

Перевозка радиоактивных веществ в упаковках типа А, упаковках, не подпадающих под действие правил, и упаковках LSA

М. Уайт

Исследования перевозок радиоактивных материалов и другие сообщения показывают, что основная часть грузов перевозится в упаковках типа А, в упаковках не подпадающих под действие правил, и упаковках LSA, как они определены в Правилах перевозки МАГАТЭ [1]*, [2]. Например, данные, собранные в США в 1975 году [3], показывают, что из общего числа порядка 2 500 000 упаковок, отгруженных в указанном году, примерно 1 200 000 (48 %) были упаковками типа А, 700 000 (28 %) — упаковками, не подпадающими под действие правил, и 310 000 (12%) — упаковками типа LSA (малая удельная активность). Такое соотношение понятно в свете применения радиоактивных веществ в промышленности, исследованиях, медицине, для производства потребительских товаров и электроэнергии. Некоторые наиболее широко применяемые радиоизотопы перечислены в табл. 1; большинство перевозимых веществ малой удельной активности представляют собой физические и химические концентраты природного урана (такие, как "желтый брикет" (диурановая соль), гексафторид урана и свежее реакторное топливо) и малоактивные отходы (предметы и материалы, загрязненные малыми количествами различных радиоизотопов). Для целей, упомянутых в табл. 1, и для других целей [4] используются также многие другие изотопы.

Максимальные допустимые количества этих изотопов в упаковках типа А и упаковках, не подпадающих под действие правил, представлены в табл. 2. Во многих случаях, когда радиоизотопы должны использоваться непосредственно, такие, как фармацевтические препараты и составы индикаторов, вещества перевозятся партиями, например генераторы технеция-99m, с помощью которых при необходимости получают отдельные дозы.

УПАКОВКИ ТИПА А

Категория типа А предназначена для перевозки средних количеств радиоактивных веществ (по сравнению с небольшими количествами в упаковках, не подпадающих под действие правил, и большими количествами в упаковках типа В); они обеспечивают перевозки при умеренных затратах, но с высокой степенью безопасности. Характеристики упаковок этого класса, а также основные регулирующие предписания, действующие в отношении них, основаны на практике и правилах конца 40-х и 50-х годов; однако с тех пор они заметно изменились как в практическом, так и теоретическом плане [5]. Типичный упаковочный комплект, применяемый в настоящее время, который включает систему герметизации (ячейки и абсорбент), экранирование, дистанционирующие элементы и внешний контейнер, показан на рис. 1 и 2; другие типичные виды упаковок описаны в библиографии [6, 7, 8 и 9].

Как следует из этих примеров и как это обычно бывает, упаковки типа А изготовляются в основном из легких, малопрочных компонентов. Таким образом,

* В дальнейшем упоминаются как правила.

Г-н Уайт возглавляет секцию перевозок Управления по контролю за атомной энергией, Оттава, Канада.

Таблица 1. Некоторые широко используемые радиоизотопы

Радиоизотоп*	Применение/назначение	Рабочие количества
Америций-241	Детекторы дыма	<ul style="list-style-type: none"> до 5 мкКи в бытовых моделях 15+мкКи в коммерческих/промышленных установках
(с бериллием)	<ul style="list-style-type: none"> Измерители влажности/плотности Каротаж нефтяных и газовых скважин 	<ul style="list-style-type: none"> порядка 50 мКи
Золото-198**		<ul style="list-style-type: none"> Исследования/изотопные индикаторы
Углерод-14**	Исследования/изотопные индикаторы	<ul style="list-style-type: none"> до нескольких Ки в зависимости от того, проводится ли исследование в лаборатории или на местности
Кобальт-57, 58, 60**	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> порядка мкКи
Хром-51**	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> порядка 1 мКи на дозу
Цезий-137	<ul style="list-style-type: none"> Измерители влажности/плотности Медицина/терапия 	<ul style="list-style-type: none"> порядка 50 мкКи на дозу до десятков мКи
	<ul style="list-style-type: none"> Каротаж нефтяных и газовых скважин Измерители плотности и уровня 	<ul style="list-style-type: none"> до 200 мКи или около того на процедуру до 1-2 Ки
Галлий-67**	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> до 5 Ки порядка 1,5 мКи на дозу
Тритий	Люминисцентные приборы	<ul style="list-style-type: none"> до 200 мКи в часах до 25 Ки на указателях выхода и аналогичных указателях порядка мкКи
Тритий**	<ul style="list-style-type: none"> Исследования/изотопные индикаторы Нефтяные и газовые скважины/работы с изотопными индикаторами 	<ul style="list-style-type: none"> порядка мкКи
	<ul style="list-style-type: none"> Медицинские исследования in vitro Исследования/изотопные индикаторы 	<ul style="list-style-type: none"> до десятков Ки
Иод-125**	Исследования/изотопные индикаторы	<ul style="list-style-type: none"> порядка мкКи
Иод-131**	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> порядка мкКи
Иридий-192**	Медицина/терапия	<ul style="list-style-type: none"> примерно до 50 мкКи на дозу до 100 мКи на дозу порядка мкКи
Каротаж нефтяных и газовых скважин		
Криптон-85	Толщиномеры	<ul style="list-style-type: none"> до 1 Ки
Неодим-147**	Исследования/изотопные индикаторы	<ul style="list-style-type: none"> до нескольких Ки в зависимости от того, проводится ли исследование в лаборатории или на местности
Полоний-210	Статические элиминаторы	<ul style="list-style-type: none"> примерно до 100 мКи в промышленных установках
Скандий-46**	Исследования/изотопные индикаторы	<ul style="list-style-type: none"> до нескольких Ки в зависимости от того, проводится ли исследование в лаборатории или на местности
Стронций-90	Толщиномеры	<ul style="list-style-type: none"> до 25 мКи
Технеций-99m	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> до 20 мКи на дозу
Таллий-201	Медицина/диагностика	<ul style="list-style-type: none"> порядка 1,5 мКи на дозу

* Герметичные источники исключены в случаях, помеченных знаком **.

они могут быть повреждены при авариях. Эта возможность была учтена при разработке правил и нашла свое отражение в ограничениях на количество содержимого упаковок. Они устанавливаются на основе предположений, что при "средней" аварии [10]:

- 1) экранирующие свойства упаковки полностью теряются;
- 2) до одной тысячной (10^{-3}) доли радиоактивного вещества может выйти из системы герметизации.

(Признается тот факт, что может произойти большая утечка, но она будет вызвана аварией более тяжелой, чем постулируемое "среднее" событие; однако вероятность таких аварий считается настолько малой, что их не следует принимать во внимание. До настоящего времени опыт подтверждал эту практику);

- 3) доза внешнего облучения, полученная любым человеком вследствие потери экранирующих свойств, не должна превышать трех бэр с учетом, что человек может находиться на расстоянии трех метров от источника в течение трех часов.

(Иными словами, для α -излучающего радиоизотопа максимальная допустимая мощность излучения на расстоянии в один метр от открытого источника составляет девять бэр в час. Аналогичные критерии для α -, β -, нейтронных и рентгеновских излучателей и тех радиоизотопов, которые излучают несколько видов радиации, имеют небольшие различия. См. библиографию [10].);

- 4) количество радиоактивного вещества, поступившего в организм любого человека вследствие потери герметичности упаковки, не должно превышать половины максимально допустимого годового поступления для лиц, работающих с излучениями, что эквивалентно максимальной дозе облучения в три бэра, в случаях, когда критически важным органом является все тело, гонады или красный костный мозг*; предполагается, что это вызывается в большинстве случаев одной тысячной (10^{-3}) долей выделившегося вещества.

(Иными словами, в результате средней аварии вплоть до одной миллионной (10^{-6}) доли содержимого упаковки (но не более) может попасть в организм какого-либо человека вследствие потери герметичности для упаковки при перевозке легко высыпающего-диспергирующего вещества, т.е. вещества, не относящегося к "особому виду").

Активность, вычисленная на основе предположений 2) и 3), называется пределом A_1 ; по своему определению это применимо только к веществу особого вида. Показатель, полученный на основе предположений 2) и 4) для вещества не особого вида, называется величиной A_3 ; для большинства радиоизотопов она больше предела A_1 . Однако предположения 1) и 3) считаются преобладающими по отношению к предположениям 2) и 4) (поскольку очевидно, что это обеспечивает дополнительную меру безопасности); соответственно, наибольшая активность вещества не особого вида, которая может перевозиться в упаковке типа А, названная пределом A_2 , ограничена меньшей из двух величин (A_1 и A_3). Однако оба предела ограничены произвольно выбранным обязательным максимумом 1000 ки.

Хотя упаковки этой категории, как предполагается, не останутся целыми при аварии, они должны выдерживать, без какой-либо потери или распространения радиоактивного содержимого и без какого бы то ни было увеличения максимального уровня излучения на внешней поверхности упаковки, так называемые "нормальные условия перевозки". Последние включают в себя воздействие на груз окружающей среды, внешних нагрузок и различные последствия небрежного обращения, например, дождь, падение, удар длинным острым предметом или размещение сверху других упаковок. Чтобы обеспечить адекватность упаковок в этом отношении, правила предписывают, чтобы при проектировании упаковки учитывались колебания температуры и давления (от -40 до $+70^\circ\text{C}$ и номинально до 0,25 атм, соответственно), нагрузки, вызванные подъемом (включая подъем "захватом"), воздействие вибрации и (или) ускорения, и кроме того,

* Примечание: рекомендации и концепции, приведенные в Публикации № 26 МКРЗ, еще не включены в правила.

Таблица 2. Максимальные допустимые количества отдельных радионуклидов в упаковках типа А и в упаковках, не подпадающих под действие правил* (в кюри)

Радионуклид	Упаковки типа А		Упаковки, не подпадающие под действие правил		В жидком состоянии
	ОВ	НОВ	ОВ**	НОВ**	
Америций-241	8	0,008	0,008	8×10^{-6}	8×10^{-7}
Золото	40	40	0,04	0,04	0,004
Углерод-14	1000	100	1	0,1	0,01
Кобальт-57	90	90	0,09	0,09	0,009
Кобальт-58	20	20	0,02	0,02	0,002
Кобальт-60	7	7	0,007	0,007	7×10^{-4}
Хром-51	600	600	0,6	0,6	0,06
Цезий-137	30	20	0,03	0,02	0,002
Галлий-67	100	100	0,1	0,1	0,01
Тритий #	1000/20	1000/20		см. примечание	
Иод-125	1000	70	1	0,07	0,007
Иод-131	40	10	0,04	0,01	0,001
Иридий-192	20	20	0,02	0,02	0,002
Криптон-85+	20/0,6	20/0,6	$0,2/6 \times 10^{-4}$	$0,02/6 \times 10^{-4}$	—
Неодим-147	100	100	0,1	0,1	0,01
Полоний-210	200	0,2	0,2	2×10^{-4}	2×10^{-5}
Скандий-46	8	8	0,008	0,008	8×10^{-4}
Стронций-90	10	0,4	0,01	4×10^{-4}	4×10^{-5}
Технеций-99m § (молибден-99)	100 (100)	100 (100)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)	0,01 (0,01)
Таллий-201	200	200	0,2	0,2	0,02

(ОВ означает вещество "особого вида", как это определено в правилах [1]; НОВ означает вещество, не относящееся к "особому виду")

* Взято из таблицы VII правил [1].

** Если вещество источника заключено в прибор, часы или аналогичное приспособление, эти пределы в 10 раз выше на каждое изделие, и до 100 таких изделий может быть помещено в любую упаковку.

Верхний предел относится к тритию в газообразной фазе (несжатой или сжатой), в люминисцентных красках, в тритиевой воде и к тритию, поглощенному твердым носителем; нижний предел относится к тритию в других формах. Упаковки, не подпадающие под действие правил, могут содержать до 20 Ки трития в газообразной фазе, в люминисцентных красках или трития, поглощенного твердым носителем; для тритиевой воды эти пределы составляют до 1000 Ки при концентрации менее 0,1 Ки/л, до 100 Ки при концентрации от 0,1 до 1,0 Ки/л и 1 Ки при концентрации более 1,0 Ки/л.

+ Два значения относятся соответственно к несжатому (атмосферное давление) и сжатому (избыточное давление) состояниям.

§ Технеций-99m перевозится как таковой, а также в форме генератора технеция, содержащего в основном молибден-99 — материнский изотоп.

чтобы упаковки удовлетворяли определенным практическим нормам. Выполнение этих требований предусматривается при проведении испытаний: испытаний обрызгиванием водой; испытаний на свободное падение (на жесткую, негибкую мишень); испытания на удар (в ходе которого на упаковку падает тонкий тяжелый стержень), и испытания на сжатие (для моделирования штабеля укладки). Для испытаний на свободное падение и испытаний на удар в отношении упаковок, содержащих жидкие или газообразные вещества, предусматривается более значительная высота падения по сравнению с упаковками, предназначенными для твердых веществ, ввиду и для компенсации различий в



Рисунок 1а, 1б. Составные части упаковки типа А и упаковка в собранном виде.

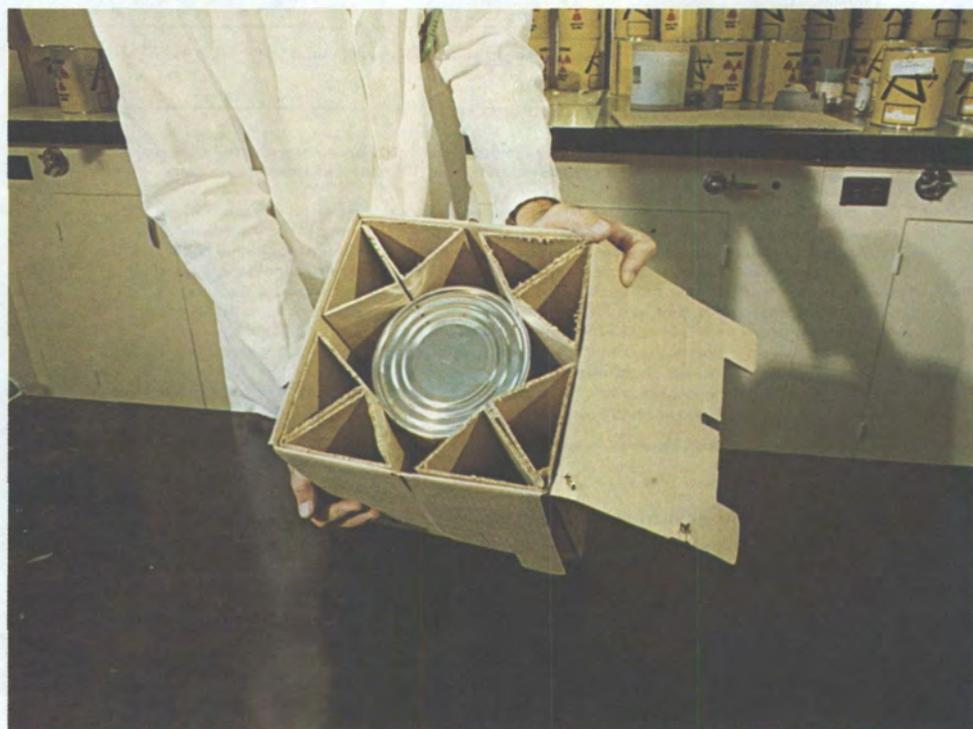
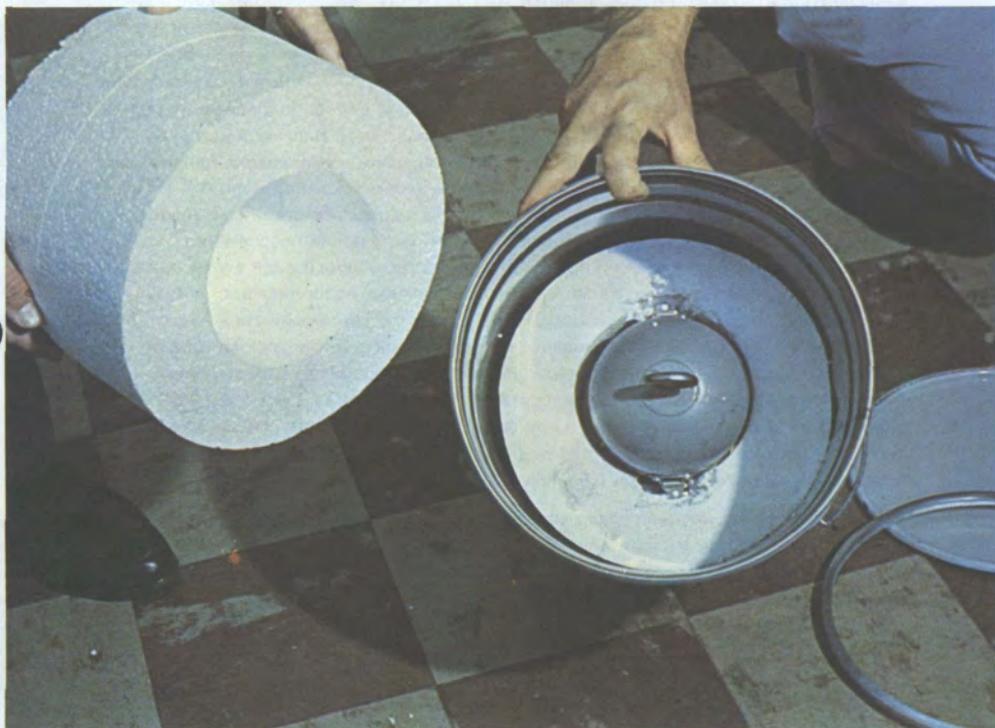




Рисунок 2а, 2б. Составные части упаковки типа А другой конструкции и упаковка в собранном виде.



реологических свойствах веществ и последующей вероятности утечки большего количества содержимого из упаковки в случае, если содержимое представляет собой жидкость. Общая цель такого повышения требований — снизить вероятность того, что упаковка будет повреждена в ходе обычных транспортных операций.

Упаковки типа А должны удовлетворять также ряду других требований: минимальный размер упаковки (в целях предупреждения переноски упаковок в карманах, и, таким образом, размещения их близко к телу); качество соединений сваркой, пайкой твердым припоем или аналогичными методами; надежность уплотнений герметизирующей системы и удержания радиоактивного вещества внутри экранирующих компонентов; внешние характеристики упаковочного комплекта; общие требования правил, касающиеся уровня внешнего излучения, нефиксированного загрязнения и этикетирования.

УПАКОВКИ, НЕ ПОДПАДАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕ ПРАВИЛ

Категория упаковок, не подпадающих под действие правил*, предназначена для перевозки небольших количеств радиоактивных веществ и обеспечивает относительно малую стоимость перевозок, но при сравнимом или даже более высоком уровне безопасности, по сравнению с упаковками типа А. Она основывается главным образом на одной из предпосылок, лежащих в основе концепции типа А, а именно, что любое вещество не особого вида, выделившееся из упаковки в результате аварии при перевозке, попадет в организм любого человека в количестве, не превышающем одну тысячную долю. (Это подтверждается опытом [5].)

Основной характеристикой этой категории является то, что упаковочный комплект должен удовлетворять лишь некоторым требованиям правил, которые носят общий характер; соображения, касающиеся конструкции, и практические нормы, применяемые к упаковкам типа А и аналогичные тем, которые описаны в предыдущем разделе, не применяются (отсюда и название "упаковки, не подпадающие под действие правил"). Вместе с этим снижением требований принимается, что все содержимое, а не его 1/1000 доля может выделиться при средней аварии; затем в соответствии с ранее сделанным предположением 4) максимальная активность вещества не особого вида, допустимая для не подпадающих под действие правил упаковок, должна быть ограничена одной тысячной долей A_2 . Этот предел распространяется на твердое и газообразное содержимое, однако для жидкостей он снижается еще больше — до одной десятичной доли A_2 , чтобы учесть возможность того, что поступление такого вещества в организм может превышать одну тысячную долю количества утечки. В целях обеспечения последовательности требований предел для вещества особого вида в упаковке установлен в одну тысячную долю A_1 ; это фактически позволяет достигнуть более высокого уровня безопасности, чем в случае с упаковками типа А, содержащими A_1 кюри, так как уровень радиации на расстоянии трех метров от двух источников после полной потери экранирующих свойств, как это предполагается в случае средней аварии, составит соответственно 1 мбэр/ч и 1 бэр/ч. Количество трития в элементарной или связанной формах, допустимое для категории упаковок, не подпадающих под действие правил, было определено с применением несколько иных моделей (см. библиографию [10]).

Если конструкция, которая содержит радиоизотоп, является промышленным изделием, таким, как измерительный прибор, часы или аналогичное устройство, то во внимание принимается дополнительное усиление, обеспечиваемое конструкцией, и пределы увеличиваются до одной сотой A_1 или A_2 кюри на упаковку, т. е. 100 (или более) изделий может быть упаковано вместе.

* В некоторых правилах она именуется также категорией ограниченных количеств.

Однако все предыдущие положения подчиняются одному или обоим из двух обязательных ограничений: уровень радиации должен быть не более 10 мБэр/ч на расстоянии 10 см от любой точки поверхности неупакованного прибора или не более 0,5 мБэр/ч на поверхности упаковки. Если любое из этих ограничений не выполняется — должна использоваться упаковка типа А. На категории упаковок, не подпадающих под действие правил, не распространяются общеприменимые правила этикетирования, но эти упаковки должны содержать внутри этикетку, предостерегающую о радиоактивной опасности содержимого. Упаковки также должны удовлетворять пределам нефиксированного радиоактивного загрязнения внешней поверхности.

В литературе по существу отсутствует информация об упаковках этой категории, поэтому в данной статье не представляется возможным привести описания типичных форм.

УПАКОВКИ LSA

Категория упаковок LSA предназначена для перевозки веществ с низкой удельной активностью: урана и тория в виде руды, физических и химических концентратов или металла (при условии, что вещество не было обогащено или облучено), воды с содержанием до 10 Ки/л трития, а также веществ и предметов с незначительным радиоактивным загрязнением (с учетом некоторых оговорок). Эти вещества представляют минимальную опасность при рассыпании или утечке содержимого в случае аварии, так как количества, которые должны поступить в организм человека, чтобы он получил значительную дозу облучения, чрезвычайно велики по сравнению с другими радиоактивными веществами (порядка миллиграммов, а не наногаммов [11]). Считается невероятным случай поступления радиоактивных веществ в организм в таких количествах в результате любых обстоятельств, которые могут возникнуть во время перевозки, включая даже крупную аварию. Таким образом, для этого класса веществ требования правил по отношению к герметизации намного менее строги, грузы могут транспортироваться навалом, т.е. удерживаться на месте только конструкцией транспортного средства (исключая воздушные перевозки), или по существу в упаковках любого типа; технические нормы не устанавливаются.

Однако на практике обычно используются два вида контейнеров: 210-литровые (55 галлонов США) стальные барабаны и стальные цилиндры различной емкости, вплоть до 4 кубических метров. Барабаны обычно изготавливаются из малоуглеродистой стали толщиной 1,2 мм; для перевозки таких твердых веществ, как "желтый брикет", порошок двуокиси урана и малоактивные радиоактивные отходы, используются контейнеры со съемными крышками, а для перевозки воды, содержащей тритий, и других жидкостей — контейнеры с запирающей горловиной. Цилиндры обычно используются для транспортировки гексафторида урана (в твердом виде); в большинстве случаев они фактически являются сосудами под давлением и удовлетворяют предписаниям соответствующих норм страны-изготовителя, например нормам и стандартам ASME (Американское общество инженеров-механиков), см. свод норм и стандартов, раздел VIII. Самая большая и, вероятно, наиболее употребительная модель цилиндра, обозначенная 48 Y, имеет следующие номинальные размеры: диаметр 1,22 м, длина 3,81 м при толщине стенки 15,8 мм; она предназначена для перевозки 12 500 кг гексафторида урана [12]. Этот цилиндр показан на рис. 3. Монацитовый песок — минерал, содержащий от 6 до 7% окиси тория, перевозится в мешках из дерюги с бумажным или пластиковым вкладышем, которые вместе с песком весят около 45 кг [13].

При отгрузке "полным грузом", т.е. когда все погрузочно-разгрузочные или вспомогательные операции контролируются грузоотправителем, грузополучателем или их агентом, к упаковкам LSA не применяются общепринятые требования, касающиеся этикетирования и нефиксированного загрязнения. В других



Рисунок 3. Цилиндр типа 48Y для транспортировки гексафторида урана (UF_6).

случаях, когда упаковка отгружается в соответствии с обычной практикой, эти требования должны соблюдаться.

Библиография

- [1] Международное агентство по атомной энергии, Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ, пересмотренное издание 1973 года, Серия изданий по безопасности № 6, МАГАТЭ, Вена, 1973.
- [2] Международное агентство по атомной энергии, Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ, издание 1967 года, Серия изданий по безопасности № 6, МАГАТЭ, Вена, 1968.
- [3] Nuclear Regulatory Commission: NUREG-0073, Transport of Radioactive Material in the US (A Detailed Summary of "Survey of Radioactive Material Shipments in the United States", BNWL - 1972), Washington, D.C. (May 1976).
- [4] Amiel, S., "Production and Utilization of Radioisotopes: Some General Aspects", Radioisotope Production and Quality Control, Technical Reports Series No. 128, IAEA, Vienna (1971) 7.
- [5] Fairbairn, A., "The Development of the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", Atomic Energy Review, II (1973) 873.
- [6] Domanus, J.C., "Analysis of design and test requirements and procedures for Type A packaging", IAEA-SM-147/35 (Proc. Symp., Vienna, 1971), IAEA, Vienna (1971) 65.
- [7] Prasad, A.N., et al., "Experience with packaging for the transport of radioactive materials", IAEA-SM-147/36 (Proc. Symp., Vienna, 1971), IAEA, Vienna (1971) 129.
- [8] Edling, D.A., "Analysis of type A packaging systems based on greater than 400 individual packaging tests", IAEA-SR-10/2 (Proc. Symp. Vienna, 1976), IAEA, Vienna (1976) 113.
- [9] Taylor, C.B.G., "Packaging and transport of radioisotopes", IAEA-SR-10/45 (Proc. Symp. Vienna, 1976), IAEA, Vienna (1976) 71.
- [10] Международное агентство по атомной энергии, Справочный материал по применению правил МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных веществ, Серия изданий по безопасности № 37, МАГАТЭ, Вена, 1974.
- [11] International Atomic Energy Agency, "A Basic Toxicity Classification of Radionuclides", Technical Reports Series No. 15, IAEA, Vienna (1963).
- [12] United States Energy, Research and Development Administration, "Uranium Hexafluoride Handling Procedures and Container Criteria", ORO-651, Rev. 4, Oak Ridge Operations Office, Oak Ridge, Tennessee (April 1977).
- [13] Gibson, R., Ed., "The Safe Transport of Radioactive Materials", Pergamon Press, London (1966).