os}$
^{188}Pt	^{188}Ir
^{194}Hg	^{194}Au
$^{195\text{m}}\text{Hg}$	^{195}Hg
^{210}Pb	^{210}Bi
^{212}Pb	$^{212}\text{Bi}, ^{208}\text{Tl}, ^{212}\text{Po}$
$^{210\text{m}}\text{Bi}$	^{206}Tl

Материнский радионуклид	Дочерние радионуклиды
^{212}Bi	^{208}Tl , ^{212}Po
^{211}At	^{211}Po
^{222}Rn	^{218}Po , ^{214}Pb , ^{218}At , ^{214}Bi , ^{214}Po
^{223}Ra	^{219}Rn , ^{215}Po , ^{211}Pb , ^{211}Bi , ^{211}Po , ^{207}Tl
^{224}Ra	^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl , ^{212}Po
^{225}Ra	^{225}Ac , ^{221}Fr , ^{217}At , ^{213}Bi , ^{209}Tl , ^{213}Po , ^{209}Pb
^{226}Ra	^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{218}At , ^{214}Bi , ^{214}Po
^{228}Ra	^{228}Ac
^{225}Ac	^{221}Fr , ^{217}At , ^{213}Bi , ^{209}Tl , ^{213}Po , ^{209}Pb
^{227}Ac	^{223}Fr
^{228}Th	^{224}Ra , ^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl , ^{212}Po
^{234}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{234}Pa
^{230}Pa	^{226}Ac , ^{226}Th , ^{222}Fr , ^{222}Ra , ^{218}Rn , ^{214}Po
^{230}U	^{226}Th , ^{222}Ra , ^{218}Rn , ^{214}Po
^{235}U	^{231}Th
^{241}Pu	^{237}U
^{244}Pu	^{240}U , $^{240\text{m}}\text{Np}$
$^{242\text{m}}\text{Am}$	^{242}Am , ^{238}Np
^{243}Am	^{239}Np
^{247}Cm	^{243}Pu
^{249}Bk	^{245}Am
^{253}Cf	^{249}Cm

Список литературы, используемой в приложении № 2

[2.1] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organisation, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, World Health Organization, Vienna (1996).

[2.2] Recommendations of the ICRP. Publication 60, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1991).

- [2.3] Radionuclide Transformations – Energy and Intensity Data of Emissions. Publication 38, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1983).
- [2.4] Data for Use in Protection against External Radiation. Publication 51, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1987).
- [2.5] Eckerman K. F., Westfall R. J., Ryman J. C., Cristy M. Nuclear Decay Data Files of the Dosimetry Research Group. Rep. ORNL/TM-12350, Oak Ridge Natl Lab., TN (1993).
- [2.6] 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, ON (1982).
- [2.7] 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).
- [2.8] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 26, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1977).
- [2.9] Cross W. G., Ing H., Freedman N.O., Mainville J. Tables of Beta-Ray Dose Distributions in Water, Air, and Other Media. Rep. AECL-2793, Atomic Energy of Canada Ltd, Chalk River, ON (1967).
- [2.10] Bailey, M. R., Beta: A Computer Program for Calculating Beta Dose Rates from Point and Plane Sources, Rep. RD/B/N2763, Central Electricity Generating Board, London (1973).
- [2.11] Lohmann D. H. Transport of radioactive materials: A review of damage to packages from the radiochemical centre during transport. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Int. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin (1980).
- [2.12] Hadjiantonion A., Armiriotis J., Zannos A. The performance of Type A packaging under air crash and fire accident conditions. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Int. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin (1980).
- [2.13] Taylor C. B. G. Radioisotope packages in crush and fire. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Int. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin (1980).
- [2.14] Stewart K. Principal Characteristics of Radioactive Contaminants Which May Appear in the Atmosphere, Progress in Nuclear Energy. Series 12, Health Physics, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford and New York (1969).
- [2.15] Wehner G. The importance of reportable events in public acceptance. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 83 (Proc. Int. Symp. New Orleans, 1983), Oak Ridge Natl Lab., TN (1983).
- [2.16] Bryant P. M. Methods of Estimation of the Dispersion of Windborne Material and Data to Assist in their Application. Rep. AHSB(RP)R42, United Kingdom Atomic Energy Authority, Berkeley, UK (1964).
- [2.17] Dunster H. J. Maximum Permissible Levels of Skin Contamination. Rep. AHSB (RP)R78, United Kingdom Atomic Energy Authority, Harwell, UK (1967).
- [2.18] Macdonald H. F., Goldfinch E. P. Dosimetric aspects of Type A package contents limits under the IAEA Regulations. Radiat. Prot. Dosim. 1 (1981).

- [2.19] Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15. Publication 21, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection Oxford and New York (1973).
- [2.20] Fairbairn A., Morley F., Kolb W. The classification of radionuclides for transport purposes, The Safe Transport of Radioactive Materials (GIBSON, R., Ed.), Pergamon Press, Oxford and New York (1966).
- [2.21] Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. Publication 32, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection Oxford and New York (1981).
- [2.22] Specification for Uranium Hexafluoride Enriched to Less than 5 % U-235. ASTM C996-90, ASTM, American Society for Testing and Materials, Standard, Philadelphia, PA (1991).
- [2.23] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (As Amended 1959 and revised 1962). Publication 6, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1964).
- [2.24] Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. Publication 68, Pergamon Press, International Commission on Radiological Protection, Oxford and New York (1995).
- [2.25] Macdonald H. F. Individual and collective doses arising in the transport of irradiated nuclear fuels. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 80 (Proc. Int. Symp. Berlin, 1980), Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin (1980).
- [2.26] Macdonald H. F. Radiological Limits in the Transport of Irradiated Nuclear Fuels, Rep. TPRD/B/0388/N84, Central Electricity Generating Board, Berkeley, UK (1984).
- [2.27] 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).

Приложение № 3

Размещение и крепление упаковок при перевозке

Введение

Для безопасной перевозки грузов РМ их следует закреплять внутри или на поверхности транспортного средства во время транспортных операций. В соответствии с требованиями НП-053-16 необходимо чтобы:

- конструкция упаковки обеспечивала ее надежное крепление для каждого вида предполагаемого транспорта (пункт 2.4.1 НП-053-16);
- компоненты упаковки и системы ее крепления конструировались так, чтобы их целостность не нарушалась в ходе обычных операций по перевозке (пункт 2.4.6 НП-053-16);
- швартовые тросы или иные системы крепления не нарушали целостность упаковок как в нормальных, так и в аварийных условиях перевозки (пункт 2.8.4 НП-053-16);
- упаковка была надежно закреплена на транспортном средстве (пункт 5.7.1 НП-053-16).

Системы крепления упаковок не должны в обязательном порядке выдерживать нормальные или аварийные условия перевозки [3.1 – 3.28]. В таких условиях допускается отделение упаковки от транспортного средства за счет разрушения или конструктивного разъединения ее креплений с целью сохранения целостности упаковки.

Тем не менее система крепления должна быть способна выдерживать нагрузки, возникающие при:

- неровностях дороги;
- вибрациях;
- линейном ускорении или торможении;
- изменении направления;
- заносах на дороге при плохих погодных условиях, не приводящих к столкновению, попаданию в шторм и зону турбулентности.

Типы систем крепления

Для закрепления упаковок возможно использовать следующие средства (либо их комбинации):

- 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 (без точек крепления на упаковке);
- цапфы на упаковке, крепящиеся к опорам, находящимся на транспортной раме, либо образующей части транспортного средства;

- фланцы на опоре или основании, являющиеся неотъемлемой частью упаковки, и прикреплённые болтами к транспортной раме или прямо к транспортному средству;
- поворотные замки нормальной или повышенной прочности;
- тормозные башмаки, стеллажи либо углубления в транспортном средстве, посредством которых упаковка удерживается за счет собственной массы.

Способы крепления следует выбирать так, чтобы они не вызывали повреждений упаковок, а также 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 проектантом путем использования соединений ограниченной прочности в точках крепления упаковки либо в стяжках.

Большие и тяжелые упаковки крепятся к транспортному средству специальным способом. Легкие и маленькие упаковки, закрепленные с помощью стяжек или иным способом, обычно перевозятся в закрытых транспортных средствах.

Легкие и маленькие упаковки обычно перевозятся в закрытых транспортных средствах, а для их закрепления используются стяжки.

При использовании стяжек для крепления упаковок следует учитывать следующее:

- тормозные башмаки, прикрепленные к транспортному средству и упирающиеся в основание упаковки для ограничения ее горизонтального перемещения, сильно уменьшают нагрузки на натянутые стяжки;
- угол, образуемый элементами стяжки и транспортным средством, 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 тросов друг о друга, 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, а также проводить их периодический осмотр в процессе перевозки. Возможное ослабление в результате вибрации следует исключать путем использования виброустойчивых соединений;
- в случае если платформа не способна противостоять конструкционным нагрузкам, анкеры или тормозные башмаки следует прикреплять непосредственно к раме транспортного средства, а не к платформе.

Учет возможных напряжений при транспортировании

При конструировании и анализе упаковок и систем их крепления необходимо использовать нормативные нагрузки и соответствующие коэффициенты перегрузки. В таблице № 1 приложения № 4 к НП-053-16 приведены значения максимальных ускорений, которые могут использоваться при конструировании упаковок и систем их крепления для обычных условий перевозки.

Под коэффициентом перегрузки понимается величина, равная отношению максимальной расчетной нагрузки (возможной при обычных условиях транспортирования) к нормативной нагрузке.

В дополнение к учету этих ускорений проектант 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 ГКО. 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.

Следует показать, что упаковка и система ее крепления соответствуют требованиям к максимальным ускорениям (желательно путем испытаний). 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 в соответствии с массой, формой и размерами рассматриваемых упаковок и транспортного средства. Опыт показывает, что для упаковок массой 100 т граничная частота должна быть порядка $10 \div 20$ Гц [3.8]. Для меньших упаковок массой m , т граничную частоту следует подбирать путем умножения на коэффициент $(100/m)^{1/3}$.

Примеры конструкций систем крепления и их оценки

Множество конструкций используется для крепления упаковок при перевозке. При этом одними из наиболее часто используемых являются:

- стяжки с тормозными башмаками;
- жесткое основание (фланец), крепящийся болтами к транспортному средству.
- При расчете надежности креплений не следует учитывать трение упаковок о транспортное средство.

От проектанта требуется количественно определять нагрузки, передаваемые от системы крепления к упаковке и транспортному средству. Такое количественное определение необходимо для:

- определения максимальных усилий крепления упаковки;
- обеспечения того, чтобы при определенных условиях перегрузок система крепления была должным образом определена, и фиксация упаковки должным образом обеспечена;
- определения максимальных усилий на анкерные стяжки на перевозочном средстве;
- демонстрации того, что целостность упаковки обеспечивается в соответствии с требованиями НП-053-16;
- обеспечения должных указаний в инструкциях по размещению (для перевозчика);

- четкого определения критериев, обеспечивающих соответствие компонентов и оснастки системы крепления приведенным выше соображениям.

В качестве примера возможного расчета можно рассмотреть жесткую упаковку, закрепленную с помощью четырех симметрично расположенных натянутых стяжек. Чтобы рассчитать верхний предел сил, действующих в стяжках и, следовательно, результирующих 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. На рис. 3.1 настоящего приложения 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. Упаковка закреплена симметрично четырьмя стяжками 1, 2, 3 и 4, как показано на рис. 3.1 настоящего приложения. Натяжение в стяжках обозначим P_1 , P_2 , P_3 и P_4 , соответственно.

Кроме четырех стяжек, упаковка фиксируется четырьмя башмаками, каждый из которых должен обеспечивать неподвижность дна упаковки относительно пола, удерживая упаковку от соскальзывания со стороны, противоположной направлению ускорения транспортного средства при нормальном транспортировании и возможных авариях.

При отсутствии таких башмаков единственным средством крепления упаковки остается ее удержание стяжками, которые должны быть в предварительно растянутом состоянии, чтобы даже при нормальном транспортировании обеспечивать дополнительную к силе тяжести упаковки силу, прижимающую дно упаковки к полу транспортного средства, достаточную для того, чтобы за счет увеличения силы трения предотвращать скольжение упаковки относительно дна транспортного средства при любых максимально возможных перегрузках. Поэтому при реально возникающих даже относительно небольших перегрузках силы натяжения стяжек должны будут противостоять силам, значительно большим, чем те, которые имеют место при наличии башмаков. Установка башмаков рекомендуется именно с целью избежать завышенных требований по прочности стяжек [3.1–3.28].

Со стороны пола транспортного средства на дно упаковки действует сила реакции опоры, которую удобно представлять в виде двух составляющих: нормальной (направленной перпендикулярно к плоскости дна упаковки) и касательной (силе трения, лежащей в плоскости дна упаковки и направленной в сторону направления ускорения). При использовании башмаков со стороны каждого из них на упаковку также действуют силы реакции (нормальная и касательная) в точках, соответствующих серединам нижних ребер упаковки.

Рассматривается модель упаковки, транспортируемой на транспортном средстве, которое под влиянием внешних воздействий, соответствующих нормальным условиям транспортирования (тряска, толчки, торможение, повороты) или могущих быть исходным событием проектных или запроектных аварий (столкновение с другим транспортным средством, землетрясение), получило ускорение a $\{a_x; a_y; a_z\}$. В рассматриваемом примере принимается, что до этого момента транспортное средство и, соответственно, упаковка сохраняют состояние равномерного прямолинейного движения ($a_x = a_y = a_z = 0$).

Соответственно, предполагается, что предварительное натяжение во всех стяжках (P_1 , P_2 , P_3 и P_4) близко к нулю (являясь достаточным только для того, чтобы они не провисали), сила тяжести, действующая на упаковку, полностью компенсируется суммой нормальных составляющих сил реакций поверхностей пола транспортного средства и башмаков, а касательные составляющие реакций поверхностей этих опор равны нулю. Поскольку равнодействующая всех

ненулевых сил, фактически действующих на упаковку со стороны транспортного средства и элементов закрепления упаковки относительно поверхности дна транспортного средства, проходит через центр тяжести упаковки, упаковку можно рассматривать как материальную точку и не учитывать ее размеры.

После возникновения внешних воздействий, заставивших транспортное средство (за счет соответствующих внешних сил) начать движение с абсолютным ускорением a $\{a_x; a_y; a_z\}$ (для общности рассмотрения примем, что все проекции ускорения на оси X, Y, Z не равны нулю), те из упомянутых выше сил, которые были равны нулю при равномерном поступательном движении транспортного средства (реакции натяжения в стяжках P_1, P_2, P_3 и P_4 , а также касательные составляющие реакций поверхностей дна и башмаков) стали ненулевыми. При этом линии действия каждой из них (с учетом точек их приложения) не проходят через центр тяжести упаковки.

Поэтому математическая модель, описывающая динамику движения упаковки под действием изменившихся сил, действующих на нее со стороны транспортного средства и элементов крепления, несколько усложняется.

Во-первых, в требования безопасности крепления упаковки на поверхности транспортного средства входит не только условие неподвижности упаковки относительно транспортного средства (отсутствие проскальзывания), одним из условий которого является равенство ее абсолютного ускорения абсолютному ускорению упаковки:

$$M_a = M_g + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \sum_i \{R_i\} \quad (3.1)$$

(индекс i идентифицирует нормальные и касательные составляющие всех реакций опоры, действующих на упаковку со стороны дна транспортного средства и башмаков), но и условие, исключающее ее опрокидывание (равенство нулю суммы моментов всех сил, действующих на упаковку):

$$\sum \text{MOM} [M_g + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \sum_i \{R_i\}]. \quad (3.2)$$

Во-вторых, при наличии опрокидывающих упаковку сил будет уменьшаться сила нормальной реакции опоры со стороны пола транспортного средства, а распределение касательной реакции этой опоры (силы трения) будет меняться сложным образом, что очень трудно определяется количественно.

Отметим, что в ряде случаев задачу на определение сил, действующих на объект (например, упаковку), движущийся (или неподвижный) относительно системы отсчета (например, транспортного средства), в свою очередь, движущейся с ускорением относительно условно инерциальной системы отсчета, проще и удобнее решать из условия равенства нулю относительного ускорения объекта (упаковки) относительно неинерциальной системы отсчета (транспортного средства), что достигается введением в выражения (3.1) и (3.2) дополнительной фиктивной силы (т. е. силы инерции), приложенной к центру масс объекта и равной $F = -Ma$.

Именно такой подход к определению сил, действующих на стяжки и башмаки, использован в дальнейшем изложении. То есть в обоих приведенных ниже примерах решались уравнения:

$$Mg + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \sum_i \{R_i\} - Ma = 0, \quad (3.1 \text{ а})$$

$$\sum \text{MOM} [Mg + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \sum_i \{R_i\} - Ma]. \quad (3.2 \text{ а})$$

Второе из отмеченных выше осложняющих обстоятельств при движении транспортного средства с ненулевым ускорением было учтено следующим образом.

Поскольку оценка нагрузок на элементы крепления упаковки на транспортные средства должна быть консервативной, а горизонтальные силы, приложенные к башмакам, будут максимальны, если пренебречь трением между дном упаковки и полом транспортного средства, при расчете максимальных нагрузок на башмаки следует принять именно это консервативное допущение (отметим, что сила трения гарантированно будет равняться нулю, если действующее вертикальное ускорение a_z будет не меньше g).

В дальнейшем изложении для его упрощения один и тот же символ (принятый для обозначения скалярных величин) в случаях, с очевидностью исключающих ошибочное понимание, используется для обозначения как самих векторных физических величин, так и для их абсолютных значений (величин скалярных), а также используются, без дополнительных пояснений, общепотребительные обозначения проекций различных векторов на оси X, Y, Z , приведенные на рис. 3.1 настоящего приложения (для краткости также иногда называемые «силами»).

Таким образом, в неинерциальной системе отсчета кроме упомянутых выше сил, действующих на упаковку со стороны пола транспортного средства, элементов крепления и приложенной к центру тяжести упаковки силы тяжести F_g (равной Mg), на нее действует сила инерции, равная $-Ma$ с проекциями F_x, F_y, F_z , равными Ma_x, Ma_y, Ma_z , соответственно, также приложенными к центру тяжести упаковки.

Рассмотрим силу F_x , действующую отдельно: только проекции сил натяжения стяжек 1 и 2 (P_1 и P_4) на ось X (P_{1x} и P_{4x}) уравнивают эту силу, поскольку стяжки 2 и 4 остаются ненапряженными. Силу F_y уравнивают проекции сил натяжения этих же стяжек на ось Y P_{1y} и P_{2y} .

Совместное действие сил F_x и F_z уравнивают соответствующие проекции сил натяжения P_1 и P_2 : P_{1x}, P_{2x}, P_{1z} и P_{2z} .

Совместное действие сил F_x и F_z уравнивают соответствующие проекции сил натяжения P_1 и P_2 : P_{1x}, P_{2x}, P_{1z} и P_{2z} . Совместное действие сил F_y и F_z также уравнивают соответствующие проекции сил натяжения P_1 и P_2 этих стяжек. Симметрия этого примера обеспечивает то, что определенные выше пары стяжек несут равную нагрузку.

Для расчета верхнего предела натяжения стяжек рассмотрим силы F_x и F_z , действующие совместно, и упаковку в точке опрокидывания через край днища. При расчете моментов сил относительно этого края получим следующее:

$$F_x (Z/2) + F_z (X/2) = F_g (X/2) + 2ZP_{1x} (\cos\varphi \cos\alpha) + 2XP_{1x} \sin\varphi. \quad (3.3)$$

Поскольку $Z=X, F_x = Ma_x, F_z = Ma_z$ и $F_g = Mg, P_{1x}$ определяются как:

$$P_{1x} = [M(a_x + a_z - g)]/[4(\cos\varphi \cos\alpha + \sin\varphi)]. \quad (3.4)$$

Аналогично для сил F_y и F_z , действующих совместно, и упаковки в точке опрокидывания через край днища, имеем следующее:

$$P_{1y} = [M(a_y + a_z - g)]/[4(\cos\varphi \cos\alpha + \sin\varphi)]. \quad (3.5)$$

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 $\alpha = \varphi = 45^\circ$. Следовательно:

$$P_1 = 0,621 M_g + 0,414 M_g = 1,035 M_g. \quad (3.6)$$

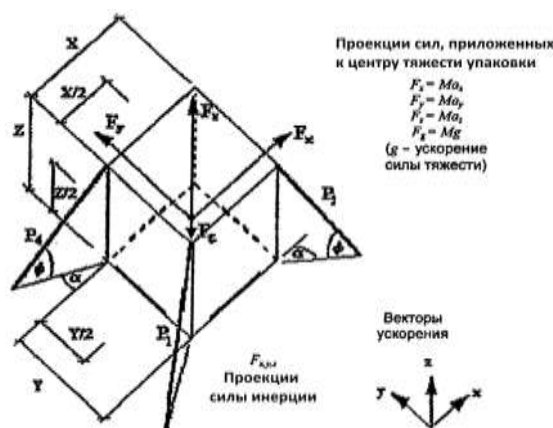


Рис. 3.1. Графическое представление системы натянутых стяжек с башмаками

Для оценки максимальных горизонтальных сил, действующих на башмаки, можно исследовать каждое направление, учитывая наличие только проекций силы инерции на горизонтальную плоскость. 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 достижения горизонтального равновесия, получается следующее:

$$F_x = 2P_{1x}(\cos\varphi \cos\alpha) + F_{cx}, \quad (3.7)$$

где F_{cx} – сила, действующая на башмак, которая при подстановке Ma_x вместо F_x равна:

$$F_{cx} = Ma_x - 2P_{1x}(\cos\varphi \cos\alpha). \quad (3.8)$$

При условии, что $\varphi = \alpha = 45^\circ$, и с учетом (3.5), P_{1x} определяется по формуле:

$$P_{1x} = [M(a_x + a_z - g)]/[4(\cos\varphi \cos\alpha + \sin\varphi)]. \quad (3.9)$$

Таким образом, для $a_x = 2g$, $a_z = 1g$ при отсутствии трения и $\varphi = \alpha = 45^\circ$, получаем:

$$F_{cx} = 1,586 Mg \quad (3.10)$$

Аналогично, для силы F_{cy} , действующей на башмак, при $a_y = 1g$, $a_z = 1g$ и $\varphi = \alpha = 45^\circ$,

$$F_{cy} = 0,793 Mg. \quad (3.11)$$

Следует отметить, что может потребоваться рассмотрение различных комбинаций перегрузок для получения максимального нагружения стяжек и башмаков. Из приведенного выше примера видно, насколько значительные нагрузки могут они воспринимать.

На рис. 3.2 показан общий вид прямоугольной упаковки с фланцем на днище, крепящимся болтами к транспортному средству, на рис. 3.3 изображена диаграмма сил, используемая в анализе, а символы, применяемые в этом анализе, приведены в таблице № 3.1 настоящего приложения. Предполагается, что:

- болты, расположенные вдоль сторон, параллельных главной силе, не оказывают сопротивление опрокидывающей силе;
- фланец является недеформируемым.

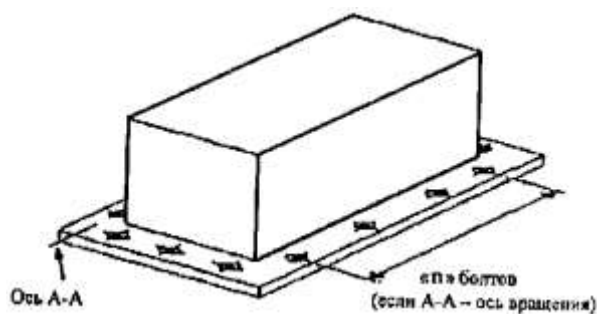


Рис. 3.2. Общий вид упаковки

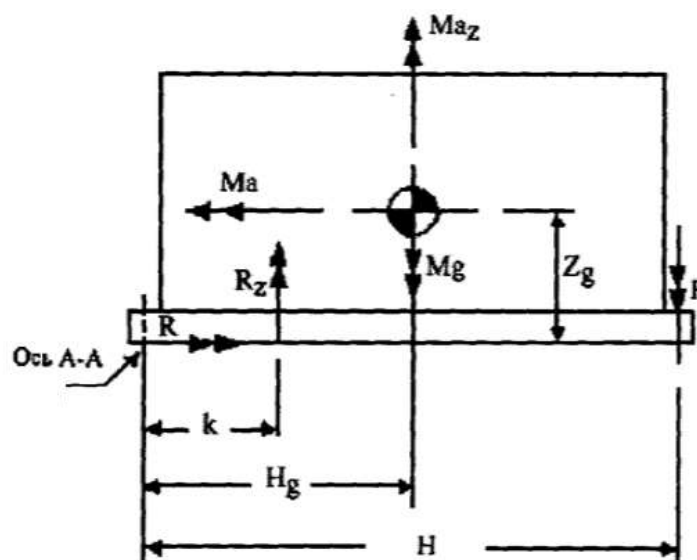


Рис. 3.3. Диаграмма сил, используемых в анализе

Таблица № 3.1 Символы, используемые при расчете напряжений в креплении упаковки

Параметр	Описание
a	Ускорение в горизонтальной плоскости (m/c^2)
a_x	Ускорение вдоль горизонтальной продольной оси x (m/c^2)
a_y	Ускорение вдоль горизонтальной поперечной оси y (m/c^2)
g	Ускорение свободного падения (m/c^2)
F	Общая сила, действующая на болты, расположенные вдоль стороны, противоположной оси вращения А – А (Н)
H	Длина упаковки (м)
a_z	Ускорение вдоль вертикальной оси z (m/c^2)
H_g	Расстояние от оси вращения до центра тяжести (м)
k	Расстояние от оси вращения до точки приложения силы R_z (м)
M	Масса упаковки (кг)
n	Количество болтов на стороне, противоположной оси вращения А – А

R	Реакция опоры в горизонтальном направлении (H)
R_z	Реакция опоры в вертикальном направлении на упаковку со стороны транспортного средства (H)
T	Максимальное растягивающее усилие в каждом болте (H)
Z_g	Вертикальное расстояние от днища до центра тяжести (m)

Вертикальные силы подчиняются равенству:

$$Ma_z + R_z = Mg + F. (3.12)$$

Горизонтальные силы подчиняются равенству:

$$Ma = R. (3.13)$$

Учет моментов сил дает следующее соотношение:

$$R_z k + Ma_z H_g + Ma Z_g = Mg H_g + FH. (3.14)$$

При отрыве k стремится к нулю, и уравнение упрощается до:

$$Ma_z H_g + Ma Z_g = Mg H_g + FH. (3.15)$$

Преобразуем выражение к виду:

$$F = [M\{H_g(a_z - g) + Z_g a\}]/H. (3.16)$$

Следовательно, максимальная нагрузка на каждый болт на стороне, противоположной оси вращения $A - A$, равна:

$$T = F/n \text{ или } T = [M\{H_g(a_z - g) + Z_g a\}]/Hn. (3.17)$$

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.

Термины, использованные в приложении № 3

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.

Тормозной башмак — арматура, прикрепленная к транспортному средству для противодействия силам, действующим в горизонтальном направлении.

Крепление — подстилки, скобки, колодки, стяжки, сети, фланцы, стеллажи и т. п., используемые для предотвращения перемещений упаковки под действием ускорений транспортного средства в ходе перевозки.

Система стяжек — комплект из узла крепления, анкерного болта и стяжки.

Список литературы, используемой в приложении № 3

- [3.1] Shielding Integrity Testing on Radioactive Material Transport Packaging. Rep. AECР(TCSC)1056, TCSC, Transport container standardisation committee, Harwell, UK (1991).
- [3.2] Testing the Integrity of Packaging Radiation Shielding by Scanning with Radiation Source and Detector. Rep. AESS(TCSC)6067, TCSC, Transport container standardisation committee, Harwell, UK (1995).
- [3.3] The Securing / Retention of Radioactive Material Packages on Conveyances. Rep. TCSC1006, TCSC, Transport container standardisation committee, Harwell, UK (2003).
- [3.4] Fuel Shipping Containers Tie-down for Truck Transport. RTD Standard F8-11T, USDOE, United states department of energy, Washington, DC (1975).
- [3.5] Structure Analysis of Shipping Casks. Vol. 7, Cask Tie-down Design Manual, Technical Report, Rep. ORNL-TM-1312, Oak Ridge Natl Lab., Oak ridge national laboratory, TN (1969).
- [3.6] American National Standard for Highway Route Controlled Quantities of Radioactive Materials – Domestic Barge Transport. Rep. ANSI N14.24-1985, ANSI, American national standards institute, New York (1993).
- [3.7] Lifting and Tie-down Standards for All Packages, 10 CFR 71.45. US Government Printing Office, Nuclear regulatory commission, Washington, DC (1995).
- [3.8] Agreement Governing the Exchange and Use of Wagons between Railway Undertakings (RIV 2000). Appendix II, Vol. 1 – Loading Guidelines, UIC, Union internationale des chemins de fer, Paris (1999).
- [3.9] Code for the Safe Carriage of Packaged Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Wastes on Board Ships (INF Code). Resolution MSC.178(79), IMO, International maritime organization, London (2004).
- [3.10] Series 1 Freight Containers – Specification and Testing – Part 3: Tank Containers for Liquids, Gases, and Pressurized Dry Bulk. ISO 1496-3:1995, International organization for standardization, Geneva (1995) and subsequent Amendment 1:2006.
- [3.11] Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen: Zurrkräfte. VDI 2702, Beuth Verlag, Verein deutscher ingenieure, Berlin (1990).
- [3.12] Title 49, US Code of Federal Regulations. Part 393.100-102, US Government Printing Office, United states office of the federal register, Washington, DC (1990).
- [3.13] Guide to Applications for Competent Authority Approval. Rep. DTp/RMTD/0001/Issue 1, HMSO, Department of transport, London (1992).
- [3.14] Anderson G. P., McCarthy J. C. Prediction of the Acceleration of RAM Packagings during Rail Wagon Collisions. Rep. AEA-ESD-367, AEA Technology, Harwell, UK (1995).
- [3.15] 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. Int. Symp. Las Vegas, 1995), United States Department of Energy, Washington, DC (1995).
- [3.16] 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 Natl Labs, Albuquerque, NM (1991).

- [3.17] Dixon P. Tie down systems – Proofs of design calculations. Packaging and Transportation of Radioactive Materials. Rep. TCSP(93)P1072, Transport Container Standardisation Committee, Harwell, UK (1994).
- [3.18] Cory A. R. Flask tie-down design and experience of monitoring forces. Int. J. Radioact. Mater. Transp. 2, 1 – 3 (1991).
- [3.19] 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, Harwell, UK (1994).
- [3.20] Requirements and Recommendations for the Design of Wagons Running on BR Lines. MT235 Rev. 4, British Railways Board, British railways board, London (1989).
- [3.21] Safety of Loads on Vehicles. HMSO, Department of transport, London (1984).
- [3.22] 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, Transport Container Standardisation Committee, Harwell, UK (1996).
- [3.23] Gilles P., et al. Stowing of Packages Containing Radioactive Materials During their Road Transportation with Trucks for Loads up to 38 Tonnes. Rep. TNB 8601-2, Transnubel SA, Brussels (1985).
- [3.24] Draulans J., et al. Stowing of Packages Containing Radioactive Materials on Conveyances. Rep. N/Ref:23.906/85D-JoD/IP, Transnubel SA, Brussels (1985).
- [3.25] Load Attaching Points on Loads in Nuclear Power Plants, KTA Safety Standard KTA 3905, KTA Geschäftsstelle, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Kerntechnischer ausschuss, Germany (1994).
- [3.26] Series 1 Freight Containers – Specification and Testing – Part 1: General Cargo Containers for General Purposes, ISO 1496-1:1990(E), ISO, International organization for standardization, Geneva (1990) and subsequent Amendments 1:1993, 2:1998, 3:2005, 4:2006 and 5:2006.
- [3.27] Guidelines for Packing of Cargo Transport Units (CTUs), IMDG Code Supplement (Amdt. 33 – 06), IMO, International maritime organization, imo/ilo/unece, London (2006).
- [3.28] Nuclear Energy – Fuel Technology – Trunnions for Packages Used to Transport Radioactive Material. ISO 10276:2010, International organization for standardization, Geneva (2010).

Приложение № 4. Примеры расчетов для определения минимальных разделяющих расстояний

Введение

Разделяющие расстояния используют с целью отделения грузов РМ от:

- зон, постоянно занятых людьми, для обеспечения требуемой радиационной защиты (пункты 1.2.7 и 5.7.5 НП-053-16);
- мест, занимаемых фоточувствительными материалами (пункт 5.7.5 НП-053-16);
- упаковок с другими опасными грузами (пункты 5.1.8 и 5.7.5 НП-053-16).

В данном приложении содержатся рекомендации по разработке критериев для отделения упаковок с РМ от вышеуказанных мест.

Зачастую на разных видах транспорта устанавливают разделения для радиационной защиты путем введения таблиц минимальных разделяющих расстояний, основанных на предельных значениях доз в соответствии с требованиями пункта 5.7.5 НП-053-16.

Порядок расчета, представленный ниже, консервативен во многих отношениях. Например, предельные значения доз из пункта 5.7.5 НП-053-16 определяются для границы постоянно занятой зоны. Поскольку люди могут перемещаться внутри зоны в течение времени присутствия упаковок с РМ, их результирующее облучение будет меньше, чем предельные значения [4.1]. Уровни излучения, используемые в процедуре, основаны на ТИ упаковки или на суммировании ТИ партии упаковок. При этом самоэкранирование в пределах партии упаковок не учитывается и результирующий уровень излучения будет ниже того уровня, на котором основывались расчеты.

Чтобы установить данным методом минимальные разделяющие расстояния, прежде всего необходимо разработать модель условий перевозки для данного вида транспорта. При разработке модели необходимо учесть различные переменные параметры. Важными параметрами такой модели являются:

- максимальное годовое время нахождения в пути (МГВП) для экипажа и критических групп из населения;
- коэффициент перевозок РМ (КПРМ), определяемый как отношение годового количества рейсов с упаковками категорий «II-ЖЕЛТАЯ» и «III-ЖЕЛТАЯ» с РМ к общему годовому количеству рейсов;
- максимальное годовое время облучения (МГВО) для персонала и населения, являющееся произведением соответствующего МГВП и соответствующего КПРМ, то есть:
- $\text{МГВО (час/год)} = \text{МГВП (час/год)} \text{ КПРМ}; \quad (4.1)$
- соответствующие значения доз (Д) из пункта 5.7.5 НП-053-16 для персонала и населения;

- опорные мощности дозы (ОМД) для персонала и лиц из населения, используемые как основа для установления минимальных разделяющих расстояний и определяемые путем деления значений доз на соответствующее МГВО, то есть:

$$\text{ОМД (мЗв/час)} = \text{Д (мЗв/год)} / \text{МГВО (час/год)}. \quad (4.2)$$

Ниже представлен пример того, как может быть определено разделяющее расстояние в случаях пассажирского и грузового воздушных судов. В нижеследующих расчетах все упаковки и группы упаковок считаются единичными точечными источниками, уровни излучения от которых обратно пропорциональны квадрату расстояния.

Размещение одной группы упаковок под основной (пассажирской) палубой на пассажирском воздушном судне

В типичном пассажирском воздушном судне упаковки размещаются в грузовом отсеке непосредственно под пассажирским салоном. Наибольшему уровню облучения будет подвержен пассажир, находящийся в кресле прямо над упаковкой или группой упаковок с РМ. Все другие пассажиры будут подвержены облучению меньшего уровня (рис. 4.1).

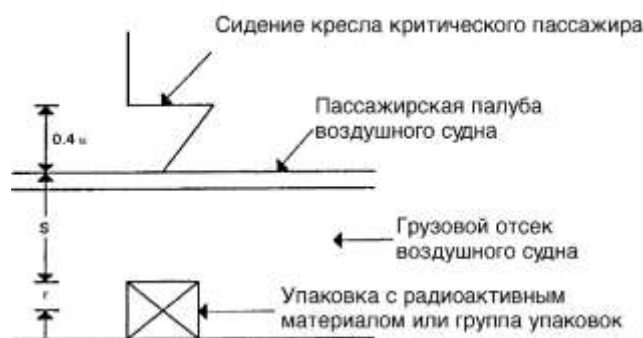


Рис. 4.1. Типичное расположение пассажира и груза в пассажирском воздушном судне, используемое для определения разделяющего расстояния S

Фактическое минимальное расстояние (ФМР) разделения между источником в упаковке (или группе упаковок) и интересующей точкой (представляющей пассажира) на типичном пассажирском воздушном судне будет равно сумме требуемого разделяющего расстояния (S , м) между упаковкой и границей пассажирского салона, высоты кресла (хотя действительная высота кресел в большинстве самолетов близка к 0,5 м, здесь она консервативно принимается равной 0,4 м) и радиуса упаковки (r , м):

$$\text{ФМР} = S + 0,4 + r. \quad (4.3)$$

Параметр ТИ обеспечивает точную меру максимального уровня излучения на расстоянии 1 м от поверхности упаковки. Чтобы использовать единицы измерения системы СИ, значение ТИ необходимо разделить на 100. Отсюда закон обратной пропорциональности квадрату расстояния дает:

$$\text{ОМД} = (\text{ТИ}/100)(\text{КП}_f) (1,0 + r)^2 / (\text{ФМР})^2, \quad (4.4)$$

где:

ОМД — опорная мощность дозы на высоте кресла, мЗв/час;

ТИ — транспортный индекс, который после деления на 100 представляет уровень излучения на расстоянии 1 м от поверхности упаковки, мЗв/час;

КП_f — коэффициент пропускания для пола пассажирского салона, то есть доля радиации, проходящая через конструкции самолета между источником и мишенью (безразмерна);

r — радиус упаковки или группы упаковок (половина наименьшего размера), м;

Подстановка уравнения (4.3) в уравнение (4.4) дает:

$$\text{ОМД} = (\text{ТИ}/100)(\text{КП}_f)(1,0 + r)^2 / (S + 0,4 + r)^2. \quad (4.5)$$

Решая относительно S, получаем:

$$S = [(\text{ТИ} \cdot \text{КП}_f) / (100 \cdot \text{ОМД})]^{1/2} (1 + r) - (r + 0,4). \quad (4.6)$$

Коэффициент пропускания (КП_f) зависит от энергии излучения от конструкции упаковки и пола самолета. Обычно он находится в диапазоне от 0,7 до 1,0. Комбинации ТИ, коэффициентов пропускания и размеров упаковки приведены в таблице № 4.1.

Таблица № 4.1. Коэффициенты пропускания

Транспортный индекс (ТИ)	Коэффициент пропускания (КПД)	Радиус упаковки r, м
0-1,0	1,0	0,05
1,1-2,0	0,8	0,1
2,1-50	0,7	0,4

ОМД определяется из уравнений (4.1) и (4.2). Предполагается, что КПРМ равен 1 из 10 [4.4].

Регулярно летающие пассажиры могут проводить 500 часов в полете в течение года, следовательно, значение МГВГ для критической группы предполагается равным 500 час/год. Тогда из уравнения (4.1) получаем:

$$\text{МГВО} = (500 \text{ час/год}) \cdot (0,1) = 50 \text{ час/год}.$$

Значение Д применительно к пассажиру согласно пункту 5.7.7 НП-053-16 равно 1,0 мЗв/год; и следовательно, соответствующее значение ОМД из уравнения (4.2) равно:

$$\text{ОМД} = (1 \text{ мЗв/год}) / (50 \text{ час/год}) = 0,02 \text{ мЗв/час}.$$

При размещении груза под основной палубой пассажирского воздушного судна облучение пилотов должно быть минимальным из-за расположения кабины относительно грузовых отсеков.

Разделяющие расстояния, посчитанные с использованием вышеуказанных предположений, приведены в таблице № 4.2. Для сравнения приведены также параметры разделения из Технических инструкций Международной организации гражданской авиации издания 1995 г. [4.5].

Таблица № 4.2. Изменение разделяющих расстояний в зависимости от транспортного индекса для отдельной группы упаковок, размещенных под основной палубой пассажирского воздушного судна

Сумма ТИ для упаковок в группе	Вертикальное разделяющее расстояние (от верха группы упаковок до пола основной палубы (τ))	
	По данным (4.6) ^а	ИКАО 1995 – 1996 гг. ^б
1,0	0,29	0,30
2,0	0,48	0,50
3,0	0,63	0,70
4,0	0,86	0,85
5,0	1,05	1,00
6,0	1,23	1,15
7,0	1,39	1,30
8,0	1,54	1,45
9,0	1,68	1,55
10,0	1,82	1,65

Примечания

- а. Рассчитано по уравнению (4.6) с допущениями, указанными в данном приложении.
- б. Данные технических инструкций ИКАО по безопасной перевозке опасных грузов по воздуху [4.5].

Размещение нескольких групп упаковок под основной (пассажирской) палубой пассажирского воздушного судна

Следует отметить, что для большинства самолетов можно обеспечить расчетное разделяющее расстояние по вертикали 1,05 м для отдельной упаковки или группы упаковок с ТИ, равным 5, но для многих самолетов получить вертикальное разделяющее расстояние более 1,6 м невозможно. Это ограничивает суммарный ТИ отдельной группы упаковок, которая может быть помещена в пассажирское воздушное судно. Для увеличения суммарного ТИ груза, который может быть размещен на пассажирском воздушном судне, необходимо распределить упаковки или группы упаковок в грузовых отсеках в нижней части фюзеляжа. Размещение пяти групп упаковок, каждая из которых имеет свое значение суммарного ТИ с постоянным пространственным шагом S между группами, изображено на рис. 4.2. Максимальный уровень излучения для пассажиров будет иметь место у кресла, находящегося непосредственно над центром группы упаковок.

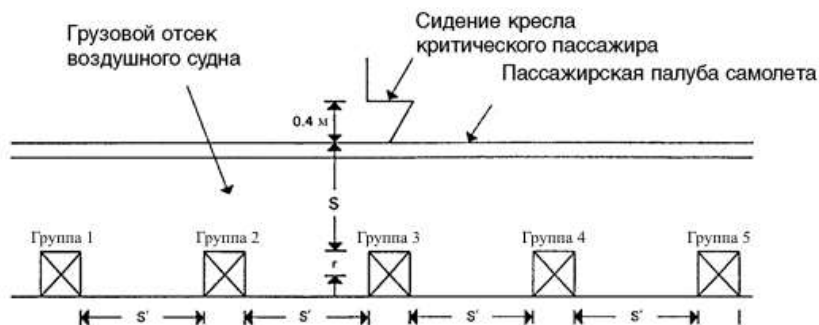


Рис. 4.2. Типичное размещение пассажира и специального груза в пассажирском воздушном судне, использованное для определения разделяющего расстояния S при шаге размещения S'

Для случаев размещения, подобных показанному на рис. 4.2, закон обратной пропорциональности квадрату расстояния дает:

$$OMД = КП_f \sum_{i=1}^5 \left(\frac{ТИ_i}{100}\right) (1,0 + r_i)^2 / (ФМР_i)^2 \quad (4.7)$$

Если предположить, что:

$$ТИ_i = 4, \quad i = 1 - 5,$$

$$r_i = 0,4 \text{ м}, \quad i = 1 - 5,$$

$$КП_f = 0,7,$$

то: $OMД = 0,02 \text{ мЗв/час}$.

Заметим, что:

$$OMД_1 = OMД_5 = \sqrt{(r + S + 0,4)^4 + (4r + 2S')^2}; \quad (4.8)$$

$$OMД_2 = OMД_4 = \sqrt{(r + S + 0,4)^4 + (4r + 2S')^2}; \quad (4.9)$$

$$OMД_3 = r + S + 0,4. \quad (4.10)$$

Уравнения (4.7) и (4.8) объединяются для получения одного уравнения с двумя неизвестными S и S' . Перевозка упаковок, имеющих суммарный ТИ, равный 20, возможна при различных сочетаниях S и S' и разделяющем расстоянии менее 2,9 м, например, при размещении пяти групп, каждая из которых имеет ТИ равный 4, как показано на рис. 4.2, разделяющее расстояние $S = 1,6 \text{ м}$ с шагом размещения $S' = 2,11 \text{ м}$ даст максимальный уровень излучения на высоте сиденья 0,02 мЗв/час. Таким образом, различные комбинации разделяющих расстояний и шага размещения могут обеспечить безопасный уровень радиоактивного облучения пассажиров при больших значениях ТИ груза.

Размещение на основной (пассажирской) палубе воздушного судна

Для этих условий используются все параметры, предполагавшиеся ранее, за исключением того, что $КП_f$ (коэффициент пропускания стены занятого людьми помещения) предполагается равным или большим 0,8.

Для экипажа сделаны следующие предположения:

$$МГВГ = 1\,000 \text{ час/год};$$

$$КПРМ = 1/4 ;$$

$$МГВО = (1\,000 \text{ час/год}) \cdot (1/4) = 250 \text{ час/год};$$

$D = 5,0$ мЗв/год (из пункта 5.7.5 а) НП-053-16);

$OMД = (5,0 \text{ мЗв/год}) / (250 \text{ час/год}) = 0,02 \text{ мЗв/год}$.

Минимальное горизонтальное расстояние между спинкой кресла пассажира и внутренней стенкой занятого людьми салона также принимается равным 0,4 м (рис. 4.3). Для этой ситуации применяется уравнение (4.3) и:

$$S = [((TI \cdot КП_f) / (100 \cdot OMД))^{1/2} (1 + r) - (r + 0,4)]. \quad (4.11)$$



Рис. 4.3. Типичное расположение груза на основной палубе на воздушном судне типа «комби» или на грузовом воздушном судне

Разделяющие расстояния, рассчитанные для основной палубы воздушного судна, представлены в таблице № 4.3.

Разделяющие расстояния для необработанных фотопленок

При определении требований к разделяющим расстояниям для упаковок, маркированных как упаковки, содержащие необработанную фотопленку, может быть использован подход, аналогичный описанному выше. Однако вместо моделирования времени облучения при повторяющихся рейсах учитывается единичный рейс. Для этого единичного рейса при расчете разделяющего расстояния S и заданных временах перевозки обычно используется максимально допустимая доза 0,1 мЗв.

Таблица № 4.3. Изменение разделяющих расстояний в зависимости от транспортного индекса при размещении на основной палубе воздушного судна

Сумма ТИ для упаковок в группе	Разделяющие расстояния (от переднего края группы упаковок до внутренней стены занятого помещения (м))
1,0	0,29
2,0	0,48
5,0	1,18
10,0	2,00
20,0	3,16

30,0	4,05
40,0	4,80
50,0	5,46
100,0	8,05
150,0	10,04
200,0	11,72

Список литературы, используемой в приложении № 4

- [4.1] Wilson C. K. The air transport of radioactive materials. Radiat. Prot. Dosim. 48 1 (1993).
- [4.2] Gibson R. The Safe Transport of Radioactive Materials. Pergamon Press, Oxford and New York (1966).
- [4.3] Recommendations for Revising Regulations Governing the Transportation of Radioactive Material in Passenger Aircraft (July 1994) (available at the Nuclear Regulatory Commission's Public Document Room, United states atomic energy commission, Washington, DC).
- [4.4] Gelder R. Radiological Impact of the Normal Transport of Radioactive Materials by Air, Rep. NRPB M219, National Radiological Protection Board, Chilton, UK (1990).
- [4.5] Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air, 2011 – 2012 Edition, ICAO, International civil aviation organization, Montreal (2011).

Приложение № 5. Характеристики основных радионуклидов

В таблице № 5.1 представлены период полураспада и удельная активность радионуклидов.

В таблице № 5.2 представлены дозовые коэффициенты и коэффициенты мощности для каждого радионуклида в зависимости от типа воздействия.

В таблице № 5.3 представлена удельная активность урана различной степени обогащения. Эти цифры включают активность ^{234}U , концентрируемого в процессе обогащения.

Таблица № 5.1. Период полураспада и удельная активность радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{225}Ac	10 сут	$8,640 \cdot 10^5$	$2,150 \cdot 10^{15}$
^{227}Ac	21,773 лет	$6,866 \cdot 10^8$	$2,682 \cdot 10^{12}$
^{228}Ac	6,13 ч	$2,207 \cdot 10^4$	$8,308 \cdot 10^{16}$
^{105}Ag	41 сут	$3,542 \cdot 10^6$	$1,124 \cdot 10^{15}$
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	127 лет	$4,05 \cdot 10^9$	$9,664 \cdot 10^{11}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249,9 сут	$2,159 \cdot 10^7$	$1,760 \cdot 10^{14}$
^{111}Ag	7,45 сут	$6,437 \cdot 10^5$	$5,850 \cdot 10^{15}$
^{26}Al	$7,16 \cdot 10^5$ лет	$2,258 \cdot 10^{13}$	$7,120 \cdot 10^8$
^{241}Am	432,2 лет	$1,363 \cdot 10^{10}$	$1,273 \cdot 10^{11}$
$^{242\text{m}}\text{Am}$	152 лет	$4,793 \cdot 10^9$	$3,603 \cdot 10^{11}$
^{243}Am	7380 лет	$2,327 \cdot 10^{11}$	$7,391 \cdot 10^9$
^{37}Ar	35,02 сут	$3,026 \cdot 10^6$	$3,734 \cdot 10^{15}$
^{39}Ar	269 лет	$8,483 \cdot 10^9$	$1,263 \cdot 10^{12}$
^{41}Ar	1,827 ч	$6,77 \cdot 10^3$	$1,550 \cdot 10^{18}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{72}As	26 ч	$9,360 \cdot 10^4$	$6,203 \cdot 10^{16}$
^{73}As	80,3 сут	$6,938 \cdot 10^6$	$8,253 \cdot 10^{14}$
^{74}As	17,76 сут	$1,534 \cdot 10^6$	$3,681 \cdot 10^{15}$
^{76}As	26,32 ч	$9,475 \cdot 10^4$	$5,805 \cdot 10^{16}$
^{77}As	38,8 ч	$1,397 \cdot 10^5$	$3,886 \cdot 10^{16}$
^{211}At	7,214 ч	$2,597 \cdot 10^4$	$7,628 \cdot 10^{16}$
^{193}Au	17,65 ч	$6,354 \cdot 10^4$	$3,409 \cdot 10^{16}$
^{194}Au	39,5 ч	$1,422 \cdot 10^5$	$1,515 \cdot 10^{16}$
^{195}Au	183 сут	$1,581 \cdot 10^7$	$1,356 \cdot 10^{14}$
^{198}Au	2,696 сут	$2,329 \cdot 10^5$	$9,063 \cdot 10^{15}$
^{199}Au	3,139 сут	$2,712 \cdot 10^5$	$7,745 \cdot 10^{15}$
^{131}Ba	11,8 сут	$1,020 \cdot 10^6$	$3,130 \cdot 10^{15}$
^{133}Ba	10,74 лет	$3,387 \cdot 10^8$	$9,279 \cdot 10^{12}$
$^{133\text{m}}\text{Ba}$	38,9 ч	$1,400 \cdot 10^5$	$2,244 \cdot 10^{16}$
^{140}Ba	12,74 сут	$1,101 \cdot 10^6$	$2,712 \cdot 10^{15}$
^7Be	53,3 сут	$4,605 \cdot 10^6$	$1,297 \cdot 10^{16}$
^{10}Be	$1,6 \cdot 10^6$ лет	$5,046 \cdot 10^{13}$	$8,284 \cdot 10^8$
^{205}Bi	15,31 сут	$1,323 \cdot 10^6$	$1,541 \cdot 10^{15}$
^{206}Bi	6,243 сут	$5,394 \cdot 10^5$	$3,762 \cdot 10^{15}$
^{207}Bi	38 лет	$1,198 \cdot 10^9$	$1,685 \cdot 10^{12}$
^{210}Bi	5,012 сут	$4,330 \cdot 10^5$	$4,597 \cdot 10^{15}$
$^{210\text{m}}\text{Bi}$	$3,0 \cdot 10^6$ лет	$9,461 \cdot 10^{13}$	$2,104 \cdot 10^7$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{212}Bi	60,55 мин	$3,633 \cdot 10^3$	$5,427 \cdot 10^{17}$
^{247}Bk	1 380 лет	$4,352 \cdot 10^{10}$	$3,889 \cdot 10^{10}$
^{249}Bk	320 сут	$2,765 \cdot 10^7$	$6,072 \cdot 10^{13}$
^{76}Br	16,2 ч	$5,832 \cdot 10^4$	$9,431 \cdot 10^{16}$
^{77}Br	56 ч	$2,016 \cdot 10^5$	$2,693 \cdot 10^{16}$
^{82}Br	35,3 ч	$1,271 \cdot 10^5$	$4,011 \cdot 10^{16}$
^{11}C	20,38 мин	$1,223 \cdot 10^3$	$3,108 \cdot 10^{19}$
^{14}C	5 730 лет	$1,807 \cdot 10^{11}$	$1,652 \cdot 10^{11}$
^{41}Ca	$1,4 \cdot 10^5$ лет	$4,415 \cdot 10^{12}$	$2,309 \cdot 10^9$
^{45}Ca	163 сут	$1,408 \cdot 10^7$	$6,596 \cdot 10^{14}$
^{47}Ca	4,53 сут	$3,914 \cdot 10^5$	$2,272 \cdot 10^{16}$
^{109}Cd	464 сут	$4,009 \cdot 10^7$	$9,566 \cdot 10^{13}$
$^{113\text{m}}\text{Cd}$	13,6 лет	$4,289 \cdot 10^8$	$8,625 \cdot 10^{12}$
^{115}Cd	53,46 ч	$1,925 \cdot 10^5$	$1,889 \cdot 10^{16}$
$^{115\text{m}}\text{Cd}$	44,6 сут	$3,853 \cdot 10^6$	$9,433 \cdot 10^{14}$
^{139}Ce	137,66 сут	$1,189 \cdot 10^7$	$2,528 \cdot 10^{14}$
^{141}Ce	32,501 сут	$2,808 \cdot 10^6$	$1,056 \cdot 10^{15}$
^{143}Ce	33 ч	$1,188 \cdot 10^5$	$2,461 \cdot 10^{16}$
^{144}Ce	284,3 сут	$2,456 \cdot 10^7$	$1,182 \cdot 10^{14}$
^{248}Cf	333,5 сут	$2,881 \cdot 10^7$	$5,849 \cdot 10^{13}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{249}Cf	350,6 лет	$1,106 \cdot 10^{10}$	$1,518 \cdot 10^{11}$
^{250}Cf	13,08 лет	$4,125 \cdot 10^8$	$4,053 \cdot 10^{12}$
^{251}Cf	898 лет	$2,832 \cdot 10^{10}$	$5,881 \cdot 10^{10}$
^{252}Cf	2,638 лет	$8,319 \cdot 10^7$	$1,994 \cdot 10^{13}$
^{253}Cf	17,81 сут	$1,539 \cdot 10^e$	$1,074 \cdot 10^{15}$
^{254}Cf	60,5 сут	$5,227 \cdot 10^6$	$3,148 \cdot 10^{14}$
^{36}Cl	$3,01 \cdot 10^5$ лет	$9,492 \cdot 10^{12}$	$1,223 \cdot 10^9$
^{38}Cl	37,21 мин	$2,233 \cdot 10^3$	$4,927 \cdot 10^{18}$
^{240}Cm	27 сут	$2,333 \cdot 10^6$	$7,466 \cdot 10^{14}$
^{241}Cm	32,8 сут	$2,834 \cdot 10^6$	$6,120 \cdot 10^{14}$
^{242}Cm	162,8 сут	$1,407 \cdot 10^7$	$1,228 \cdot 10^{14}$
^{243}Cm	28,5 лет	$8,988 \cdot 10^8$	$1,914 \cdot 10^{12}$
^{244}Cm	18,11 лет	$5,711 \cdot 10^8$	$3,000 \cdot 10^{12}$
^{245}Cm	8 500 лет	$2,681 \cdot 10^{11}$	$6,365 \cdot 10^9$
^{246}Cm	4 730 лет	$1,492 \cdot 10^{11}$	$1,139 \cdot 10^{10}$
^{247}Cm	$1,56 \cdot 10^7$ лет	$4,920 \cdot 10^{14}$	$3,440 \cdot 10^6$
^{248}Cm	$3,39 \cdot 10^5$ лет	$1,069 \cdot 10^{13}$	$1,577 \cdot 10^8$
^{55}Co	17,54 ч	$6,314 \cdot 10^4$	$1,204 \cdot 10^{17}$
^{56}Co	78,76 сут	$6,805 \cdot 10^6$	$1,097 \cdot 10^{15}$
^{57}Co	270,9 сут	$2,341 \cdot 10^7$	$3,133 \cdot 10^{14}$
^{58}Co	70,8 сут	$6,117 \cdot 10^6$	$1,178 \cdot 10^{15}$
^{58m}Co	9,15 ч	$3,294 \cdot 10^4$	$2,188 \cdot 10^{17}$
^{60}Co	5,271 лет	$1,662 \cdot 10^8$	$4,191 \cdot 10^{13}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{51}Cr	27,704 сут	$2,394 \cdot 10^6$	$3,424 \cdot 10^{15}$
^{129}Cs	32,06 ч	$1,154 \cdot 10^5$	$2,808 \cdot 10^{16}$
^{131}Cs	9,69 сут	$8,372 \cdot 10^5$	$3,811 \cdot 10^{15}$
^{132}Cs	6,475 сут	$5,594 \cdot 10^5$	$5,660 \cdot 10^{15}$
^{134}Cs	2,062 лет	$6,503 \cdot 10^7$	$4,797 \cdot 10^{13}$
$^{134\text{m}}\text{Cs}$	2,9 ч	$1,044 \cdot 10^4$	$2,988 \cdot 10^{17}$
^{135}Cs	$2,3 \cdot 10^6$ лет	$7,253 \cdot 10^{13}$	$4,269 \cdot 10^7$
^{136}Cs	13,1 сут	$1,132 \cdot 10^6$	$2,716 \cdot 10^{15}$
^{137}Cs	30 лет	$9,461 \cdot 10^8$	$3,225 \cdot 10^{12}$
^{64}Cu	12,701 ч	$4,572 \cdot 10^4$	$1,428 \cdot 10^{17}$
^{67}Cu	61,86 ч	$2,227 \cdot 10^5$	$2,801 \cdot 10^{16}$
^{159}Dy	144,4 сут	$1,248 \cdot 10^7$	$2,107 \cdot 10^{14}$
^{165}Dy	2,334 ч	$8,402 \cdot 10^3$	$3,015 \cdot 10^{17}$
^{166}Dy	81,6 ч	$2,938 \cdot 10^5$	$8,572 \cdot 10^{15}$
^{169}Er	9,3 сут	$8,035 \cdot 10^5$	$3,078 \cdot 10^{15}$
^{171}Er	7,52 ч	$2,707 \cdot 10^4$	$9,029 \cdot 10^{16}$
^{147}Eu	24 сут	$2,074 \cdot 10^6$	$1,371 \cdot 10^{15}$
^{148}Eu	54,5 сут	$4,709 \cdot 10^6$	$5,998 \cdot 10^{14}$
^{149}Eu	93,1 сут	$8,044 \cdot 10^6$	$3,488 \cdot 10^{14}$
^{150}Eu	12,62 ч	$4,543 \cdot 10^4$	$6,134 \cdot 10^{16}$
$^{150\text{m}}\text{Eu}$	34,2 лет	$1,079 \cdot 10^9$	$2,584 \cdot 10^{12}$
^{152}Eu	13,33 лет	$4,204 \cdot 10^8$	$6,542 \cdot 10^{12}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{152m}Eu	9,32 ч	$3,355 \cdot 10^4$	$8,196 \cdot 10^{16}$
^{154}Eu	8,8 лет	$2,775 \cdot 10^8$	$9,781 \cdot 10^{12}$
^{155}Eu	4,96 лет	$1,564 \cdot 10^8$	$1,724 \cdot 10^{13}$
^{156}Eu	15,19 сут	$1,312 \cdot 10^6$	$2,042 \cdot 10^{15}$
^{18}F	109,77 мин	$6,586 \cdot 10^3$	$3,526 \cdot 10^{18}$
^{52}Fe	8,275 ч	$2,979 \cdot 10^4$	$2,698 \cdot 10^{17}$
^{55}Fe	2,7 лет	$8,515 \cdot 10^7$	$8,926 \cdot 10^{13}$
^{59}Fe	44,529 сут	$3,847 \cdot 10^6$	$1,841 \cdot 10^{15}$
^{60}Fe	$1,0 \cdot 10^5$ лет	$3,154 \cdot 10^{12}$	$2,209 \cdot 10^9$
^{67}Ga	78,26 ч	$2,817 \cdot 10^5$	$2,214 \cdot 10^{16}$
^{68}Ga	68 мин	$4,080 \cdot 10^3$	$1,507 \cdot 10^{18}$
^{72}Ga	14,1 ч	$5,076 \cdot 10^4$	$1,144 \cdot 10^{17}$
^{146}Gd	48,3 сут	$4,173 \cdot 10^6$	$6,861 \cdot 10^{14}$
^{148}Gd	93 лет	$2,933 \cdot 10^9$	$9,630 \cdot 10^{11}$
^{153}Gd	242 сут	$2,091 \cdot 10^7$	$1,307 \cdot 10^{14}$
^{159}Gd	18,56 ч	$6,682 \cdot 10^4$	$3,935 \cdot 10^{16}$
^{68}Ge	288 сут	$2,488 \cdot 10^7$	$2,470 \cdot 10^{14}$
^{71}Ge	11,8 сут	$1,020 \cdot 10^6$	$5,775 \cdot 10^{15}$
^{77}Ge	11,3ч	$4,068 \cdot 10^4$	$1,334 \cdot 10^{17}$
^{172}Hf	1,87 лет	$5,897 \cdot 10^7$	$4,121 \cdot 10^{13}$
^{175}Hf	70 сут	$6,048 \cdot 10^6$	$3,949 \cdot 10^{14}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{181}Hf	42,4 сут	$3,663 \cdot 10^6$	$6,304 \cdot 10^{14}$
^{182}Hf	$9,0 \cdot 10^6$ лет	$2,838 \cdot 10^{14}$	$8,092 \cdot 10^6$
^{194}Hg	260 лет	$8,199 \cdot 10^9$	$2,628 \cdot 10^{11}$
$^{195\text{m}}\text{Hg}$	41,6 ч	$1,498 \cdot 10^5$	$1,431 \cdot 10^{16}$
^{197}Hg	64,1 ч	$2,308 \cdot 10^5$	$9,195 \cdot 10^{15}$
$^{197\text{m}}\text{Hg}$	23,8 ч	$8,568 \cdot 10^4$	$2,476 \cdot 10^{16}$
^{203}Hg	46,6 сут	$4,026 \cdot 10^6$	$5,114 \cdot 10^{14}$
^{166}Ho	26,8 ч	$9,648 \cdot 10^4$	$2,610 \cdot 10^{16}$
$^{166\text{m}}\text{Ho}$	1200 лет	$3,784 \cdot 10^{10}$	$6,654 \cdot 10^{10}$
^{123}I	13,2 ч	$4,752 \cdot 10^4$	$7,151 \cdot 10^{16}$
^{124}I	4,18 сут	$3,612 \cdot 10^5$	$9,334 \cdot 10^{15}$
^{125}I	60,14 сут	$5,196 \cdot 10^6$	$6,436 \cdot 10^{14}$
^{126}I	13,02 сут	$1,125 \cdot 10^6$	$2,949 \cdot 10^{15}$
^{129}I	$1,57 \cdot 10^7$ лет	$4,951 \cdot 10^{14}$	$6,545 \cdot 10^6$
^{131}I	8,04 сут	$6,947 \cdot 10^5$	$4,593 \cdot 10^{15}$
^{132}I	2,3 ч	$8,280 \cdot 10^3$	$3,824 \cdot 10^{17}$
^{133}I	20,8 ч	$7,488 \cdot 10^4$	$4,197 \cdot 10^{16}$
^{134}I	52,6 мин	$3,156 \cdot 10^3$	$9,884 \cdot 10^{17}$
^{135}I	6,61 ч	$2,380 \cdot 10^4$	$1,301 \cdot 10^{17}$
^{111}In	2,83 сут	$2,445 \cdot 10^5$	$1,540 \cdot 10^{16}$
$^{113\text{m}}\text{In}$	1,658 ч	$5,969 \cdot 10^3$	$6,197 \cdot 10^{17}$
$^{114\text{m}}\text{In}$	49,51 сут	$4,278 \cdot 10^6$	$8,572 \cdot 10^{14}$
$^{115\text{m}}\text{In}$	4,486 ч	$1,615 \cdot 10^4$	$2,251 \cdot 10^{17}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{189}Ir	13,3 сут	$1,149 \cdot 10^6$	$1,925 \cdot 10^{15}$
^{190}Ir	12,1 сут	$1,045 \cdot 10^6$	$2,104 \cdot 10^{15}$
^{192}Ir	74,02 сут	$6,395 \cdot 10^6$	$3,404 \cdot 10^{14}$
^{194}Ir	19,15ч	$6,894 \cdot 10^4$	$3,125 \cdot 10^{16}$
^{40}K	$1,28 \cdot 10^9$ лет	$4,037 \cdot 10^{16}$	$2,589 \cdot 10^5$
^{42}K	12,36 ч	$4,450 \cdot 10^4$	$2,237 \cdot 10^{17}$
^{43}K	22,6 ч	$8,136 \cdot 10^4$	$1,195 \cdot 10^{17}$
^{81}Kr	$2,1 \cdot 10^5$ лет	$6,623 \cdot 10^{12}$	$7,792 \cdot 10^8$
^{85}Kr	10,72 лет	$3,381 \cdot 10^8$	$1,455 \cdot 10^{13}$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,48 ч	$1,613 \cdot 10^4$	$3,049 \cdot 10^{17}$
^{87}Kr	76,3 мин	$4,578 \cdot 10^3$	$1,049 \cdot 10^{18}$
^{137}La	$6,0 \cdot 10^4$ лет	$1,892 \cdot 10^{12}$	$1,612 \cdot 10^9$
^{140}La	40,272 ч	$1,450 \cdot 10^5$	$2,059 \cdot 10^{16}$
^{172}Lu	6,7 сут	$5,789 \cdot 10^5$	$4,198 \cdot 10^{15}$
^{173}Lu	1,37 лет	$4,320 \cdot 10^7$	$5,592 \cdot 10^{13}$
^{174}Lu	3,31 лет	$1,044 \cdot 10^8$	$2,301 \cdot 10^{13}$
$^{174\text{m}}\text{Lu}$	142 сут	$1,227 \cdot 10^7$	$1,958 \cdot 10^{14}$
^{177}Lu	6,71 сут	$5,797 \cdot 10^5$	$4,073 \cdot 10^{15}$
^{28}Mg	20,91 ч	$7,528 \cdot 10^4$	$1,983 \cdot 10^{17}$
^{52}Mn	5,591 сут	$4,831 \cdot 10^5$	$1,664 \cdot 10^{16}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{53}Mn	$3,7 \cdot 10^6$ лет	$1,161 \cdot 10^{14}$	$6,759 \cdot 10^7$
^{54}Mn	312,5 сут	$2,700 \cdot 10^7$	$2,867 \cdot 10^{14}$
^{56}Mn	2,5785 ч	$9,283 \cdot 10^3$	$8,041 \cdot 10^{17}$
^{93}Mo	3 500 лет	$1,104 \cdot 10^{11}$	$4,072 \cdot 10^{10}$
^{99}Mo	66 ч	$2,376 \cdot 10^5$	$1,777 \cdot 10^{16}$
^{13}N	9,965 мин	$5,979 \cdot 10^2$	$5,378 \cdot 10^{19}$
^{22}Na	2,602 лет	$8,206 \cdot 10^7$	$2,315 \cdot 10^{14}$
^{24}Na	15 ч	$5,400 \cdot 10^4$	$3,225 \cdot 10^{17}$
$^{93\text{m}}\text{Nb}$	13,6 лет	$4,289 \cdot 10^8$	$1,048 \cdot 10^{13}$
^{94}Nb	$2,03 \cdot 10^4$ лет	$6,402 \cdot 10^{11}$	$6,946 \cdot 10^9$
^{95}Nb	35,15 сут	$3,037 \cdot 10^6$	$1,449 \cdot 10^{15}$
^{97}Nb	72,1 мин	$4,326 \cdot 10^3$	$9,961 \cdot 10^{17}$
^{147}Nd	10,98 сут	$9,487 \cdot 10^5$	$2,997 \cdot 10^{15}$
^{149}Nd	1,73 ч	$6,228 \cdot 10^3$	$4,504 \cdot 10^{17}$
^{59}Ni	$7,5 \cdot 10^4$ лет	$2,365 \cdot 10^{12}$	$2,995 \cdot 10^9$
^{63}Ni	96 лет	$3,027 \cdot 10^9$	$2,192 \cdot 10^{12}$
^{65}Ni	2,52 ч	$9,072 \cdot 10^3$	$7,089 \cdot 10^{17}$
^{235}Np	396,1 сут	$3,422 \cdot 10^7$	$5,197 \cdot 10^{13}$
^{236}Np	$1,15 \cdot 10^5$ лет	$3,627 \cdot 10^{12}$	$4,884 \cdot 10^8$
$^{236\text{m}}\text{Np}$	22,5 ч	$8,100 \cdot 10^4$	$2,187 \cdot 10^{16}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{237}Np	2,14·10 ⁶ лет	6,749·10 ¹³	2,613·10 ⁷
^{239}Np	2,355 сут	2,035·10 ⁵	8,596·10 ¹⁵
^{185}Os	94 сут	8,122·10 ⁶	2,782·10 ¹⁴
^{191}Os	15,4 сут	1,331·10 ⁶	1,645·10 ¹⁵
$^{191\text{m}}\text{Os}$	13,03 ч	4,691·10 ⁴	4,665·10 ¹⁶
^{193}Os	30 ч	1,080·10 ⁵	2,005·10 ¹⁶
^{194}Os	6 лет	1,892·10 ⁸	1,139·10 ¹³
^{32}P	14,29 сут	1,235·10 ⁶	1,058·10 ¹⁶
^{33}P	25,4 сут	2,195·10 ⁶	5,772·10 ¹⁵
^{230}Pa	17,4 сут	1,503·10 ⁶	1,209·10 ¹⁵
^{231}Pa	32 760 лет	1,033·10 ¹²	1,752·10 ⁹
^{233}Pa	27 сут	2,333·10 ⁶	7,690·10 ¹⁴
^{201}Pb	9,4 ч	3,384·10 ⁴	6,145·10 ¹⁶
^{202}Pb	3,0·10 ⁵ лет	9,461·10 ¹²	2,187·10 ⁸
^{203}Pb	52,05 ч	1,874·10 ⁵	1,099·10 ¹⁶
^{205}Pb	1,43·10 ⁷ лет	4,510·10 ¹⁴	4,521·10 ⁶
^{210}Pb	22,3 лет	7,033·10 ⁸	2,830·10 ¹²
^{212}Pb	10,64 ч	3,830·10 ⁴	5,147·10 ¹⁶
^{103}Pd	16,96 сут	1,465·10 ⁶	2,769·10 ¹⁵
^{107}Pd	6,5·10 ⁶ лет	2,050·10 ¹⁴	1,906·10 ⁷
^{109}Pd	13,427 ч	4,834·10 ⁴	7,934·10 ¹⁶

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{143}Pm	265 сут	$2,290 \cdot 10^7$	$1,277 \cdot 10^{14}$
^{144}Pm	363 сут	$3,136 \cdot 10^7$	$9,255 \cdot 10^{13}$
^{145}Pm	17,7 лет	$5,582 \cdot 10^8$	$5,165 \cdot 10^{12}$
^{147}Pm	2,6234 лет	$8,273 \cdot 10^7$	$3,437 \cdot 10^{13}$
$^{148\text{m}}\text{Pm}$	41,3 сут	$3,568 \cdot 10^6$	$7,915 \cdot 10^{14}$
^{149}Pm	53,08 ч	$1,911 \cdot 10^5$	$1,468 \cdot 10^{16}$
^{151}Pm	28,4 ч	$1,022 \cdot 10^5$	$2,708 \cdot 10^{16}$
^{210}Po	138,38 сут	$1,196 \cdot 10^7$	$1,665 \cdot 10^{14}$
^{142}Pr	19,13ч	$6,887 \cdot 10^4$	$4,274 \cdot 10^{16}$
^{143}Pr	13,56 сут	$1,172 \cdot 10^6$	$2,495 \cdot 10^{15}$
^{188}Pt	10,2 сут	$8,813 \cdot 10^5$	$2,523 \cdot 10^{15}$
^{191}Pt	2,8 сут	$2,419 \cdot 10^5$	$9,046 \cdot 10^{15}$
^{193}Pt	50 лет	$1,577 \cdot 10^9$	$1,374 \cdot 10^{12}$
$^{193\text{m}}\text{Pt}$	4,33 сут	$3,741 \cdot 10^5$	$5,789 \cdot 10^{15}$
$^{195\text{m}}\text{Pt}$	4,02 сут	$3,473 \cdot 10^5$	$6,172 \cdot 10^{15}$
^{197}Pt	18,3 ч	$6,588 \cdot 10^4$	$3,221 \cdot 10^{16}$
$^{197\text{m}}\text{Pt}$	94,4 мин	$5,664 \cdot 10^3$	$3,746 \cdot 10^{17}$
^{236}Pu	2,851 лет	$8,991 \cdot 10^7$	$1,970 \cdot 10^{13}$
^{237}Pu	45,3 сут	$3,914 \cdot 10^6$	$4,506 \cdot 10^{14}$
^{238}Pu	87,74 лет	$2,767 \cdot 10^9$	$6,347 \cdot 10^{11}$
^{239}Pu	24 065 лет	$7,589 \cdot 10^{11}$	$2,305 \cdot 10^9$
^{240}Pu	6537 лет	$2,062 \cdot 10^{11}$	$8,449 \cdot 10^9$
^{241}Pu	14,4 лет	$4,541 \cdot 10^8$	$3,819 \cdot 10^{12}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{242}Pu	$3,763 \cdot 10^5$ лет	$1,187 \cdot 10^{13}$	$1,456 \cdot 10^8$
^{244}Pu	$8,26 \cdot 10^7$ лет	$2,605 \cdot 10^{15}$	$6,577 \cdot 10^5$
^{223}Ra	11,434 сут	$9,879 \cdot 10^5$	$1,897 \cdot 10^{15}$
^{224}Ra	3,66 сут	$3,162 \cdot 10^5$	$5,901 \cdot 10^{15}$
^{225}Ra	14,8 сут	$1,279 \cdot 10^6$	$1,453 \cdot 10^{15}$
^{226}Ra	1 600 лет	$5,046 \cdot 10^{10}$	$3,666 \cdot 10^{10}$
^{228}Ra	5,75 лет	$1,813 \cdot 10^8$	$1,011 \cdot 10^{13}$
^{81}Rb	4,58 ч	$1,649 \cdot 10^4$	$3,130 \cdot 10^{17}$
^{83}Rb	86,2 сут	$7,448 \cdot 10^6$	$6,762 \cdot 10^{14}$
^{84}Rb	32,77 сут	$2,831 \cdot 10^6$	$1,758 \cdot 10^{15}$
^{86}Rb	18,66 сут	$1,612 \cdot 10^6$	$3,015 \cdot 10^{15}$
^{87}Rb	$4,7 \cdot 10^{10}$ лет	$1,482 \cdot 10^{18}$	$3,242 \cdot 10^3$
^{184}Re	38 сут	$3,283 \cdot 10^6$	$6,919 \cdot 10^{14}$
$^{184\text{m}}\text{Re}$	165 сут	$1,426 \cdot 10^7$	$1,594 \cdot 10^{14}$
^{186}Re	90,64 ч	$3,263 \cdot 10^5$	$6,887 \cdot 10^{15}$
^{187}Re	$5,0 \cdot 10^{10}$ лет	$1,577 \cdot 10^{18}$	$1,418 \cdot 10^3$
^{188}Re	16,98 ч	$6,113 \cdot 10^4$	$3,637 \cdot 10^{16}$
^{189}Re	24,3 ч	$8,748 \cdot 10^4$	$2,528 \cdot 10^{16}$
^{99}Rh	16 сут	$1,382 \cdot 10^6$	$3,054 \cdot 10^{15}$
^{101}Rh	3,2 лет	$1,009 \cdot 10^8$	$4,101 \cdot 10^{13}$
^{102}Rh	2,9 лет	$9,145 \cdot 10^7$	$4,481 \cdot 10^{13}$
$^{102\text{m}}\text{Rh}$	207 сут	$1,788 \cdot 10^7$	$2,291 \cdot 10^{14}$
$^{103\text{m}}\text{Rh}$	56,12 мин	$3,367 \cdot 10^3$	$1,205 \cdot 10^{18}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{105}Rh	35,36 ч	$1,273 \cdot 10^5$	$3,127 \cdot 10^{16}$
^{222}Rn	3,8235 сут	$3,304 \cdot 10^5$	$5,700 \cdot 10^{15}$
^{97}Ru	2,9 суток	$2,506 \cdot 10^5$	$1,720 \cdot 10^{16}$
^{103}Ru	39,28 сут	$3,394 \cdot 10^6$	$1,196 \cdot 10^{15}$
^{105}Ru	4,44 ч	$1,598 \cdot 10^4$	$2,491 \cdot 10^{17}$
^{106}Ru	368,2 сут	$3,181 \cdot 10^7$	$1,240 \cdot 10^{14}$
^{35}S	87,44 сут	$7,555 \cdot 10^6$	$1,581 \cdot 10^{15}$
^{122}Sb	2,7 сут	$2,333 \cdot 10^5$	$1,469 \cdot 10^{16}$
^{124}Sb	60,2 сут	$5,201 \cdot 10^6$	$6,481 \cdot 10^{14}$
^{125}Sb	2,77 лет	$8,735 \cdot 10^7$	$3,828 \cdot 10^{13}$
^{126}Sb	12,4 сут	$1,071 \cdot 10^6$	$3,096 \cdot 10^{15}$
^{44}Sc	3,927 ч	$1,414 \cdot 10^4$	$6,720 \cdot 10^{17}$
^{46}Sc	83,83 сут	$7,243 \cdot 10^6$	$1,255 \cdot 10^{15}$
^{47}Sc	3,351 сут	$2,895 \cdot 10^5$	$3,072 \cdot 10^{16}$
^{48}Sc	43,7 ч	$1,573 \cdot 10^5$	$5,535 \cdot 10^{16}$
^{75}Se	119,8 сут	$1,035 \cdot 10^7$	$5,384 \cdot 10^{14}$
^{79}Se	$6,5 \cdot 10^4$ лет	$2,050 \cdot 10^{12}$	$2,581 \cdot 10^9$
^{31}Si	157,3 мин	$9,438 \cdot 10^3$	$1,429 \cdot 10^{18}$
^{32}Si	450 лет	$1,419 \cdot 10^{10}$	$9,205 \cdot 10^{11}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{145}Sm	340 сут	$2,938 \cdot 10^7$	$9,813 \cdot 10^{13}$
^{147}Sm	$1,06 \cdot 10^{11}$ лет	$3,343 \cdot 10^{18}$	$8,506 \cdot 10^2$
^{151}Sm	90 лет	$2,838 \cdot 10^9$	$9,753 \cdot 10^{11}$
^{153}Sm	46,7 ч	$1,681 \cdot 10^5$	$1,625 \cdot 10^{16}$
^{113}Sn	115,1 сут	$9,945 \cdot 10^6$	$3,720 \cdot 10^{14}$
$^{117\text{m}}\text{Sn}$	13,61 сут	$1,176 \cdot 10^6$	$3,038 \cdot 10^{15}$
$^{119\text{m}}\text{Sn}$	293 сут	$2,532 \cdot 10^7$	$1,388 \cdot 10^{14}$
$^{121\text{m}}\text{Sn}$	55 лет	$1,734 \cdot 10^9$	$1,992 \cdot 10^{12}$
^{123}Sn	129,2 сут	$1,116 \cdot 10^7$	$3,044 \cdot 10^{14}$
^{125}Sn	9,64 сут	$8,329 \cdot 10^5$	$4,015 \cdot 10^{15}$
^{126}Sn	$1,010^5$ лет	$3,154 \cdot 10^{12}$	$1,052 \cdot 10^9$
^{82}Sr	25 сут	$2,160 \cdot 10^6$	$2,360 \cdot 10^{15}$
^{85}Sr	64,84 сут	$5,602 \cdot 10^6$	$8,778 \cdot 10^{14}$
$^{85\text{m}}\text{Sr}$	69,5 мин	$4,170 \cdot 10^3$	$1,119 \cdot 10^{18}$
$^{87\text{m}}\text{Sr}$	2,805 ч	$1,010 \cdot 10^4$	$4,758 \cdot 10^{17}$
^{89}Sr	50,5 сут	$4,363 \cdot 10^6$	$1,076 \cdot 10^{15}$
^{90}Sr	29,12 лет	$9,183 \cdot 10^8$	$5,057 \cdot 10^{12}$
^{91}Sr	9,5 ч	$3,420 \cdot 10^4$	$1,343 \cdot 10^{17}$
^{92}Sr	2,71 ч	$9,756 \cdot 10^3$	$4,657 \cdot 10^{17}$
T (^3H)	12,35 лет	$3,895 \cdot 10^8$	$3,578 \cdot 10^{14}$
^{178}Ta	2,2 ч	$7,920 \cdot 10^3$	$2,965 \cdot 10^{17}$
^{179}Ta	664,9 сут	$5,745 \cdot 10^7$	$4,065 \cdot 10^{13}$
^{182}Ta	115 сут	$9,936 \cdot 10^6$	$2,311 \cdot 10^{14}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{157}Tb	150 лет	$4,730 \cdot 10^9$	$5,628 \cdot 10^{11}$
^{158}Tb	150 лет	$4,730 \cdot 10^9$	$5,593 \cdot 10^{11}$
^{160}Tb	72,3 сут	$6,247 \cdot 10^6$	$4,182 \cdot 10^{14}$
$^{95\text{m}}\text{Tc}$	61 сут	$5,270 \cdot 10^6$	$8,349 \cdot 10^{14}$
^{96}Tc	4,28 сут	$3,698 \cdot 10^5$	$1,177 \cdot 10^{16}$
$^{96\text{m}}\text{Tc}$	51,5 мин	$3,090 \cdot 10^3$	$1,409 \cdot 10^{18}$
^{97}Tc	$2,6 \cdot 10^6$ лет	$8,199 \cdot 10^{13}$	$5,256 \cdot 10^7$
$^{97\text{m}}\text{Tc}$	87 суток	$7,517 \cdot 10^6$	$5,733 \cdot 10^{14}$
^{98}Tc	$4,2 \cdot 10^6$ лет	$1,325 \cdot 10^{14}$	$3,220 \cdot 10^7$
^{99}Tc	$2,13 \cdot 10^5$ лет	$6,717 \cdot 10^{12}$	$6,286 \cdot 10^8$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 ч	$2,167 \cdot 10^4$	$1,948 \cdot 10^{17}$
^{121}Te	17 сут	$1,469 \cdot 10^6$	$2,352 \cdot 10^{15}$
$^{121\text{m}}\text{Te}$	154 сут	$1,331 \cdot 10^7$	$2,596 \cdot 10^{14}$
$^{123\text{m}}\text{Te}$	119,7 сут	$1,034 \cdot 10^7$	$3,286 \cdot 10^{14}$
$^{125\text{m}}\text{Te}$	58 сут	$5,011 \cdot 10^6$	$6,673 \cdot 10^{14}$
^{127}Te	9,35 ч	$3,366 \cdot 10^4$	$9,778 \cdot 10^{16}$
$^{127\text{m}}\text{Te}$	109 сут	$9,418 \cdot 10^6$	$3,495 \cdot 10^{14}$
^{129}Te	69,6 мин	$4,176 \cdot 10^3$	$7,759 \cdot 10^{17}$
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33,6 сут	$2,903 \cdot 10^6$	$1,116 \cdot 10^{15}$
$^{131\text{m}}\text{Te}$	30 ч	$1,080 \cdot 10^5$	$2,954 \cdot 10^{16}$
^{132}Te	78,2 ч	$2,815 \cdot 10^5$	$1,125 \cdot 10^{16}$
^{227}Th	18,718 сут	$1,617 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{15}$
^{228}Th	1,9131 лет	$6,033 \cdot 10^7$	$3,039 \cdot 10^{13}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{229}Th	7 340 лет	$2,315 \cdot 10^{11}$	$7,886 \cdot 10^9$
^{230}Th	$7,7 \cdot 10^4$ лет	$2,428 \cdot 10^{12}$	$7,484 \cdot 10^8$
^{231}Th	25,52 ч	$9,187 \cdot 10^4$	$1,970 \cdot 10^{16}$
^{232}Th	$1,405 \cdot 10^{10}$ лет	$4,431 \cdot 10^{17}$	$4,066 \cdot 10^3$
^{234}Th	24,1 сут	$2,082 \cdot 10^6$	$8,579 \cdot 10^{14}$
^{44}Tl	47,3 лет	$1,492 \cdot 10^9$	$6,369 \cdot 10^{12}$
^{200}Tl	26,1 ч	$9,396 \cdot 10^4$	$2,224 \cdot 10^{16}$
^{201}Tl	3,044 сут	$2,630 \cdot 10^5$	$7,907 \cdot 10^{15}$
^{202}Tl	12,23 сут	$1,057 \cdot 10^6$	$1,958 \cdot 10^{15}$
^{204}Tl	3,779 лет	$1,192 \cdot 10^8$	$1,719 \cdot 10^{13}$
^{167}Tm	9,24 сут	$7,983 \cdot 10^5$	$3,135 \cdot 10^{15}$
^{170}Tm	128,6 сут	$1,111 \cdot 10^7$	$2,213 \cdot 10^{14}$
^{171}Tm	1,92 лет	$6,055 \cdot 10^7$	$4,037 \cdot 10^{13}$
^{230}U	20,8 сут	$1,797 \cdot 10^6$	$1,011 \cdot 10^{15}$
^{232}U	72 лет	$2,271 \cdot 10^9$	$7,935 \cdot 10^{11}$
^{233}U	$1,585 \cdot 10^5$ лет	$4,998 \cdot 10^{12}$	$3,589 \cdot 10^8$
^{234}U	$2,445 \cdot 10^5$ лет	$7,711 \cdot 10^{12}$	$2,317 \cdot 10^8$
^{235}U	$7,038 \cdot 10^8$ лет	$2,220 \cdot 10^{16}$	$8,014 \cdot 10^4$
^{236}U	$2,3415 \cdot 10^7$ лет	$7,384 \cdot 10^{14}$	$2,399 \cdot 10^6$
^{238}U	$4,468 \cdot 10^9$ лет	$1,409 \cdot 10^{17}$	$1,246 \cdot 10^4$
^{48}V	16,238 сут	$1,403 \cdot 10^6$	$6,207 \cdot 10^{15}$
^{49}V	330 сут	$2,851 \cdot 10^7$	$2,992 \cdot 10^{14}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{178}W	21,7 сут	$1,875 \cdot 10^6$	$1,253 \cdot 10^{15}$
^{181}W	121,2 сут	$1,047 \cdot 10^7$	$2,205 \cdot 10^{14}$
^{185}W	75,1 сут	$6,489 \cdot 10^6$	$3,482 \cdot 10^{14}$
^{187}W	23,9 ч	$8,604 \cdot 10^4$	$2,598 \cdot 10^{16}$
^{188}W	69,4 сут	$5,996 \cdot 10^6$	$3,708 \cdot 10^{14}$
^{122}Xe	20,1 ч	$7,236 \cdot 10^4$	$4,735 \cdot 10^{16}$
^{123}Xe	2,08 ч	$7,488 \cdot 10^3$	$4,538 \cdot 10^{17}$
^{127}Xe	36,41 сут	$3,146 \cdot 10^6$	$1,046 \cdot 10^{15}$
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	11,9 сут	$1,028 \cdot 10^6$	$3,103 \cdot 10^{15}$
^{133}Xe	5,245 сут	$4,532 \cdot 10^5$	$6,935 \cdot 10^{15}$
^{135}Xe	9,09 ч	$3,272 \cdot 10^4$	$9,462 \cdot 10^{16}$
^{87}Y	80,3 ч	$2,891 \cdot 10^5$	$1,662 \cdot 10^{16}$
^{88}Y	106,64 сут	$9,214 \cdot 10^6$	$5,155 \cdot 10^{14}$
^{90}Y	64 ч	$2,304 \cdot 10^5$	$2,016 \cdot 10^{16}$
^{91}Y	58,51 сут	$5,055 \cdot 10^6$	$9,086 \cdot 10^{14}$
$^{91\text{m}}\text{Y}$	49,71 мин	$2,983 \cdot 10^3$	$1,540 \cdot 10^{18}$
^{92}Y	3,54 ч	$1,274 \cdot 10^4$	$3,565 \cdot 10^{17}$
^{93}Y	10,1 ч	$3,636 \cdot 10^4$	$1,236 \cdot 10^{17}$
^{169}Yb	32,01 сут	$2,766 \cdot 10^6$	$8,943 \cdot 10^{14}$
^{175}Yb	4,19 сут	$3,620 \cdot 10^5$	$6,598 \cdot 10^{15}$
^{65}Zn	243,9 сут	$2,107 \cdot 10^7$	$3,052 \cdot 10^{14}$
^{69}Zn	57 мин	$3,420 \cdot 10^3$	$1,771 \cdot 10^{18}$

Радионуклид	Период полураспада		Удельная активность, Бк/г
	$T_{1/2}$ лет, сут, ч, мин	$T_{1/2}$, с	
^{69m}Zn	13,76 ч	$4,954 \cdot 10^4$	$1,223 \cdot 10^{17}$
^{88}Zr	83,4 сут	$7,206 \cdot 10^6$	$6,592 \cdot 10^{14}$
^{93}Zr	$1,53 \cdot 10^6$ лет	$4,825 \cdot 10^{13}$	$9,315 \cdot 10^7$
^{95}Zr	63,98 сут	$5,528 \cdot 10^6$	$7,960 \cdot 10^{14}$
^{97}Zr	16,9 ч	$6,084 \cdot 10^4$	$7,083 \cdot 10^{16}$

Таблица № 5.2. Дозовые коэффициенты и коэффициенты мощности дозы радионуклидов

Радионуклид	a	b	c	d
	e_{pt} , Зв·Бк ⁻¹ ·ч ⁻¹	e_{θ} , Зв·Бк ⁻¹ ·ч ⁻¹	e_{inh} , Зв·Бк ⁻¹	h_{skin} , Зв·м ² ·ТБк ⁻¹ ·с ⁻¹
^{225}Ac	$2,0 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{-12}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-2}$
^{227}Ac	$9,6 \cdot 10^{-17}$	$7,7 \cdot 10^{-15}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$
^{228}Ac	$8,3 \cdot 10^{-14}$	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
^{105}Ag	$5,0 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$7,8 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
^{108m}Ag	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$1,7 \cdot 10^{-13}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
^{110m}Ag	$2,4 \cdot 10^{-13}$	$5,3 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
^{111}Ag	$2,4 \cdot 10^{-15}$	$5,3 \cdot 10^{-13}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
^{26}Al	$2,3 \cdot 10^{-13}$	$7,1 \cdot 10^{-12}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$
^{241}Am	$3,3 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^5$
^{242m}Am	$2,5 \cdot 10^{-15}$	$2,0 \cdot 10^{-14}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
^{243}Am	$2,0 \cdot 10^{-14}$	$3,8 \cdot 10^{-15}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-2}$
^{37}Ar	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	-	$2,8 \cdot 10^{-5}$
$^{39}\text{Ar} (*)$	-	$1,4 \cdot 10^{-14}$	-	-
$^{41}\text{Ar} (*)$	$1,1 \cdot 10^{-13}$	$3,2 \cdot 10^{-12}$	-	-

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{72}As	$1,6\cdot 10^{-13}$	$3,6\cdot 10^{-12}$	$9,2\cdot 10^{-10}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{73}As	$1,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,3\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{74}As	$7,1\cdot 10^{-14}$	$5,9\cdot 10^{-13}$	$2,1\cdot 10^{-9}$	$2,9\cdot 10^{-2}$
^{76}As	$4,0\cdot 10^{-14}$	$4,0\cdot 10^{-12}$	$7,4\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{77}As	$7,7\cdot 10^{-16}$	$5,6\cdot 10^{-14}$	$3,8\cdot 10^{-10}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{211}At	$4,0\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,8\cdot 10^{-8}$	$6,3\cdot 10^{-5}$
^{193}Au	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-10}$	$1,5\cdot 10^{-2}$
^{194}Au	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,5\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-3}$
^{195}Au	$7,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,6\cdot 10^{-9}$	$5,0\cdot 10^{-3}$
^{198}Au	$3,8\cdot 10^{-14}$	$9,1\cdot 10^{-13}$	$8,4\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{199}Au	$7,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,5\cdot 10^{-10}$	$4,4\cdot 10^{-2}$
^{131}Ba	$6,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,6\cdot 10^{-10}$	$1,3\cdot 10^{-2}$
^{133}Ba	$3,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$2,7\cdot 10^{-3}$
^{133m}Ba	$6,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,9\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{140}Ba	$1,6\cdot 10^{-13}$	$2,2\cdot 10^{-12}$	$2,1\cdot 10^{-9}$	$9,0\cdot 10^{-2}$
^7Be	$4,8\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,2\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{10}Be	-	$1,7\cdot 10^{-14}$	$3,2\cdot 10^{-8}$	$14,8\cdot 10^{-2}$
^{205}Bi	$1,4\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,2\cdot 10^{-10}$	$2,5\cdot 10^{-3}$
^{206}Bi	$2,9\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,7\cdot 10^{-9}$	$2,4\cdot 10^{-2}$
^{207}Bi	$1,4\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,2\cdot 10^{-9}$	$5,5\cdot 10^{-3}$
^{210}Bi	-	$7,7\cdot 10^{-13}$	$8,4\cdot 10^{-8}$	$4,5\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{210m}Bi	$2,3\cdot 10^{-14}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$3,1\cdot 10^{-6}$	$5,7\cdot 10^{-2}$
^{212}Bi	$1,0\cdot 10^{-13}$	$1,5\cdot 10^{-12}$	$3,0\cdot 10^{-8}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{247}Bk	$9,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,5\cdot 10^{-5}$	$2,0\cdot 10^{-2}$
^{249}Bk	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-7}$	$2,3\cdot 10^{-3}$
^{76}Br	$2,3\cdot 10^{-13}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$4,2\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-2}$
^{77}Br	$2,9\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,7\cdot 10^{-11}$	$1,2\cdot 10^{-3}$
^{82}Br	$2,4\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,4\cdot 10^{-10}$	$3,6\cdot 10^{-2}$
^{11}C	$1,0\cdot 10^{-13}$	$5,0\cdot 10^{-13}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{14}C	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,8\cdot 10^{-10}$	$8,8\cdot 10^{-3}$
^{41}Ca	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{45}Ca	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,7\cdot 10^{-9}$	$2,3\cdot 10^{-2}$
^{47}Ca	$3,7\cdot 10^{-14}$	$2,7\cdot 10^{-14}$	$2,5\cdot 10^{-9}$	$8,4\cdot 10^{-2}$
^{109}Cd	$3,4\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,1\cdot 10^{-9}$	$1,4\cdot 10^{-2}$
^{113m}Cd	-	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-7}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{115}Cd	$2,6\cdot 10^{-14}$	$3,0\cdot 10^{-13}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$7,1\cdot 10^{-2}$
^{115m}Cd	$2,0\cdot 10^{-15}$	$1,9\cdot 10^{-12}$	$7,3\cdot 10^{-9}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{139}Ce	$1,5\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,8\cdot 10^{-9}$	$1,3\cdot 10^{-2}$
^{141}Ce	$6,3\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-15}$	$3,6\cdot 10^{-9}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{143}Ce	$2,7\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	$8,1\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{144}Ce	$4,5\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-12}$	$4,9\cdot 10^{-8}$	$7,3\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
²⁴⁸ Cf	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,2\cdot 10^{-6}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁴⁹ Cf	$3,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,6\cdot 10^{-5}$	$6,1\cdot 10^{-3}$
²⁵⁰ Cf	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,2\cdot 10^{-5}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁵¹ Cf	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,7\cdot 10^{-5}$	$5,4\cdot 10^{-2}$
²⁵² Cf	$2,1\cdot 10^{-12}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,8\cdot 10^{-5}$	$5,4\cdot 10^{-5}$
²⁵³ Cf	$8,1\cdot 10^{-18}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-6}$	$2,3\cdot 10^{-2}$
²⁵⁴ Cf	$7,1\cdot 10^{-11}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,7\cdot 10^{-5}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
³⁶ Cl	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-13}$	$6,9\cdot 10^{-9}$	$4,4\cdot 10^{-2}$
³⁸ Cl	$1,2\cdot 10^{-13}$	$4,5\cdot 10^{-12}$	$4,7\cdot 10^{-11}$	$5,0\cdot 10^{-2}$
²⁴⁰ Cm	$2,2\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-6}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁴¹ Cm	$4,5\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,8\cdot 10^{-8}$	$1,9\cdot 10^{-2}$
²⁴² Cm	$2,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,8\cdot 10^{-6}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁴³ Cm	$1,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,8\cdot 10^{-5}$	$3,4\cdot 10^{-2}$
²⁴⁴ Cm	$1,9\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-5}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁴⁵ Cm	$7,9\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,5\cdot 10^{-5}$	$1,0\cdot 10^{-2}$
²⁴⁶ Cm	$1,7\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,5\cdot 10^{-5}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
²⁴⁷ Cm	$3,1\cdot 10^{-14}$	$6,3\cdot 10^{-15}$	$5,1\cdot 10^{-5}$	-
²⁴⁸ Cm	$5,6\cdot 10^{-12}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,0\cdot 10^{-4}$	-
⁵⁵ Co	$1,9\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-12}$	$5,5\cdot 10^{-10}$	$3,6\cdot 10^2$
⁵⁶ Co	$3,0\cdot 10^{-13}$	$6,7\cdot 10^{-14}$	$6,3\cdot 10^{-9}$	$9,5\cdot 10^{-3}$
⁵⁷ Co	$1,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,4\cdot 10^{-10}$	$2,1\cdot 10^{-3}$
⁵⁸ Co	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,3\cdot 10^{-15}$	$2,0\cdot 10^{-9}$	$7,4\cdot 10^{-3}$
^{58m} Co	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
⁶⁰ Co	$2,2\cdot 10^{-13}$	$1,4\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-8}$	$2,9\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{51}Cr	$2,9\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{129}Cs	$2,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$7,4\cdot 10^{-4}$
^{131}Cs	$3,2\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{132}Cs	$6,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,4\cdot 10^{-10}$	$1,1\cdot 10^{-3}$
^{134}Cs	$1,4\cdot 10^{-13}$	$2,8\cdot 10^{-13}$	$6,8\cdot 10^{-9}$	$3,0\cdot 10^{-2}$
^{134m}Cs	$2,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$4,4\cdot 10^{-2}$
^{135}Cs	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	$1,9\cdot 10^{-2}$
^{136}Cs	$2,0\cdot 10^{-13}$	$1,2\cdot 10^{-15}$	$1,3\cdot 10^{-9}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{137}Cs	$5,6\cdot 10^{-14}$	$1,2\cdot 10^{-13}$	$4,8\cdot 10^{-9}$	$4,4\cdot 10^{-2}$
^{64}Cu	$1,8\cdot 10^{-14}$	$9,1\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-10}$	$2,4\cdot 10^{-2}$
^{67}Cu	$1,0\cdot 10^{-14}$	$2,4\cdot 10^{-15}$	$5,8\cdot 10^{-10}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{159}Dy	$5,0\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,5\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{165}Dy	$2,4\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	$6,1\cdot 10^{-11}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{166}Dy	$2,9\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-12}$	$2,5\cdot 10^{-9}$	$8,1\cdot 10^{-2}$
^{169}Er	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,8\cdot 10^{-10}$	$2,9\cdot 10^{-2}$
^{171}Er	$3,4\cdot 10^{-14}$	$1,2\cdot 10^{-12}$	$2,2\cdot 10^{-10}$	$5,5\cdot 10^{-2}$
^{147}Eu	$4,5\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-9}$	$7,4\cdot 10^{-3}$
^{148}Eu	$2,0\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,7\cdot 10^{-9}$	$1,4\cdot 10^{-3}$
^{149}Eu	$6,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,7\cdot 10^{-10}$	$3,8\cdot 10^{-4}$
^{150}Eu	$1,4\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-8}$	$3,9\cdot 10^{-3}$
^{150m}Eu	$4,3\cdot 10^{-15}$	$6,7\cdot 10^{-13}$	$1,9\cdot 10^{-10}$	$4,0\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{152}Eu	$1,0\cdot 10^{-13}$	$5,9\cdot 10^{-15}$	$3,9\cdot 10^{-8}$	$2,1\cdot 10^{-2}$
^{152m}Eu	$2,7\cdot 10^{-14}$	$1,2\cdot 10^{-12}$	$2,2\cdot 10^{-10}$	$3,6\cdot 10^{-2}$
^{154}Eu	$1,1\cdot 10^{-13}$	$6,3\cdot 10^{-13}$	$5,0\cdot 10^{-8}$	$5,0\cdot 10^{-2}$
^{155}Eu	$5,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,5\cdot 10^{-9}$	$8,7\cdot 10^{-3}$
^{156}Eu	$1,1\cdot 10^{-13}$	$1,4\cdot 10^{-12}$	$3,3\cdot 10^{-9}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{18}F	$1,0\cdot 10^{-13}$	$3,6\cdot 10^{-14}$	$6,0\cdot 10^{-11}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{52}Fe	$2,4\cdot 10^{-13}$	$3,1\cdot 10^{-12}$	$6,3\cdot 10^{-10}$	$7,4\cdot 10^{-2}$
^{55}Fe	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,7\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{59}Fe	$1,1\cdot 10^{-13}$	$2,3\cdot 10^{-14}$	$3,5\cdot 10^{-9}$	$3,1\cdot 10^{-2}$
^{60}Fe	$5,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,4\cdot 10^{-7}$	$7,6\cdot 10^{-3}$
^{67}Ga	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-10}$	$8,6\cdot 10^{-3}$
^{68}Ga	$9,1\cdot 10^{-14}$	$2,2\cdot 10^{-12}$	$5,1\cdot 10^{-11}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{72}Ga	$2,3\cdot 10^{-13}$	$2,7\cdot 10^{-12}$	$5,5\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{146}Gd	$1,9\cdot 10^{-13}$	$3,4\cdot 10^{-15}$	$6,8\cdot 10^{-9}$	$2,7\cdot 10^{-2}$
^{148}Gd	-	-	$2,5\cdot 10^{-5}$	-
^{153}Gd	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,1\cdot 10^{-9}$	$3,1\cdot 10^{-3}$
^{159}Gd	$4,8\cdot 10^{-15}$	$3,2\cdot 10^{-13}$	$2,7\cdot 10^{-10}$	$4,4\cdot 10^{-2}$
^{68}Ge	$9,1\cdot 10^{-14}$	$2,2\cdot 10^{-12}$	$1,3\cdot 10^{-8}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{71}Ge	$1,9\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{77}Ge	$9,1\cdot 10^{-14}$	$3,0\cdot 10^{-12}$	$3,6\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{172}Hf	$1,7\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,2\cdot 10^{-8}$	$1,6\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{175}Hf	$3,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$5,9\cdot 10^{-3}$
^{181}Hf	$5,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,7\cdot 10^{-9}$	$5,6\cdot 10^{-2}$
^{182}Hf	$2,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{194}Hg	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-8}$	$4,6\cdot 10^{-3}$
^{195m}Hg	$3,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,4\cdot 10^{-9}$	$3,8\cdot 10^{-2}$
^{197}Hg	$6,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,4\cdot 10^{-9}$	$1,8\cdot 10^{-3}$
^{197m}Hg	$7,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,2\cdot 10^{-9}$	$7,9\cdot 10^{-2}$
^{203}Hg	$2,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,5\cdot 10^{-9}$	$2,5\cdot 10^{-2}$
^{166}Ho	$2,6\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-12}$	$6,6\cdot 10^{-10}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{166m}Ho	$1,6\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-7}$	$2,2\cdot 10^{-2}$
^{123}I	$1,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,1\cdot 10^{-10}$	$9,5\cdot 10^{-3}$
^{124}I	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,7\cdot 10^{-13}$	$1,2\cdot 10^{-8}$	$1,1\cdot 10^{-2}$
^{125}I	$6,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^{-8}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{126}I	$4,3\cdot 10^{-14}$	$1,6\cdot 10^{-13}$	$2,9\cdot 10^{-8}$	$2,1\cdot 10^{-2}$
^{129}I	$3,4\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{131}I	$3,6\cdot 10^{-14}$	$5,0\cdot 10^{-14}$	$2,0\cdot 10^{-8}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{132}I	$2,1\cdot 10^{-13}$	$2,3\cdot 10^{-12}$	$2,8\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{133}I	$5,6\cdot 10^{-14}$	$1,4\cdot 10^{-12}$	$4,5\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{134}I	$2,4\cdot 10^{-13}$	$3,1\cdot 10^{-12}$	$7,2\cdot 10^{-11}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{135}I	$1,2\cdot 10^{-13}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$9,6\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{111}In	$3,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-10}$	$9,3\cdot 10^{-3}$
^{113m}In	$2,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$1,7\cdot 10^{-2}$
^{114m}In	$9,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,3\cdot 10^{-9}$	$5,8\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{115m}In	$1,5\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,0\cdot 10^{-11}$	$2,7\cdot 10^{-2}$
^{189}Ir	$7,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,5\cdot 10^{-10}$	$1,6\cdot 10^{-3}$
^{190}Ir	$1,3\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-9}$	$3,7\cdot 10^{-2}$
^{192}Ir	$7,7\cdot 10^{-14}$	$2,2\cdot 10^{-14}$	$6,2\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{194}Ir	$8,3\cdot 10^{-15}$	$3,0\cdot 10^{-12}$	$5,6\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{40}K	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	-	-
^{42}K	$2,4\cdot 10^{-14}$	$4,5\cdot 10^{-12}$	$1,3\cdot 10^{-10}$	$4,9\cdot 10^{-2}$
^{43}K	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,4\cdot 10^{-12}$	$1,5\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
$^{81}\text{Kr} (*)$	$9,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
$^{85}\text{Kr} (*)$	$2,1\cdot 10^{-16}$	$7,1\cdot 10^{-14}$	-	-
$^{85m}\text{Kr} (*)$	$1,3\cdot 10^{-14}$	$1,3\cdot 10^{-13}$	-	-
$^{87}\text{Kr} (*)$	$6,7\cdot 10^{-14}$	$4,8\cdot 10^{-12}$	-	-
^{137}La	$3,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,6\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{140}La	$2,0\cdot 10^{-13}$	$2,7\cdot 10^{-12}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{172}Lu	$1,7\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$1,3\cdot 10^{-2}$
^{173}Lu	$1,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-9}$	$1,6\cdot 10^{-3}$
^{174}Lu	$1,2\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-9}$	$9,6\cdot 10^{-4}$
^{174m}Lu	$6,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,8\cdot 10^{-9}$	$7,5\cdot 10^{-4}$
^{177}Lu	$3,0\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$3,8\cdot 10^{-2}$
^{28}Mg	$2,7\cdot 10^{-13}$	$4,0\cdot 10^{-12}$	$1,9\cdot 10^{-9}$	$8,7\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{52}Mn	$3,1\cdot 10^{-13}$	$1,4\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^{-9}$	$1,5\cdot 10^{-2}$
^{53}Mn	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{54}Mn	$7,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{56}Mn	$1,5\cdot 10^{-13}$	$3,3\cdot 10^{-12}$	$1,3\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{93}Mo	$1,2\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,2\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{99}Mo	$1,6\cdot 10^{-14}$	$8,0\cdot 10^{-13}$	$9,7\cdot 10^{-10}$	$5,1\cdot 10^{-2}$
^{13}N	$1,0\cdot 10^{-13}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	-	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{22}Na	$2,0\cdot 10^{-13}$	$2,6\cdot 10^{-13}$	$1,3\cdot 10^{-9}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{24}Na	$3,3\cdot 10^{-13}$	$5,0\cdot 10^{-12}$	$2,9\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{93m}Nb	$2,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,6\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{94}Nb	$1,5\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,5\cdot 10^{-8}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{95}Nb	$7,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,6\cdot 10^{-9}$	$7,0\cdot 10^{-3}$
^{97}Nb	$6,3\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	$4,7\cdot 10^{-11}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{147}Nd	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,8\cdot 10^{-13}$	$2,3\cdot 10^{-9}$	$4,3\cdot 10^{-2}$
^{149}Nd	$3,4\cdot 10^{-14}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$9,0\cdot 10^{-11}$	$5,4\cdot 10^{-2}$
^{59}Ni	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{63}Ni	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,7\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{65}Ni	$4,8\cdot 10^{-14}$	$2,3\cdot 10^{-12}$	$8,7\cdot 10^{-11}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{235}Np	$7,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{236}Np	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,0\cdot 10^{-6}$	$5,6\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{236m}Np	$4,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-9}$	$1,9\cdot 10^{-2}$
^{237}Np	$3,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,1\cdot 10^{-5}$	-
^{239}Np	$1,5\cdot 10^{-14}$	$3,8\cdot 10^{-15}$	$9,0\cdot 10^{-10}$	$6,7\cdot 10^{-2}$
^{185}Os	$6,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$1,2\cdot 10^{-3}$
^{191}Os	$6,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,8\cdot 10^{-9}$	$1,2\cdot 10^{-2}$
^{191m}Os	$7,7\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-10}$	$1,0\cdot 10^{-3}$
^{193}Os	$6,7\cdot 10^{-15}$	$6,3\cdot 10^{-13}$	$5,1\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{194}Os	$8,3\cdot 10^{-15}$	$3,2\cdot 10^{-12}$	$7,9\cdot 10^{-8}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{32}P	-	$2,2\cdot 10^{-12}$	$3,2\cdot 10^{-9}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{33}P	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^{-9}$	$2,3\cdot 10^{-2}$
^{230}Pa	$6,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,6\cdot 10^{-7}$	$1,3\cdot 10^{-2}$
^{231}Pa	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,3\cdot 10^{-4}$	$1,5\cdot 10^{-3}$
^{233}Pa	$1,9\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,7\cdot 10^{-9}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{201}Pb	$6,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,5\cdot 10^{-11}$	$8,4\cdot 10^{-3}$
^{202}Pb	$1,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	$1,7\cdot 10^{-3}$
^{203}Pb	$2,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,1\cdot 10^{-11}$	$1,1\cdot 10^{-2}$
^{205}Pb	$1,2\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{210}Pb	$4,2\cdot 10^{-16}$	$7,7\cdot 10^{-13}$	$9,8\cdot 10^{-7}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{212}Pb	$1,0\cdot 10^{-13}$	$1,4\cdot 10^{-12}$	$2,3\cdot 10^{-7}$	$1,0\cdot 10^{-1}$
^{103}Pd	$2,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{107}Pd	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{109}Pd	$1,4\cdot 10^{-15}$	$5,3\cdot 10^{-13}$	$3,6\cdot 10^{-10}$	$5,9\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, Зв \cdot Бк^{-1} \cdot ч^{-1}$	$e_{\beta}, Зв \cdot Бк^{-1} \cdot ч^{-1}$	$e_{inh}, Зв \cdot Бк^{-1}$	$h_{skin}, Зв \cdot м^2 \cdot ТБк^{-1} \cdot с^{-1}$
^{143}Pm	$3,0 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
^{144}Pm	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$7,8 \cdot 10^{-9}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$
^{145}Pm	$3,8 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
^{147}Pm	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
^{148m}Pm	$1,2 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$
^{149}Pm	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,9 \cdot 10^{-13}$	$7,210^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
^{151}Pm	$3,0 \cdot 10^{-14}$	$5,6 \cdot 10^{-13}$	$4,5 \cdot 10^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
^{210}Po	$7,9 \cdot 10^{-19}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,810^{-5}$
^{142}Pr	$5,0 \cdot 10^{-15}$	$2,8 \cdot 10^{-12}$	$5,6 \cdot 10^{-10}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$
^{143}Pr	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$3,3 \cdot 10^{-13}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
^{188}Pt	$1,0 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$8,8 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
^{191}Pt	$2,8 \cdot 10^{-14}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$
^{193}Pt	$1,1 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
^{193m}Pt	$1,1 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$
^{195m}Pt	$6,7 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$
^{197}Pt	$2,1 \cdot 10^{-15}$	$4,2 \cdot 10^{-14}$	$9,1 \cdot 10^{-11}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
^{197m}Pt	$7,7 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$
^{236}Pu	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$
^{237}Pu	$4,3 \cdot 10^{-15}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
^{238}Pu	$1,9 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
^{239}Pu	$7,5 \cdot 10^{-17}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	-
^{240}Pu	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{-15}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	-

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{241}Pu	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,5\cdot 10^{-7}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{242}Pu	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,4\cdot 10^{-5}$	-
^{244}Pu	$3,2\cdot 10^{-14}$	$2,6\cdot 10^{-12}$	$4,4\cdot 10^{-5}$	-
^{223}Ra	$2,6\cdot 10^{-14}$	$2,5\cdot 10^{-12}$	$6,9\cdot 10^{-6}$	$1,1\cdot 10^{-1}$
^{224}Ra	$9,1\cdot 10^{-14}$	$2,3\cdot 10^{-12}$	$3,1\cdot 10^{-6}$	$1,0\cdot 10^{-1}$
^{225}Ra	$8,3\cdot 10^{-15}$	$4,5\cdot 10^{-12}$	$1,4\cdot 10^{-5}$	$1,2\cdot 10^{-1}$
^{226}Ra	$1,5\cdot 10^{-13}$	$4,0\cdot 10^{-12}$	$1,9\cdot 10^{-5}$	$1,0\cdot 10^{-1}$
^{228}Ra	$8,3\cdot 10^{-14}$	$1,8\cdot 10^{-12}$	$2,6\cdot 10^{-6}$	$5,3\cdot 10^{-2}$
^{81}Rb	$5,9\cdot 10^{-14}$	$6,7\cdot 10^{-14}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$3,4\cdot 10^{-2}$
^{83}Rb	$4,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,1\cdot 10^{-10}$	$6,4\cdot 10^{-5}$
^{84}Rb	$8,3\cdot 10^{-14}$	$2,5\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$1,2\cdot 10^{-2}$
^{86}Rb	$8,3\cdot 10^{-15}$	$2,1\cdot 10^{-12}$	$9,6\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{87}Rb	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
Rb (природный)	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{184}Re	$8,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,8\cdot 10^{-9}$	$1,6\cdot 10^{-2}$
^{184m}Re	$3,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,1\cdot 10^{-9}$	$2,2\cdot 10^{-2}$
^{186}Re	$1,7\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-13}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{187}Re	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{188}Re	$5,0\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-12}$	$5,5\cdot 10^{-10}$	$5,2\cdot 10^{-2}$
^{189}Re	$3,1\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-13}$	$4,3\cdot 10^{-10}$	$4,9\cdot 10^{-2}$
Re (природный)	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{99}Rh	$5,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,3\cdot 10^{-10}$	$3,7\cdot 10^{-3}$
^{101}Rh	$2,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-9}$	$1,1\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{102}Rh	$2,0\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,6\cdot 10^{-8}$	$5,1\cdot 10^{-4}$
^{102m}Rh	$4,5\cdot 10^{-14}$	$1,1\cdot 10^{-13}$	$6,7\cdot 10^{-9}$	$1,5\cdot 10^{-2}$
^{103m}Rh	$2,2\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{105}Rh	$7,1\cdot 10^{-15}$	$5,6\cdot 10^{-15}$	$3,4\cdot 10^{-10}$	$3,5\cdot 10^{-2}$
^{222}Rn	$1,5\cdot 10^{-13}$	$3,8\cdot 10^{12}$	-	-
^{97}Ru	$2,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-10}$	$2,1\cdot 10^{-3}$
^{103}Ru	$4,5\cdot 10^{-14}$	$5,0\cdot 10^{-15}$	$2,8\cdot 10^{-9}$	$1,8\cdot 10^{-2}$
^{105}Ru	$7,1\cdot 10^{-14}$	$8,3\cdot 10^{-13}$	$1,8\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{106}Ru	$1,9\cdot 10^{-14}$	$4,5\cdot 10^{-12}$	$6,2\cdot 10^{-8}$	$4,9\cdot 10^{-2}$
^{35}S	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,3\cdot 10^{-9}$	$9,4\cdot 10^{-3}$
^{122}Sb	$4,2\cdot 10^{-14}$	$2,3\cdot 10^{-12}$	$1,0\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{124}Sb	$1,6\cdot 10^{-13}$	$1,4\cdot 10^{-12}$	$6,1\cdot 10^{-9}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{125}Sb	$4,2\cdot 10^{-14}$	$4,0\cdot 10^{-15}$	$4,5\cdot 10^{-9}$	$2,1\cdot 10^{-2}$
^{126}Sb	$2,6\cdot 10^{-13}$	$7,7\cdot 10^{-13}$	$2,7\cdot 10^{-9}$	$3,9\cdot 10^{-2}$
^{44}Sc	$2,0\cdot 10^{-13}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$1,9\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{46}Sc	$1,9\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,4\cdot 10^{-9}$	$3,3\cdot 10^{-2}$
^{47}Sc	$9,1\cdot 10^{-15}$	$5,9\cdot 10^{-15}$	$7,0\cdot 10^{-10}$	$3,9\cdot 10^{-2}$
^{48}Sc	$3,0\cdot 10^{-13}$	$1,1\cdot 10^{-12}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$4,3\cdot 10^{-2}$
^{75}Se	$3,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^9$	$2,8\cdot 10^{-3}$
^{79}Se	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-9}$	$1,2\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{31}Si	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,7\cdot 10^{-12}$	$8,0\cdot 10^{-11}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{32}Si	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-7}$	$1,7\cdot 10^{-2}$
^{145}Sm	$7,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{151}Sm	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,7\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{153}Sm	$5,9\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-13}$	$6,1\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{113}Sn	$2,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,5\cdot 10^{-9}$	$1,7\cdot 10^{-2}$
^{117m}Sn	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,3\cdot 10^{-9}$	$7,0\cdot 10^{-2}$
^{119m}Sn	$1,6\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,0\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{121m}Sn	$7,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,2\cdot 10^{-9}$	$3,3\cdot 10^{-2}$
^{123}Sn	$6,3\cdot 10^{-16}$	$1,3\cdot 10^{-12}$	$7,7\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{125}Sn	$2,8\cdot 10^{-14}$	$2,7\cdot 10^{-12}$	$3,0\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{126}Sn	$1,5\cdot 10^{-13}$	$1,7\cdot 10^{-12}$	$2,7\cdot 10^{-8}$	$7,7\cdot 10^{-2}$
^{82}Sr	$1,0\cdot 10^{-13}$	$4,2\cdot 10^{-12}$	$1,0\cdot 10^{-8}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{85}Sr	$4,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,7\cdot 10^{-10}$	$3,3\cdot 10^{-4}$
^{85m}Sr	$1,9\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$1,5\cdot 10^{-3}$
^{87m}Sr	$3,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$8,5\cdot 10^{-3}$
^{89}Sr	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$7,5\cdot 10^{-9}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{90}Sr	$1,0\cdot 10^{-16}$	$3,1\cdot 10^{-12}$	$1,5\cdot 10^{-7}$	$8,8\cdot 10^{-2}$
^{91}Sr	$6,6\cdot 10^{-14}$	$3,3\cdot 10^{-12}$	$4,1\cdot 10^{-10}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{92}Sr	$1,2\cdot 10^{-14}$	$9,1\cdot 10^{-13}$	$4,2\cdot 10^{-10}$	$8,9\cdot 10^{-2}$
T (^3H)	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	-
^{178}Ta (2,2 ч)	$9,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$6,9\cdot 10^{-11}$	$3,4\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{179}Ta	$3,2\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,2\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{182}Ta	$1,1\cdot 10^{-13}$	$7,7\cdot 10^{-14}$	$9,7\cdot 10^{-9}$	$5,2\cdot 10^{-2}$
^{157}Tb	$3,2\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{158}Tb	$7,1\cdot 10^{-14}$	$6,3\cdot 10^{-15}$	$4,3\cdot 10^{-8}$	$1,5\cdot 10^{-2}$
^{160}Tb	$1,0\cdot 10^{-13}$	$4,3\cdot 10^{-13}$	$6,6\cdot 10^{-9}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{95m}Tc	$6,7\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,7\cdot 10^{-10}$	$2,3\cdot 10^{-3}$
^{96}Tc	$2,3\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,1\cdot 10^{-10}$	$2,0\cdot 10^{-4}$
^{96m}Tc	$2,3\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,0\cdot 10^{-10}$	$2,0\cdot 10^{-4}$
^{97}Tc	$1,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{97m}Tc	$1,2\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-9}$	$1,9\cdot 10^{-2}$
^{98}Tc	$1,3\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	$4,1\cdot 10^{-2}$
^{99}Tc	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	$3,1\cdot 10^{-2}$
^{99m}Tc	$1,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$6,5\cdot 10^{-3}$
^{121}Te	$5,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,9\cdot 10^{-10}$	$2,8\cdot 10^{-4}$
^{121m}Te	$2,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,2\cdot 10^{-9}$	$1,1\cdot 10^{-2}$
^{123m}Te	$1,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,9\cdot 10^{-9}$	$2,4\cdot 10^{-2}$
^{125m}Te	$5,0\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,3\cdot 10^{-9}$	$3,1\cdot 10^{-2}$
^{127}Te	$4,5\cdot 10^{-16}$	$5,3\cdot 10^{-14}$	$1,2\cdot 10^{-10}$	$4,2\cdot 10^{-2}$
^{127m}Te	$2,0\cdot 10^{-15}$	$5,3\cdot 10^{-14}$	$7,2\cdot 10^{-9}$	$5,6\cdot 10^{-2}$
^{129}Te	$5,9\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-12}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{129m}Te	$7,7\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-12}$	$6,3\cdot 10^{-9}$	$6,3\cdot 10^{-2}$
^{131m}Te	$1,3\cdot 10^{-13}$	$8,3\cdot 10^{-13}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$5,7\cdot 10^{-2}$
^{132}Te	$2,0\cdot 10^{-13}$	$2,0\cdot 10^{-12}$	$2,2\cdot 10^{-9}$	$6,6\cdot 10^{-2}$

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{227}Th	$9,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,6\cdot 10^{-6}$	$5,9\cdot 10^{-3}$
^{228}Th	$1,3\cdot 10^{-13}$	$1,9\cdot 10^{-12}$	$3,9\cdot 10^{-5}$	$1,0\cdot 10^{-1}$
^{229}Th	$8,1\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$9,9\cdot 10^{-5}$	$1,6\cdot 10^{-2}$
^{230}Th	$1,4\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-5}$	-
^{231}Th	$2,6\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-6}$	$2,3\cdot 10^{-2}$
^{232}Th	$8,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{15}$	-	-
^{234}Th	$2,4\cdot 10^{-15}$	$3,3\cdot 10^{-12}$	$73\cdot 10^{-9}$	$5,6\cdot 10^{-2}$
Th (природный)	$2,2\cdot 10^{-13}$	$3,7\cdot 10^{-12}$	-	-
^{44}Ti	$2,1\cdot 10^{-13}$	$1,6\cdot 10^{-12}$	$1,2\cdot 10^{-7}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{200}Tl	$1,2\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^{-10}$	$3,9\cdot 10^{-3}$
^{201}Tl	$8,3\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,7\cdot 10^{-11}$	$7,0\cdot 10^{-3}$
^{202}Tl	$4,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,0\cdot 10^{-10}$	$1,7\cdot 10^{-3}$
^{204}Tl	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-13}$	$4,4\cdot 10^{-10}$	$4,0\cdot 10^{-2}$
^{167}Tm	$1,4\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{15}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$3,4\cdot 10^{-2}$
^{170}Tm	$5,0\cdot 10^{-16}$	$3,8\cdot 10^{13}$	$6,6\cdot 10^{-9}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{171}Tm	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,3\cdot 10^{-9}$	$2,7\cdot 10^{-4}$
$^{230}\text{U (F)}$	$1,9\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{15}$	$3,6\cdot 10^{-7}$	$9,0\cdot 10^{-3}$
$^{230}\text{U (M)}$	$1,9\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,2\cdot 10^{-5}$	$9,0\cdot 10^{-3}$
$^{230}\text{U (S)}$	$1,9\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,5\cdot 10^{-5}$	$9,0\cdot 10^{-3}$
$^{232}\text{U (F)}$	$2,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-6}$	$1,5\cdot 10^{-4}$
$^{232}\text{U (M)}$	$2,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,2\cdot 10^{-6}$	$1,5\cdot 10^{-4}$
$^{232}\text{U (S)}$	$2,1\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,5\cdot 10^{-5}$	$1,5\cdot 10^{-4}$
$^{233}\text{U (F)}$	$1,3\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,7\cdot 10^{-7}$	-

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\beta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
^{233}U (M)	$1,3\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,2\cdot 10^{-6}$	-
^{233}U (S)	$1,3\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,7\cdot 10^{-6}$	-
^{234}U (F)	$1,7\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,5\cdot 10^{-7}$	-
^{234}U (M)	$1,7\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-6}$	-
^{234}U (S)	$1,7\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$8,5\cdot 10^{-6}$	-
^{235}U (F)	$1,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{235}U (M)	$1,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{235}U (S)	$1,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{236}U (F)	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{236}U (M)	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-6}$	-
^{236}U (S)	$1,5\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,9\cdot 10^{-6}$	-
^{238}U (F)	$1,3\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{238}U (M)	$1,3\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{238}U (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)	$2,2\cdot 10^{-15}$	$3,1\cdot 10^{-12}$	-	-
^{48}V	$2,6\cdot 10^{-13}$	$3,3\cdot 10^{-13}$	$2,3\cdot 10^{-9}$	$2,5\cdot 10^{-2}$
^{49}V	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,8\cdot 10^{-5}$
^{178}W	$1,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,6\cdot 10^{-11}$	$6,1\cdot 10^{-3}$
^{181}W	$3,8\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$5,2\cdot 10^{-5}$
^{185}W	$1,0\cdot 10^{-16}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$1,4\cdot 10^{-10}$	$3,4\cdot 10^{-2}$
^{187}W	$4,5\cdot 10^{-14}$	$4,8\cdot 10^{-13}$	$2,0\cdot 10^{-10}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{188}W	$5,0\cdot 10^{-15}$	$2,7\cdot 10^{-12}$	$1,1\cdot 10^{-9}$	$7,9\cdot 10^{-2}$
^{122}Xe (*)	$9,1\cdot 10^{-14}$	$2,5\cdot 10^{-12}$	-	-

Радионуклид	a	b	c	d
	$e_{pt}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{\theta}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$	$e_{inh}, \text{Зв}\cdot\text{Бк}^{-1}$	$h_{skin}, \text{Зв}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ТБк}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$
$^{123}\text{Xe} (*)$	$5,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-13}$	-	-
$^{127}\text{Xe} (*)$	$2,6\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
$^{131m}\text{Xe} (*)$	$2,6\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
$^{133}\text{Xe} (*)$	$4,8\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
$^{135}\text{Xe} (*)$	$2,2\cdot 10^{-14}$	$2,9\cdot 10^{-13}$	-	-
^{87}Y	$7,1\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,0\cdot 10^{-10}$	$8,7\cdot 10^{-3}$
^{88}Y	$2,3\cdot 10^{-13}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$4,1\cdot 10^{-9}$	$1,3\cdot 10^{-4}$
^{90}Y	$1,0\cdot 10^{-16}$	$3,1\cdot 10^{-12}$	$1,5\cdot 10^{-9}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{91}Y	$3,2\cdot 10^{-16}$	$1,7\cdot 10^{-12}$	$8,4\cdot 10^{-9}$	$4,6\cdot 10^{-2}$
^{91m}Y	$5,0\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$2,3\cdot 10^{-3}$
^{92}Y	$2,3\cdot 10^{-14}$	$4,5\cdot 10^{-12}$	$2,0\cdot 10^{-10}$	$4,9\cdot 10^{-2}$
^{93}Y	$7,7\cdot 10^{-15}$	$3,8\cdot 10^{-12}$	$4,3\cdot 10^{-10}$	$4,8\cdot 10^{-2}$
^{169}Yb	$2,9\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,8\cdot 10^{-9}$	$2,7\cdot 10^{-2}$
^{175}Yb	$3,7\cdot 10^{-15}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$7,0\cdot 10^{-10}$	$3,2\cdot 10^{-2}$
^{65}Zn	$5,3\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$2,9\cdot 10^{-9}$	$6,7\cdot 10^{-4}$
^{69}Zn	$1,0\cdot 10^{-16}$	$3,1\cdot 10^{-13}$	$5,0\cdot 10^{-11}$	$4,5\cdot 10^{-2}$
^{69m}Zn	$2,9\cdot 10^{-14}$	$2,5\cdot 10^{-13}$	$2,9\cdot 10^{-10}$	$4,7\cdot 10^{-2}$
^{88}Zr	$3,8\cdot 10^{-14}$	$1,0\cdot 10^{-15}$	$3,5\cdot 10^{-9}$	$1,3\cdot 10^{-3}$
^{93}Zr	-	$1,0\cdot 10^{-15}$	-	-
^{95}Zr	$5,6\cdot 10^{-14}$	$2,2\cdot 10^{-15}$	$5,5\cdot 10^{-9}$	$3,3\cdot 10^{-2}$
^{97}Zr	$1,1\cdot 10^{-13}$	$2,7\cdot 10^{-12}$	$1,0\cdot 10^{-9}$	$4,9\cdot 10^{-2}$

Примечания

(*) Коэффициент эффективной дозы от облака газообразных изотопов см. в таблице № 2.1 приложения № 2 к настоящим Справочным материалам.

(а) Дозовый коэффициент от внешнего облучения гамма-излучающими радионуклидами (рассчитан на расстоянии 1 м).

(b) Дозовый коэффициент от внешнего облучения бета-излучающими радионуклидами (рассчитан на расстоянии 1 м).

(с) Дозовый коэффициент от внутреннего облучения за счет поступления радионуклидов ингаляционным путем.

(d) Дозовый коэффициент от загрязнения кожи и поступления радионуклидов пероральным путем.

Таблица № 5.3. Удельная активность урана при различном обогащении

Массовая процентная доля ^{235}U в урановой смеси	Удельная активность ^{a, b}
	Бк/г
0,45	$1,8 \cdot 10^4$
0,72 (природный)	$2,6 \cdot 10^4$
1,0	$2,8 \cdot 10^4$
1,5	$3,7 \cdot 10^4$
5,0	$1,0 \cdot 10^5$
10,0	$1,8 \cdot 10^5$
20,0	$3,7 \cdot 10^5$
35,0	$7,4 \cdot 10^5$
50,0	$9,3 \cdot 10^5$
90,0	$2,2 \cdot 10^6$
93,0	$2,6 \cdot 10^6$
95,0	$3,4 \cdot 10^6$

Примечания

^a Значения удельной активности включают активность ^{234}U , 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.

Приложение № 6. Рекомендации по условиям перевозки крупногабаритных грузов

Общие сведения о крупногабаритных грузах радиоактивных материалов

В данном приложении к настоящим Справочным материалам представлены рекомендации по транспортированию крупногабаритных грузов, под которыми понимаются элементы, образующиеся при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии, например, АЭС. Данные рекомендации не распространяются на транспортирование крупногабаритных объектов, характеризующихся высоким уровнем наведенной активности (например, корпусов ядерных реакторов).

Трудности транспортирования данных объектов обусловлены прежде всего их массой, которая может достигать нескольких сотен тонн, а также геометрическими размерами, которые могут достигать десяти и более метров. В связи с вышеизложенным конструирование упаковок для транспортирования крупногабаритных грузов РМ, которые удовлетворяют требованиям НП-053-16, может быть затруднительным. Тем не менее к настоящему времени накоплен существенный опыт транспортирования таких грузов, который описан в документах [6.1 – 6.12].

Каждое транспортирование крупногабаритного груза РМ уникально, в связи с чем такие перевозки требуют нестандартного подхода и отдельного согласования с ГКО и регулирующим органом. Также эти перевозки рекомендуется осуществлять на условиях исключительного использования.

Ионизирующее излучение большинства крупногабаритных грузов РМ, образующихся при выводе АЭС из эксплуатации, обуславливается только поверхностным загрязнением при отсутствии собственного излучения. При транспортировании таких объектов следует максимально очистить от радиоактивного загрязнения внешние поверхности груза. При условии выполнения требований по уровням излучения за внешней поверхностью груза после ее очистки, данная поверхность может считаться промышленной упаковкой для внутренних элементов крупногабаритного груза. При невозможности достижения требуемых уровней излучения перевозку следует осуществлять на условиях исключительного использования с организацией соответствующих компенсирующих мер.

Крупногабаритный груз, в случае его транспортирования открытым способом, должен удовлетворять требованиям к промышленным упаковкам соответствующего типа в зависимости от активности внутренней части груза.

Следует принять меры по минимизации дозовых нагрузок на персонал, обусловленных ингаляционным поступлением радионуклидов, уносимых с загрязненных поверхностей крупногабаритного груза. Данный вид радиационного воздействия будет являться основным в большинстве случаев транспортирования таких РМ. Следует также установить обоснованное ограничение для данного воздействия в случае аварий. Это значение целесообразно выбирать на основании пределов и ограничений активности для различных радионуклидов, установленных в НП-053-16.

Активность радионуклидов, попавших внутрь тела человека при аварии, может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{\text{ПВТ}} = Q_{\text{ПВТ,НЕС}} + Q_{\text{ПВТ,СН}}, \quad (6.1)$$

где:

$Q_{\text{ПВТ,НЕС}}$ — активность, обусловленная неснимаемым поверхностным загрязнением;

$Q_{\text{ПВТ,СН}}$ — активность, обусловленная снимаемым поверхностным загрязнением;

Значение $Q_{\text{ПВТ,НЕС}}$ определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{ПВТ,НЕС}} = Q_{\text{СУМ,НЕС}} \cdot F_{\text{ПОВ}} \cdot F_{\text{ВА,НЕС}} \cdot F_{\text{ФА}} \cdot F_{\text{ПВТ}}, \quad (6.2)$$

где:

$Q_{\text{СУМ,НЕС}}$ — суммарная активность, обусловленная неснимаемым поверхностным загрязнением упаковки, Бк;

$F_{\text{ПОВ}}$ — доля поверхности упаковки, поврежденная при аварии;

$F_{\text{ВА,НЕС}}$ — доля активности неснимаемого поверхностного загрязнения упаковки, высвобождаемая в атмосферу;

$F_{\text{ФА}}$ — доля высвободившейся активности соответствующего РМ, находящегося в форме аэрозолей;

$F_{\text{ПВТ}}$ — доля РМ, находящихся в форме аэрозолей и поглощенных человеком, находящихся в непосредственной близости от места аварии.

В случае равномерного распределения неснимаемого поверхностного загрязнения величина $Q_{\text{СУМ,НЕС}}$ может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{СУМ,НЕС}} = C_{\text{НЕС}} \cdot A \cdot 10^4, \quad (6.3)$$

где:

$C_{\text{НЕС}}$ — удельное неснимаемое поверхностное загрязнение, Бк/см²;

A — площадь поверхности упаковки, м².

При расчетах необходимо полагать, что 100 % неснимаемого поверхностного загрязнения может высвободиться при аварии. Таким образом, $Q_{\text{ПВТ,НЕС}}$ может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{\text{ПВТ,НЕС}} = Q_{\text{ПОВ,СН}} \cdot F_{\text{ВА,НС}} \cdot F_{\text{ФА}} \cdot F_{\text{ПВТ}}, \quad (6.4)$$

где:

$Q_{\text{ПОВ,СН}}$ — суммарная активность, обусловленная снимаемым поверхностным загрязнением упаковки, Бк;

$F_{\text{ВА,НС}}$ — доля активности снимаемого поверхностного загрязнения упаковки, высвобождаемая в атмосферу;

$F_{\text{ФА}}$ — доля высвободившейся активности соответствующего РМ, находящегося в форме аэрозолей;

$F_{\text{ПВТ}}$ — доля РМ, находящихся в форме аэрозолей и поступивших в организм человека, находящегося в непосредственной близости от места аварии.

В случае равномерного распределения снимаемого поверхностного загрязнения величина $Q_{\text{пов}}$ может быть определена по формуле:

$$Q_{\text{пов}} = C_{\text{сн}} \cdot A \cdot 10^4, \quad (6.5)$$

где:

$C_{\text{сн}}$ — удельное снимаемое поверхностное загрязнение, Бк/см²;

A — площадь поверхности упаковки, м².

На рис. 6.1 показан выход радиоактивного загрязнения с поверхности крупногабаритного груза.



Рис. 6.1. Иллюстрация выхода радиоактивного загрязнения с поверхности крупногабаритного груза

Суммарная активность, обусловленная неснимаемым поверхностным загрязнением упаковки:

$$Q_{\text{сум,нес}} = C_{\text{нес}} \cdot A = 8 \cdot 10^5 \text{ Бк/см}^2 \cdot 10 \text{ м}^2 = 8 \cdot 10^{10} \text{ Бк} = 80 \text{ ГБк}. \quad (6.6)$$

Суммарная активность, обусловленная неснимаемым поверхностным загрязнением упаковки с поверхности упаковки:

$$Q_{\text{пов,нес}} = C_{\text{сум,нес}} \cdot F_{\text{пов,нес}} = 80 \text{ ГБк} \cdot 20 \% = 16 \text{ ГБк}. \quad (6.7)$$

Суммарная активность, высвобождаемая в атмосферу:

$$Q_{\text{ва,нес}} = Q_{\text{пов,нес}} \cdot F_{\text{ва,нес}} = 16 \text{ ГБк} \cdot 0,01 = 160 \text{ МБк}. \quad (6.8)$$

Суммарная активность соответствующего РМ, находящегося в форме аэрозолей, высвобождаемая в атмосферу:

$$Q_{\text{фа,нес}} = Q_{\text{ва,нес}} \cdot F_{\text{фа}} = 160 \text{ МБк} \cdot 100 \% = 160 \text{ МБк}. \quad (6.9)$$

Активность, обусловленная неснимаемым поверхностным загрязнением:

$$Q_{\text{пвт,нес}} = Q_{\text{фа,нес}} \cdot F_{\text{пвт}} = 160 \text{ МБк} \cdot 10^{-4} = 16 \text{ кБк}. \quad (6.10)$$

Суммарная активность, обусловленная снимаемым поверхностным загрязнением упаковки:

$$Q_{\text{сум,сн}} = C_{\text{сн}} \cdot A = 400 \text{ Бк/см}^2 \cdot 10 \text{ м}^2 = 40 \text{ МБк}. \quad (6.11)$$

Суммарная активность, обусловленная снимаемым поверхностным загрязнением упаковки с поверхности упаковки, поврежденной при аварии:

$$Q_{\text{пов,сн}} = Q_{\text{сум,сн}} \cdot F_{\text{пов,сн}} = 40 \text{ МБк} \cdot 100 \% = 40 \text{ МБк}. \quad (6.12)$$

Суммарная активность соответствующего РМ, находящегося в форме аэрозолей, высвобождаемая в атмосферу:

$$Q_{\text{ФА,СН}} = Q_{\text{ВА,СН}} \cdot F_{\text{ФА}} = 40 \text{ МБк} \cdot 1 = 40 \text{ МБк}. \quad (6.13)$$

Активность, обусловленная снимаемым поверхностным загрязнением:

$$Q_{\text{ПВТ,СН}} = Q_{\text{ФА,СН}} \cdot F_{\text{ПВТ}} = 40 \text{ МБк} \cdot 10^{-4} = 4 \text{ кБк}. \quad (6.14)$$

Активность радионуклидов может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{\text{ПВТ}} = Q_{\text{ПВТ,НЕС}} + Q_{\text{ПВТ,СН}} = 16 \text{ кБк} + 4 \text{ кБк} = 20 \text{ кБк}. \quad (6.15)$$

Принимая $A_2 = 0,02 \text{ ТБк}$ ($2 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$), активность радионуклидов, попавших внутрь человека, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ПВТ}} = 20 \text{ кВк} \cdot \frac{A_2}{0,02 \text{ ТБк}} = 1 \cdot 10^{-6} A_2. \quad (6.16)$$

Каждый параметр, используемый в вышеуказанных формулах, должен быть обоснован. Следует учитывать условия эксплуатации данного груза на АЭС, а также условия процедур его очистки от поверхностного загрязнения. При необходимости следует проводить расчетное обоснование вышеупомянутых параметров.

Следует четко определить радионуклиды, вносящие основной вклад в поверхностное загрязнение крупногабаритного груза РМ, так как для каждого из них установлены разные значения допустимого предела активности.

Критерии приемлемости транспортирования крупногабаритных грузов радиоактивных материалов

Транспортирование крупногабаритных грузов РМ следует осуществлять в специальных условиях с соответствующим многосторонним согласованием транспортирования и организацией мер защиты персонала и населения. Данному грузу РМ следует присваивать номер 2919, в соответствии с классификацией ООН, «РАДИОАКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ, ПЕРЕВОЗИМЫЙ НА СПЕЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ, неделящийся или освобожденный».

Основной вклад в активность при перевозке должно вносить поверхностное загрязнение груза РМ. Неснимаемое поверхностное загрязнение следует по возможности ограничивать значениями, указанными в пункте 5.3.9 НП-053-16. Влияние активационного излучения или любых других видов излучения следует свести к минимуму.

Радиационное воздействие на персонал следует ограничивать исходя из активности радионуклидов, поступивших в организм человека, либо исходя из дозы внутреннего облучения. Данные значения следует по возможности устанавливать на уровне 10-6А2 или 50 мЗв, соответственно.

Количество ДМ в крупногабаритном грузе РМ, а также его ИБК не должны превышать пределов, установленных в пунктах 2.12.13 и 2.12.14 НП-053-16.

В пустотах крупногабаритного груза РМ не следует размещать посторонние предметы.

Содержание жидкости в крупногабаритном грузе РМ должно быть сведено к минимуму. С этой целью может потребоваться выполнение специальных процедур осушения груза.

Уровень излучения на расстоянии 3 м от незащищенного радиоактивного содержимого крупногабаритного груза РМ не должен превышать 10 мЗв/ч.

Крупногабаритный груз РМ вместе с защитными конструкциями должен обладать способностью противостоять воздействию любого ускорения, вибрации или резонанса при вибрации, которые могут возникнуть при обычных условиях перевозки.

Крупногабаритный груз РМ, а также его внешняя оболочка, должны соответствовать требованиям, установленным в НП-053-16 к промышленным упаковкам типа 2 (IP-2). Нефиксированное поверхностное загрязнение внешней поверхности груза РМ не должно быть больше пределов, установленных в пункте 5.3.9 НП-053-16.

Не рекомендуется осуществлять перевозку крупногабаритных грузов с использованием воздушного транспорта.

Определение ТИ груза РМ следует проводить в соответствии с требованиями пункта 5.3.1 НП-053-16.

Должны выполняться все требования НП-053-16 в части, касающейся маркировки, этикетки, знаков опасности и обязанностей грузоотправителя.

Для транспортирования крупногабаритных грузов РМ, так же как и для транспортирования других грузов РМ, должны быть разработаны собственные «Программа радиационной защиты» и «План работ по ликвидации последствий аварий», учитывающие особенности обращения с таким грузом.

Допускается не подвергать груз РМ испытанию на штабелирование (пункт 3.4.2.5 НП-053-16) при условии, если крупногабаритный груз РМ транспортируется отдельно от любых других грузов, либо если предусмотрены специальные средства, исключающие возможность укладки штабелем. Кроме того, если специальными мерами исключено падение груза РМ на определенные части внешней поверхности, для данных поверхностей допускается не проводить испытания на удар при свободном падении (пункт 3.4.2.4 НП-053-16).

На перевозку крупногабаритного груза РМ рекомендуется оформлять отдельный сертификат-разрешение.

Список литературы, используемой в приложении № 6

[6.1] Becker D. L., Burgess D. M., Lindquist M. R. Shippingport reactor pressure vessel and neutron shield tank assembly probabilistic waterborne accident assessment. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 92 (Proc. Int. Symp. Yokohama, 1992), Science and Technology Agency, Tokyo (1992).

[6.2] Closs J. W. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 92 (Proc. Int. Symp. Yokohama, 1992), Science and Technology Agency, Tokyo (1992).

[6.3] Pope R. B., et al. Characterizing, for packaging and transport, large objects contaminated by radioactive material having a limited A2 value. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 98 (Proc. Int. Symp. Paris, 1998), Institut de protection et de sûreté nucléaire, Paris (1998).

[6.4] Hilbert F., Kubel M. Transport of two steam generators from the nuclear power station KWO to the interim storage site of EWN. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2007 (Proc. Int. Symp. Miami, 2007), Intitute of Nuclear Materials Management, Deerfield, IL (2007).

- [6.5] Dybeck P., Broman U. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2007 (Proc. Int. Symp. Miami, 2007), Intitute of Nuclear Materials Management, Deerfield, IL (2007).
- [6.6] Svahn B., Zika H., Welleman E., Nilsson T. PATRAM 2007 (Proc. Int. Symp. Miami, 2007), Intitute of Nuclear Materials Management, Deerfield, IL (2007).
- [6.7] Nitsche F., Fasten C. Transport of large components in Germany: Some experiences and regulatory aspects. Packaging and Transport of Radioactive Materials, PATRAM 2010 (Proc. Int. Symp. London, 2010), Department for Transport, UK (2010).
- [6.8] Koman S., Droste B., Wille F., Packaging and Transport of Radioactive Materials, PATRAM 2010 (Proc. Int. Symp. London, 2010), Department for Transport, UK (2010).
- [6.9] Schiffer W., Hilbert F. Packaging and Transport of Radioactive Materials, PATRAM 2010 (Proc. Int. Symp. London, 2010), Department for Transport, UK (2010).
- [6.10] Boyle R. W., Williams J. L. Large component regulatory relief in the United States. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2004 (Proc. Int. Symp. Berlin, 2004), Ramtrans Publishing, Ashford, UK (2004).
- [6.11] Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fraction for Nonreactor Nuclear Facilities, DOE-HDBK-3010-94, USDOE, Washington, DC (1994).
- [6.12] Gray I. Development of an improved radiological basis and revised requirements for the transport of LSA/SCO materials. Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2004 (Proc. Int. Symp. Berlin, 2004), Ramtrans Publishing, Ashford, UK (2004).

Приложение № 7. Особые ситуации при транспортировании радиоактивных материалов

В настоящем приложении к Справочным материалам представлены рекомендации по обеспечению безопасности транспортирования РМ в случае возникновения ситуаций, в которых методы выполнения требований НП-053-16 могут быть не очевидными. В частности, такие ситуации могут возникать при транспортировании РМ, вид и характеристики которых не определены (например, при транспортировании РМ, документация на который утеряна, или РМ, владелец которого неизвестен), или при транспортировании сильно поврежденной упаковки с РМ.

Транспортирование радиоактивных материалов неопределенного вида

При обращении с РМ неопределенного вида следует обеспечить как можно скорейшее их перемещение в защищенное место, например, на территорию грузоотправителя РМ или на специализированные площадки по обращению с РМ.

Подготовка к транспортированию РМ неопределенного вида может включать в себя определение радионуклидного состава РМ, определение активности РМ, а также контроль герметичности упаковки и ее поверхностного радиоактивного загрязнения. В случае если данный РМ является РМОВ, а также в случае обнаружения деградации свойств существующей оболочки РМ, по возможности следует заменить данную оболочку на новую. При невозможности проведения замены следует использовать упаковку, уровень защиты которой удовлетворяет требованиям НП-053-16, даже в случае разрушения герметичной оболочки РМ.

Выбор упаковки для транспортирования РМ неопределенного вида, а также ее маркировка основывается на результатах оценки свойств РМ. При подготовке к транспортированию следует убедиться в том, что РМ должным образом закреплен внутри упаковки, а уровни излучения за защитой упаковки и ее поверхностного загрязнения не превышают уровней, установленных требованиями НП-053-16 для упаковки данного типа.

По возможности перед осуществлением транспортирования следует подготовить документацию, содержащую всю известную информацию о РМ неопределенного вида. Данную документацию следует включать в набор документов, имеющихся в распоряжении экипажа транспортного средства.

Следует рассматривать возможность транспортирования РМ неопределенного вида в специальных условиях.

Транспортирование поврежденной упаковки

В результате аварий при транспортировании упаковка с грузом РМ может быть существенно повреждена. При возникновении таких аварий вблизи мест нахождения населения поврежденную упаковку следует оперативно переместить в безопасное место. Для обеспечения безопасности транспортирования такой упаковки может потребоваться организация дополнительных мер защиты. Данные меры могут быть направлены на обеспечение целостности упаковки, а также на снижение уровня радиационного воздействия.

Транспортирование поврежденной упаковки следует осуществлять в специальных условиях с соответствующим многосторонним согласованием и наличием соответствующей документации.

Транспортирование по территории государств, в которых отсутствуют требования безопасности при транспортировании радиоактивных материалов

Некоторыми государствами могут быть не установлены требования безопасности при транспортировании РМ. В случае осуществления перевозки через территорию данных государств следует руководствоваться требованиями международных документов в области безопасности транспортирования опасных грузов, в том числе РМ, на различных видах транспорта. Основным документом, требования которого следует выполнять, являются нормы безопасности МАГАТЭ SSR-6 [7.1]. Кроме того, возможно применение требований НП-053-16, так как положения данных Правил [7.2] гармонизированы с положениями SSR-6 [7.1]. Следует также обеспечить выполнение общих положений нормативных документов, действующих в данном иностранном государстве, которые могут распространяться на транспортирование РМ.

В случае международного транспортирования многостороннее утверждение сертификатов-разрешений на конструкцию и перевозку должно осуществляться с привлечением представителей компетентных и регулирующих органов всех стран, по территории которых осуществляется транспортирование. В случае если в государстве не организован специальный орган, регулирующий безопасность транспортирования РМ, и (или) компетентный орган в области безопасности транспортирования, то утверждение сертификатов-разрешений следует проводить с привлечением уполномоченных представителей органов власти данного государства.

Список литературы, используемой в приложении № 7

[7.1] Specific Safety Requirements, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material No. SSR-6, IAEA (2012).

[7.2] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-16: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 января 2017 г., регистрационный № 45375).

Приложение № 8. Таблица соответствия пунктов НП-053-16* и SSR-6**

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
1.1.1	-	2.1.1	601	2.8.14	640
1.1.2	-	2.2.1	602	2.8.15	649
1.1.3	108	2.2.2	603	2.8.16	650
1.1.4	106	2.2.3	604	2.8.17	651
1.1.5	107	2.3.1	605	2.9.1	652
1.1.6	-	2.4.1	607	2.9.2	653
1.1.7	-	2.4.2	608	2.9.3	658
1.1.8	-	2.4.3	609	2.9.4	659
1.2.1	-	2.4.4	610, 611	2.9.5	661
1.2.1.1	301	2.4.5	612	2.9.6	662
1.2.1.2	-	2.4.6	613	2.9.7	663
1.2.1.3	-	2.4.7	614	2.9.8	664
1.2.1.4	-	2.4.8	615	2.9.9	654,655
1.2.1.5	-	2.4.9	618	2.9.10	666, 656, 657
1.2.1.6	-	2.4.10	616	2.9.11	660
1.2.1.7	-	2.4.11	617	2.9.12	665
1.2.2	301, 308	2.4.12	619, 620, 621	2.10.1	667
1.2.3	311, 312, 313, 314	2.5.1	622	2.10.2	668
1.2.4	303	2.6	-	2.11.1	669
1.2.5	562 (с)	2.6.1	623	2.11.2	670
1.2.6	304	2.6.2	624, 626	2.11.3	671
1.2.7	306	2.6.3	625	2.11.4	672
1.2.8	310, 434	2.6.4	627	2.12.1	673
1.2.9	305, 507	2.6.5	628	2.12.2	417
1.3.1	106	2.6.6	629, 624	2.12.3	-

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
1.3.2	-	2.6.7	630	2.12.4	673
1.3.2.1	622	2.7.1	631	2.12.5	682
1.3.2.2	623	2.7.2	632	2.12.6	678
1.3.2.3	624	2.7.3	633	2.12.7	679
1.3.2.4	625	2.7.4	634	2.12.8	-
1.3.2.5	635	2.8.1	635	2.12.8.1	682
1.3.2.6	652, 667	2.8.2	636	2.12.8.2	680
1.3.2.7	669	2.8.3	637	2.12.8.3	-
1.3.3	-	2.8.4	638	2.12.8.4	681
1.3.3.1	422	2.8.5	639, 640	2.12.8.5	676
1.3.3.2	517, 522	2.8.6	641	2.12.8.6	677
1.3.3.3	-	2.8.7	642	2.12.8.7	-
1.3.3.4	429, 430	2.8.8	643	2.12.8.8	-
1.3.3.5	431, 432, 433	2.8.9	644	2.12.8.9	-
1.3.3.6	431, 432	2.8.10	645	2.12.8.10	-
1.3.3.7	418	2.8.11	646	2.12.8.11	-
1.3.3.8	420	2.8.12	648	2.12.8.12	-
1.3.3.9	-	2.8.13	647	2.12.8.13	-
2.12.8.14	-	3.4.5.1	731	5.2.1	501
2.12.9	-	3.4.5.2	732	5.2.2	503
2.12.10	686	3.4.5.3	733	5.2.3	502
2.12.11	683	3.4.6	-	5.3.1	523, 524
2.12.12	684, 685	3.4.6.1	734	5.3.2	526
2.12.12.1	684	3.4.6.2	735	5.3.3	527
2.12.12.2	-	3.4.6.3	736	5.3.4	528
2.12.12.3	685	3.4.6.4	737	5.3.5	567
2.12.13	674	3.5.1	718	5.3.6	570
2.12.14	675	4.1.1	802	5.3.7	529

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
3.1	-	4.1.2	804	5.3.8	-
3.1.1	701	4.1.3	804	5.3.9	508, 509
3.1.2	702	4.1.4	801	5.3.10	513
3.1.3	702	4.2.1	832	5.3.11	514
3.1.4	717	4.2.2	832	5.4.1	419, 530
3.2	-	4.2.3	832	5.4.2	532
3.2.1	703	4.2.4	833	5.4.3	533
3.3.1	704	4.2.5	833	5.4.4	531
3.3.2	704	4.2.6	833	5.4.5	534
3.3.3	704	4.2.7	833	5.4.6	535
3.3.4	705	4.2.8	833	5.4.7	536
3.3.5	706	4.2.9	833	5.4.8	537
3.3.6	707	4.3.1	-	5.4.9	538
3.3.7	708	4.3.2	819	5.4.10	539
3.3.8	709	4.3.3	820, 823	5.4.11	540
3.3.9	710	4.3.4	-	5.4.12	541
3.3.10	711	4.3.5	819	5.4.13	542
3.3.11	712	4.3.6	-	5.4.14	543
3.4.1	-	4.3.7	674 (с), 822	5.4.15	544
3.4.1.1	713	5.1.1	-	5.4.16	-
3.4.1.2	714, 715	5.1.2	505	5.4.17	-
3.4.1.3	716	5.1.3	-	5.5.1	515
3.4.2	-	5.1.4	-	5.5.2	516
3.4.2.1	719	5.1.5	-	5.5.3	515
3.4.2.2	720	5.1.6	504	5.5.4	423
3.4.2.3	721	5.1.7	-	5.5.5	424
3.4.2.4	722	5.1.8	506	5.5.6	426
3.4.2.5	723	5.1.9	-	5.6.1	517

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
3.4.2.6	724	5.1.10	-	5.6.2	-
3.4.3	-	5.1.11	-	5.6.3	521
3.4.3.1	725	5.1.12	557, 558	5.6.4	520
3.4.4	-	5.1.13	559	5.6.5	522
3.4.4.1	726	5.1.14	309	5.6.6	518
3.4.4.2	727	5.1.15	583	5.6.7	519
3.4.4.3	728	5.1.16	302	5.7.1	564
3.4.4.4	729	5.1.17	545	5.7.2	565
3.4.4.5	730	5.1.18	-	5.7.3	566
3.4.5	-	5.2	-	5.7.4	-
5.7.5	562	5.12.3	-	7.2.9	-
5.7.6	568	5.12.4	577	7.2.10	-
5.7.7	569	5.12.5	578	7.3.1	-
5.7.8	566, 569	5.12.6	-	7.3.2	-
5.7.9	-	5.12.7	-	7.3.3	-
5.8.1	427	5.12.8	-	Пр. 1	
5.8.2	-	5.12.9	-	Пр. 1 п. 1	201
5.8.3	-	5.12.10	-	Пр. 1 п. 2	201
5.8.4	-	5.12.11	-	Пр. 1 п. 3	-
5.8.5	-	5.12.12	584	Пр. 1 п. 4	227
5.9.1	-	5.12.13	-	Пр. 1 п. 5	211
5.9.2.1	573 (a)	5.12.14	-	Пр. 1 п. 6	223
5.9.2.2	573 (b)	5.12.15	-	Пр. 1 п. 7	212
5.9.2.3	573 (c)	5.12.16	-	Пр. 1 п. 8	210
5.9.3	574, 563	5.12.17	-	Пр. 1 п. 9	222
5.9.4	-	5.12.18	-	Пр. 1 п. 10	222
5.9.5	-	5.12.19	-	Пр. 1 п. 11	218
5.9.6	574	5.12.20	579	Пр. 1 п. 12	221

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
5.9.7	571	5.12.21	-	Пр. 1 п. 13	-
5.9.8	572	5.13.1	546, 547, 548, 549, 550, 552, 553, 585, 586	Пр. 1 п. 14	220
5.9.9	-	5.13.2	-	Пр. 1 п. 15	224
5.10.1	-	5.13.3	555, 561	Пр. 1 п. 16	229
5.10.2	-	5.13.4	555, 561	Пр. 1 п. 17.1	226, 409
5.10.3	-	5.13.5	-	Пр. 1 п. 17.2	226, 409
5.10.4	-	5.13.6	551	Пр. 1 п. 17.3	226, 409
5.10.5	-	6.1	-	Пр. 1 п. 18	204
5.10.6	-	6.2	-	Пр. 1 п. 19	245
5.10.7	-	6.3	-	Пр. 1 п. 20	246
5.10.8	-	6.4	-	Пр. 1 п. 21	216
5.10.9	571	6.5	-	Пр. 1 п. 22	247
5.10.10	-	7.1.1	304	Пр. 1 п. 23	247
5.10.11	-	7.1.2	-	Пр. 1 п. 24.1	241, 413
5.10.12	-	7.1.2.1	-	Пр. 1 п. 24.2	241, 413
5.10.13	-	7.1.2.2	-	Пр. 1 п. 25	237
5.10.14	-	7.1.2.3	-	Пр. 1 п. 26	217
5.11.1	-	7.1.2.4	-	Пр. 1 п. 27	206
5.11.2	575	7.1.3	-	Пр. 1 п. 28	247
5.11.3	576	7.1.4	305	Пр. 1 п. 29	234
5.11.4	-	7.1.5	-	Пр. 1 п. 30	-
5.11.5	-	7.1.6	-	Пр. 1 п. 31	239
5.11.6	-	7.2.1	-	Пр. 1 п. 32	225
5.11.7	-	7.2.2	-	Пр. 1 п. 33	214
5.11.8	-	7.2.3	-	Пр. 1 п. 34	235
5.11.9	-	7.2.4	-	Пр. 1 п. 35	236
5.11.10	-	7.2.5	-	Пр. 1 п. 36	-

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6
5.11.11	-	7.2.6	-	Пр. 1 п. 37	213
5.12.1	-	7.2.7	-	Пр. 1 п. 38	215
5.12.2	-	7.2.8	-	Пр. 1 п. 39	219
Пр. 1 п. 40	-	Таблица № 1	Таблица № 2	Таблица № 12	-
Пр. 1 п. 41	238	Таблица № 2	Таблица № 3	Пр. 5	
Пр. 1 п. 42	249	Пр. 3		Таблица	Таблица № 9
Пр. 1 п. 43	248	Пр. 3 п. 1	-	Рис. 1 (RUS)	Рис. 1
Пр. 1 п. 44	230	Пр. 3 п. 2	-	Рис. 2 (RUS)	Рис. 2
Пр. 1 п. 45	244	Пр. 3 п. 3	-	Рис. 3 (RUS)	Рис. 3
Пр. 1 п. 46	240	Пр. 3 п. 4	-	Рис. 4 (RUS)	Рис. 4
Пр. 1 п. 47	240	Пр. 3 п. 5	-	Рис. 5 (RUS)	Рис. 5
Пр. 1 п. 49	232	Пр. 4		Рис. 6 (RUS)	Рис. 6
Пр. 1 п. 50	233	Таблица № 1	Таблица IV.1 (SSG)	Рис. 7 (RUS)	Рис. 7
Пр. 1 п. 51	242	Таблица № 2	Таблица № 12	Пр. 6	
Пр. 1 п. 52	-	Таблица № 3	Таблица № 13	Рис. 1 (ENG)	Рис. 2
Пр. 2		Таблица № 4	Таблица № 14	Рис. 2 (ENG)	Рис. 3
Пр. 2 п. 1	402	Таблица № 5	Таблица № 7	Рис. 3 (ENG)	Рис. 4
Пр. 2 п. 2	403 (a)	Таблица № 6	Таблица № 10	Рис. 4 (ENG)	Рис. 5
Пр. 2 п. 3	403 (b)	Таблица № 7	Таблица № 11	Рис. 5 (ENG)	Рис. 6
Пр. 2 п. 4	404	Таблица № 8	Таблица № 8	Пр. 7	Таблица № 1
Пр. 2 п. 5	405	Таблица № 9	Таблица № 4	Пр. 8	Пр. III
Пр. 2 п. 6	406	Таблица № 10	Таблица № 5	Пр. 9	Пр. II
Пр. 2 п. 7	407	Таблица № 11	Таблица № 6	Пр. 10	-

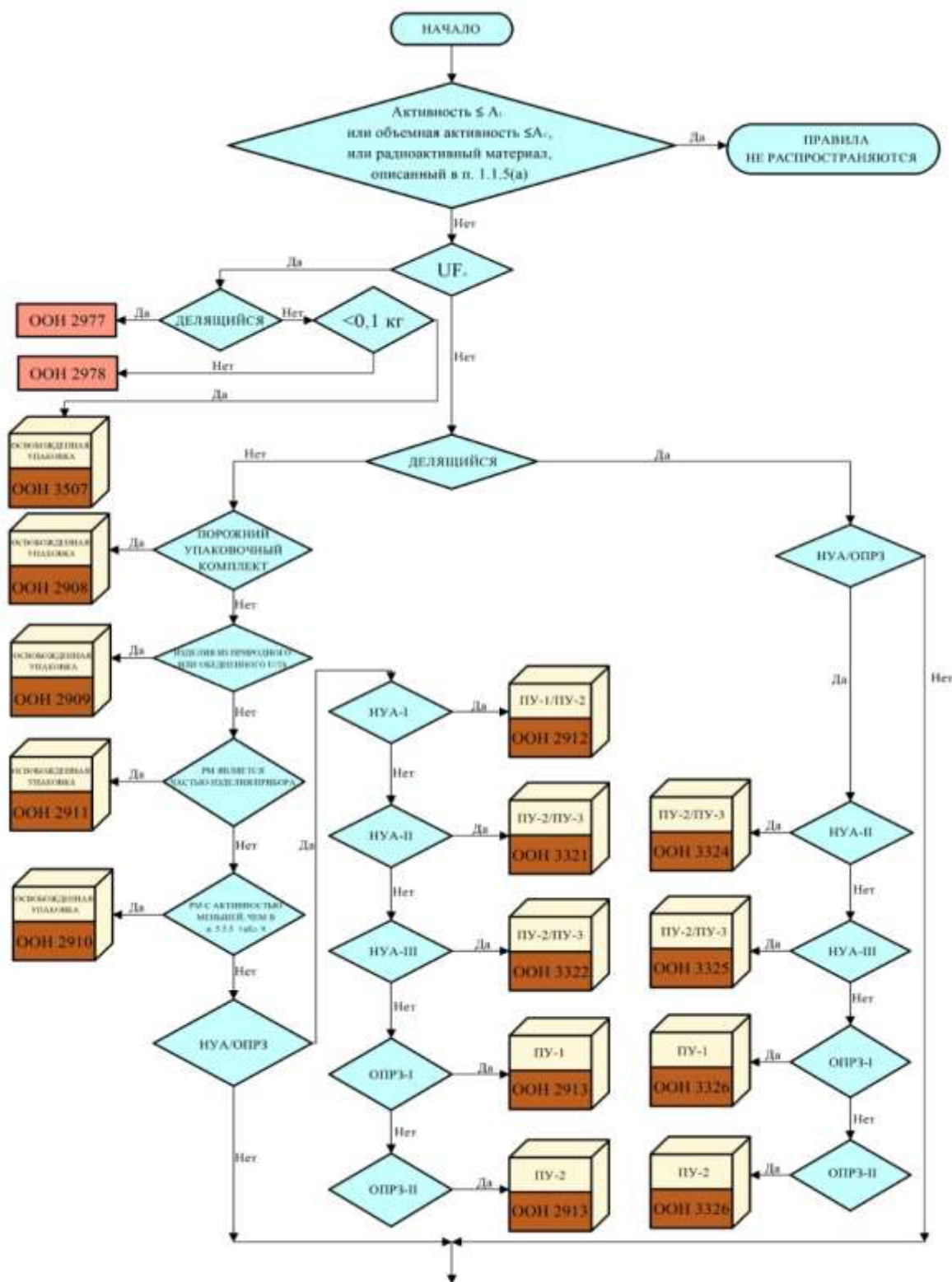
Примечания

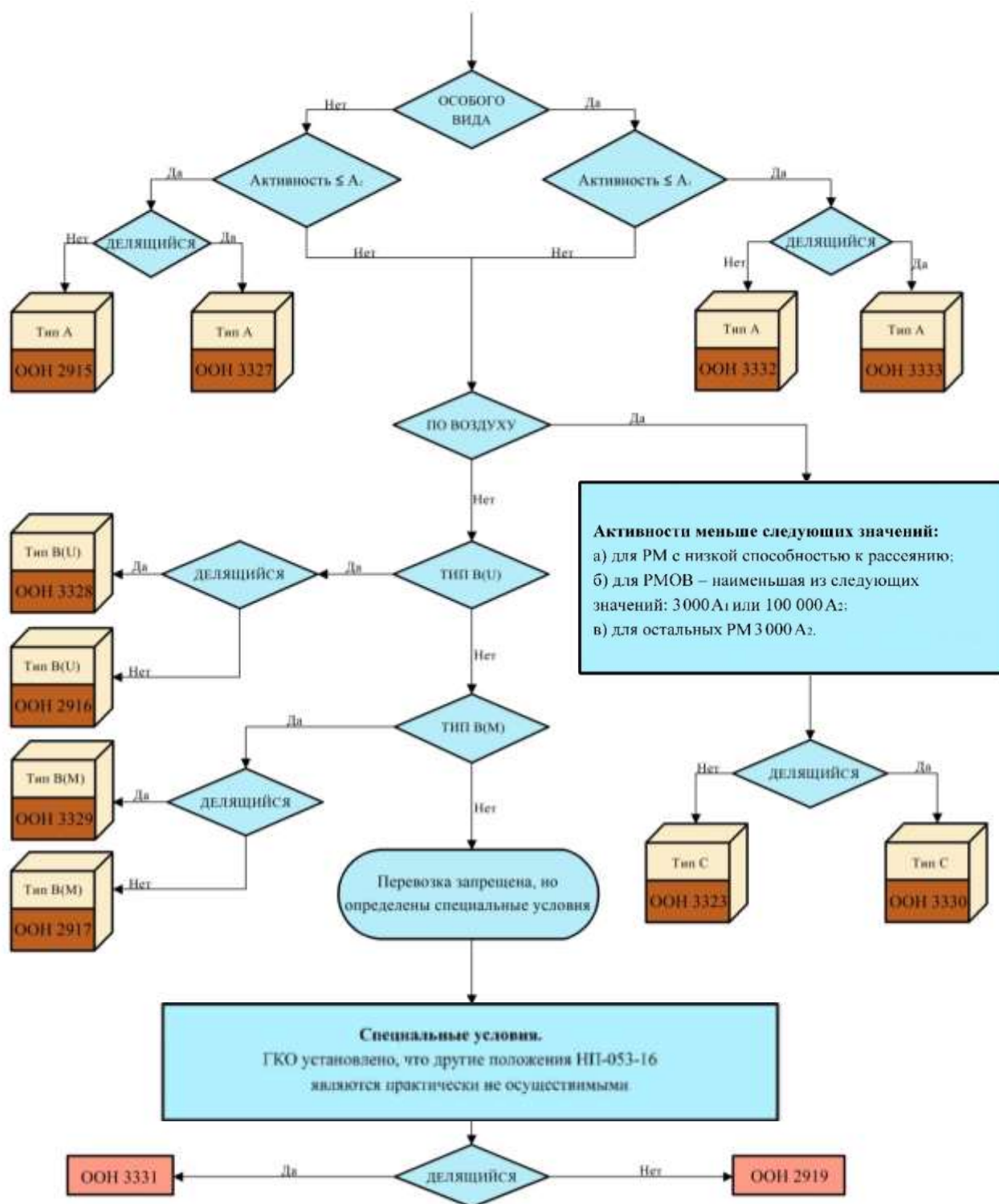
* — Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-16: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16

сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 января 2017 г., регистрационный № 45375).

** — Specific Safety Requirements, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material No. SSR-6, IAEA (2012).

Приложение № 9. Блок-схема классификации радиоактивных материалов, определения номера оон и типа упаковки





Примечания

A_L — предел активности для груза, на который не распространяются требования НП-053-16, Бк/груз;

A_c — удельная активность для веществ, на которые не распространяются требования НП-053-16, Бк/г;

В случае если РМ освобожден от требований к ДМ, в соответствии с положениями пункта 2.12.2 НП-053-16, его следует относить к неделяющимся.

Приложение № 10. Матрица требований НП-053-16* и SSR-6** в зависимости от типа упаковки

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	ДМ	UF ₆	
Пр. 1, пп. 9, 10	222								x		ДМ
Пр. 1, п. 32	225						x				PM с низкой способностью к рассеянию
Пр. 1, п. 17	226		x	x	x						НУА
Пр. 1, п. 31	239	x				x	x	x			PMOB
Пр. 1, п. 24	241		x	x	x						ОПРЗ
1.2.7	306	x	x	x	x	x	x	x			ПОК
Пр. 1, п. 17 1.3.3.2	408 – 411		x	x	x						Классификация НУА и пределы актив- ности, пункт 410: воздушная пере- возка
Пр. 1, п. 24	412 – 414		x	x	x						Классификация ОПРЗ и пределы ак- тивности
1.3.3.4	429 – 430					x					Пределы активности для упаковок типа А

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	DM	UF ₆	
1.3.3.5	431, 432						x				Классификация упаковок типа B(U) и B(M) и пределы активности
1.3.3.5	433						x				Пределы активности для упаковок типа B(U) и B(M), перевозимых по воздуху
1.3.3.6	431, 432							x			Классификация упаковок типа C и пределы активности
1.3.3.7	417, 418								x		Классификация DM и ограничения
1.3.3.8	419, 420									x	Классификация гексафторида урана и ограничения
5.2.1	501		x	x	x	x	x	X			Требования перед 1-ой перевозкой
5.2.3	502		x	x	x	x	x	x			Требования перед каждой перевозкой
5.2.2	504		x	x	x	x	x	x			Перевозка других грузов
1.2.9	507	x	x	x	x	x	x	x			Другие опасные свойства PM
5.3.9	508	x	x	x	x	x	x	x			Нефиксированное радиоактивное загрязнение на упаковке
5.5.1, 5.5.2	515 – 516	x									Требования к освобожденным упаковкам

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	ДМ	UF ₆	
5.6.1	517		x	x	x						Уровень излучения незащищенного НУА или ОПРЗ
5.6.3	521		x	x	x						Типы промышленных упаковок для НУА и ОПРЗ
5.6.5	522		x	x	x						Пределы активности для НУА и ОПРЗ
5.3.2	526		x	x	x	x	x	x	x		Пределы ТИ и ИБК
5.3.3, 5.3.4	527, 528		x	x	x	x	x	x			Уровень излучения на поверхности упаковки
5.9.2	573		x	x	x	x	x	x			Исключительное использование
5.11.2	575		x	x	x	x	x	x			Морская перевозка
5.12.5	578						x				Воздушная перевозка упаковок типа B(M)
2.1.1	601			x	x						Для НУА-III
2.2.1 – 2.2.3	602 – 604	x	x	x	x	x	x				Для РМОВ
2.3.1	605						x				Для РМ с низкой способностью к рассеянию
2.4.1 – 2.4.11	607 – 618	x	x	x	x	x	x	x			Общие положения

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	ДМ	UF ₆	
2.4.12	619 – 621	x	x	x	x	x	x	x			Воздушная перевозка упаковок типа С
2.6.2	624			x							ПУ-2
2.6.3	625				x						ПУ-3
2.6.2	626			x							Альтернативные требования
2.6.4 – 2.6.7	627 – 630			x	x						Альтернативные требования
2.7.1 – 2.7.4	631 – 634									x	Гексафторид урана
2.8.2	636		x	x	x	x	x	x	x		Минимальные размеры
2.8.3 – 2.8.14	637 – 647				x	x	x	x			Тип А
2.8.12	648				x	x	x	x			Тип А – критерии по выбросам
2.8.15	649				x	x	x	x			Тип А – жидкости
2.8.16	650					x					Тип А – жидкости
2.8.17	651					x					Тип А – газы
2.9.2 – 2.9.4	653 – 660						x	x			Тип В(U)
2.9.5 – 2.9.10	661 – 666						x	x			Тип В(U) – критерии по выбросам

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	А	В(У), В(М)	С	ДМ	UF ₆	
2.10.1, 2.10.2	667, 668						x				Только В(М)
2.11.2 – 2.11.4	670 – 672							x			Тип С
2.12.1	673			x	x	x	x	x	x		Требования к упаковкам, содержащим ДМ
2.12.2, 2.12.14	674, 675	x	x	x	x	x	x	x			Делящийся освобожденный материал
2.12.5 – 2.12.12	676 – 686			x	x	x	x	x	x		<i>Kэфф</i>
3.1.1	701	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Подтверждение соответствия требованиям
3.1.2	702			x	x	x	x	x	x	x	Оценка после испытаний
3.2.1	703			x	x		x				Испытание на выщелачивание материала НУА-III и РМ с низкой способностью к рассеянию
3.3.1 – 3.3.10	704 – 711	x				x	x	x			Испытание РМОВ
3.3.11	712						x				Испытания РМ с низкой способностью к рассеянию
3.4.1	713 – 715			x	x	x	x	x	x	x	Подготовка упаковок к испытаниям

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	DM	UF ₆	
3.4.1.3	716		x	x	x		x	x	x	x	Испытание целостности системы защитной оболочки и радиационной защиты
3.1.4	717		x	x	x		x	x	x	x	Мишень для испытаний на свободное падение
3.5.1	718									x	Испытание конструкций
3.4.2.1, 3.4.2.2	719 – 720		x	x	x		x	x	x	x	Общие положения для испытаний в нормальных условиях
3.4.2.3	721			x	x		x	x	x		Испытание на обрызгивание водой
3.4.2.4	722		x	x	x		x	x	x	x	Испытание на свободное падение
3.4.2.5	723		x	x	x		x	x	x		Испытание на штабелирование
3.4.2.6	724			x	x		x	x	x		Испытание на глубину разрушения
3.4.3.1	725					x					Дополнительные испытания для упаковок типа А (для жидкостей и газов)
3.4.4.1	726						x	x	x		Общие положения для испытаний в аварийных условиях
3.4.4.2	727 (a)						x	x	x		Испытание на свободное падение с 9-ти метров

№ пункта НП-053-16	№ пункта SSR-6	Тип упаковки							Дополнительное условие		Примечание
		Освобожденная упаковка	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-3	A	B(U), B(M)	C	ДМ	UF ₆	
3.4.4.2	727 (b)						x		x		Испытание на свободное падение на штырь
3.4.4.2	727 (c)						x	x	x		Испытание на динамическое разрушение
3.4.4.3	728						x		x	x	Тепловое испытание
3.4.4.4	729						x		x		Испытание на погружение в воду
3.4.4.5	730						x	x			Усиленное испытание на погружение в воду
3.4.5.1 – 3.4.5.3	731 – 733		x	x	x		x	x	x		Испытание на водонепроницаемость упаковок
3.4.6.1	734							x			Общие положения для испытаний упаковок типа С
3.4.6.2	735							x			Испытание на прокол (разрыв)
3.4.6.3	736							x			Усиленное тепловое испытание
3.4.6.4	737							x			Испытание на столкновение

Примечания

* — Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-16: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 сентября 2016 г. № 388 (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 января 2017 г., регистрационный № 45375).

** — Specific Safety Requirements, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material No. SSR-6, IAEA (2012).

x — требование применимо.

Научно-техническое издание.

Труды НТЦ ЯРБ



Справочные материалы к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов» (НП-053-16).

Составители: А. В. Курындин, А. А. Строганов, А. М. Киркин, С. В. Синегрибов, С. В. Маковский, И. Г. Новаков (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), А. А. Лавринович, А. И. Кислов (Ростехнадзор).

Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ». Подписано в печать 04.09.2019

ФБУ «НТЦ ЯРБ» является официальным издателем и распространителем нормативных актов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.06 № 384), а также официальным распространителем документов МАГАТЭ на территории России.

Тираж 500 экземпляров. Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ». Адрес: Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

		<p>Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015 и национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001-2015</p>
---	---	--

ISBN 978-5-907011-22-9



9 785907 011229