

Перевозка отработавшего топлива – анализ безопасности

Обзор опыта США: прошлое способствует установлению в будущем высоких норм

Роберт М. Джефферсон

В современном обществе перевозка радиоактивных веществ и особенно отработавшего реакторного топлива вызывает массу эмоций и сопровождается большим объемом информации как благоприятной, так и неблагоприятной.

В США перевозка этих веществ считается уникальным явлением и рассматривается отдельно от перевозки других опасных веществ, а также считается наиболее уязвимым компонентом ядерной энергетической программы. В дополнение к этому, широко распространено мнение, что любой человек может считать себя специалистом по перевозке радиоактивных веществ.

Существенный вклад в такое обилие эмоций вносит представление некоторых людей, будто любая перевозка по железным и шоссейным дорогам затрагивает их личные интересы. Таким образом, вопрос о перевозке отработавшего топлива стал предметом политических споров.

Для того, чтобы люди, вовлеченные в обсуждение этого вида деятельности, могли прийти к рациональным выводам, в данной статье приводится некоторая основополагающая информация, которая может быть полезна широкому кругу людей при выработке ими собственного отношения к этому вопросу. Предполагается рассмотреть вопрос безопасности перевозки отработавшего топлива с технической точки зрения без эмоций, часто являющихся частью этих дискуссий.

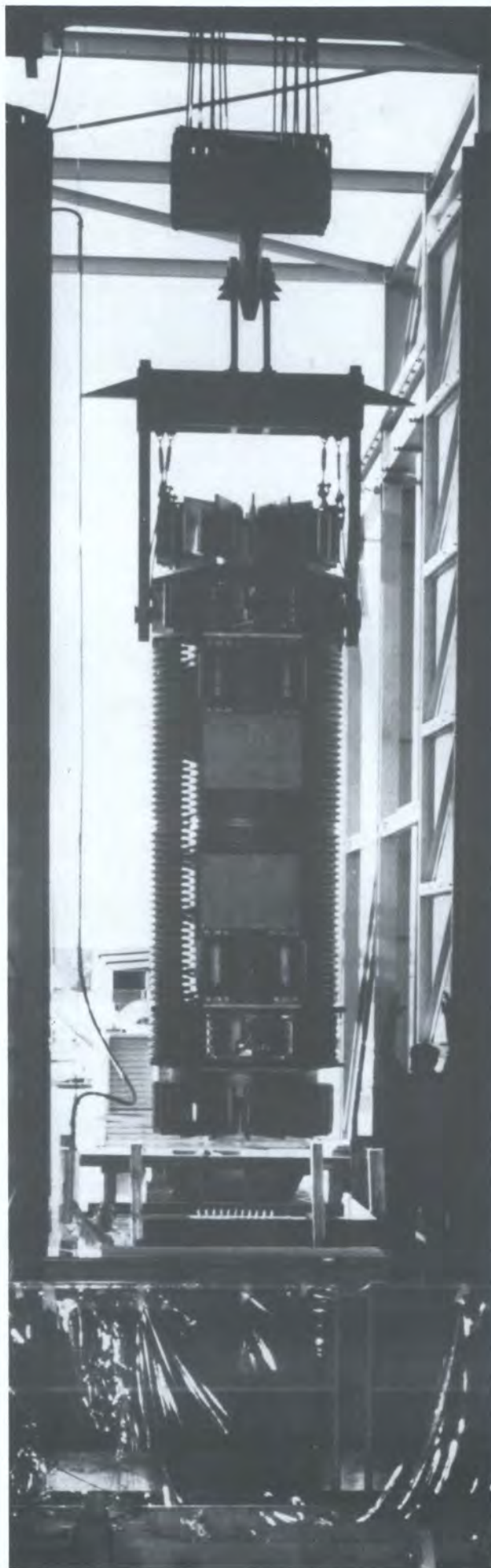
Классические подходы к безопасности

При рассмотрении вопроса безопасности существует три классических подхода. Очевидно, что один заключается в рассмотрении истории перевозки любого конкретного груза и оценке безопасности на основе опыта. Другим широко применяемым под-

Г-н Джефферсон – директор Центра транспортной технологии, Национальные лаборатории Сандиа, США.

70-ти тонный транспортный контейнер для отработавшего топлива опускается в разгрузочную шахту (Предоставлено Atomic Industrial Forum, Inc.)

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ, ВЕСНА 1985 г.



######

ходом является аналитический подход к данному вопросу путем комплексного рассмотрения составляющих элементов, связанного с перевозкой риска и оценки их с точки зрения последствий, соответствующих каждому уровню риска. Третья возможность может быть достигнута путем рассмотрения имеющихся исследований по безопасности с целью получения информации, которая может либо подтвердить, либо опровергнуть опыт или результаты анализа.

К сожалению, применение этих подходов по отдельности или вместе редко позволяет разрешить сомнения относительно перевозки отработавшего топлива. В данной статье рассматривается подход, обычно называемый "Что, если..." (см. прилагаемый текст в рамке).

Накопленный опыт

В отношении перевозки отработавшего топлива распространено мнение, что эта деятельность почему-то приводит к значительному увеличению количества перевозок опасных грузов. Поэтому важно рассмотреть громадный объем транспортной деятельности в Соединенных Штатах Америки.

Было установлено, что примерно один человек из пяти связан тем или иным способом с деятельностью, включающей перевозку людей, товаров и материалов. Другим отправным моментом может быть тот факт, что в США ежегодно перевозится в общей сложности примерно 500 миллиардов (половина триллиона) упаковок грузов.

Из этой половины триллиона упаковок примерно 100 миллионов содержат опасные вещества того или иного вида. Сюда можно было бы отнести такие вещества, как огнеопасные, горючие, взрывоопасные, токсичные и радиоактивные вещества. Радиоактивная компонента составляет примерно два миллиона упаковок в год. Таким образом, перевозка радиоактивных веществ составляет только около 2% от общего объема перевозки опасных веществ в США*.

Факты об отработавшем топливе

С 1964 г., когда США начали перевозить отработавшее топливо, среднее число ежегодных перевозок равно 291.

Прогнозирование наибольшего числа перевозок отработавшего топлива любым аналитическим методом на основе опубликованных до настоящего момента данных свидетельствует о том, что это число достигло бы 9000 перевозок в год при полностью действующем хранилище с наиболее вероятным установившимся объемом перевозок примерно на

уровне половины этой величины, т.е. около 4500 перевозок ежегодно*.

Такой прогноз с учетом возросшего применения радиоактивных веществ в промышленности и медицине показал бы, что доля ядерной энергетики в общем количестве перевозимой радиоактивности, выраженной в кюри, будет оставаться относительно малой. Кроме того, важно понять, что отработавшее топливо перевозится в настоящее время и перевозилось в течение последних 20 лет. Уже перевезено около 5000 отработавших топливных элементов**.

Объем экспериментальных данных может быть расширен, если учесть другие радиоактивные вещества, перевозка которых была начата в США с 1944 г. Это тот опыт, который позволяет нам оценить, по крайней мере, один аспект вопроса — относительную безопасность перевозки радиоактивных веществ вообще и отработавшего топлива в частности. Кроме того, Департамент перевозок с 1971 г. начал программу, получившую название „Система сбора данных об авариях с опасными веществами“. Эти данные, дополняемые из других источников, позволяют точно оценить случаи аварий при перевозках радиоактивных веществ.

Опыт аварий: упаковки целы

За период с 1971 по 1981 г. произошло всего 108 аварий с участием транспортных средств, перевозивших радиоактивные вещества. По последним данным доля таких аварий не изменилась. Эти 108 аварий можно классифицировать по следующим категориям. Двадцать шесть произошли при перевозке малоактивных отходов, образовавшихся во всех отраслях промышленности. Двадцать четыре аварии произошли во время перевозки промышленных радиографических источников к месту или с места их применения. Восемнадцать аварий произошло с медицинскими источниками. Тридцать шесть произошло с сырьем, таким как урановая руда или урановый концентрат „желтый кек“. Оставшиеся четыре аварии произошли с транспортными контейнерами для отработавшего топлива (два из которых были пусты в момент аварии)***.

Можно рассматривать эти аварии с другой точки зрения. В этих 108 авариях оказалось 1198 упаковок с радиоактивными веществами. Из них 861 упаковка относилась к категории, называемой „высокогерметичной“, представляющей собой тип контейнера, в котором перевозят такие вещества низкого уровня активности, как „желтый кек“, и потреби-

* Social and Economic Aspects of Radioactive Waste Disposal, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. (1984) p. 69.

** См. „Коммерческий опыт перевозки отработавшего топлива в США“, Р.М. Джефферсон и Дж.Д. МакКлюр, Бюллетень МАГАТЭ, том 21, № 6, декабрь 1979 г.

*** Radioactive Material (RAM) Accident/Incident Data Analysis Program, by E.L. Emerson and J.D. McClure, SAND82-2156, TTC-0385, Sandia National Laboratories (September 1983).

* Transport of Radioactive Material in the United States: Results of a Survey to Determine the Magnitude and Characteristics of Domestic, Unclassified Shipments of Radioactive Materials, by H.S. Javits, T.K. Layman, E. Maxwell, E.L. Myers, C.K. Thompson, SRI International, Menlo Park, Calif., (November 1984).

тельские товары типа детекторов дыма. Из 861 упаковки 56 были повреждены при аварии до такой степени, что произошла некоторая утечка радиоактивного вещества. Например, 28 упаковок из 56 были повреждены в одной аварии в Колорадо, когда грузовой автомобиль, перевозивший бочки с „желтым кейком” (U_3O_8), сбил лошадь и упал в кювет, перевернувшись и повредив бочки. Даже в этом случае 56 утечек для 861 упаковки свидетельствуют о том, что тип упаковок, используемый в обычных коммерческих операциях, оказывается неповрежденным с вероятностью 93,5 %.

Для веществ с несколько большей активностью требуется применять упаковку типа А, спроектированную таким образом, чтобы она выдерживала обычные нагрузки, возникающие при перевозке. Приведенные в правилах проектные условия для упаковок типа А призваны обеспечить при безаварийной перевозке отсутствие какой-либо утечки ее содержимого.

Эти критерии не обеспечивают сохранность упаковки при аварии. Однако из 286 упаковок типа А, попавших в аварии в рассматриваемый период времени, только у пяти произошла утечка радиоактивных веществ в окружающую среду, что свидетельствует о вероятности 98,25 % переноса без повреждения аварийных условий. Упаковки как типа А, так и „высокогерметичные” используются для перевозки ограниченных количеств веществ, которые в случае утечки не создадут значительной опасности для населения.

Утечка радиоактивности отсутствует

Остальные 50 упаковок в этих 108 авариях были типа В. Эти упаковки используются для перевозки высокоактивных радиоактивных веществ, включая отработавшее топливо; они спроектированы таким образом, чтобы выдержать аварийные условия без утечки содержимого.

Из 50 контейнеров типа В, попавших в аварию, ни в одном случае не было утечки радиоактивных веществ. Хотя эти данные применимы только к условиям США, важно отметить, что опыт аварий с контейнерами типа В одинаков во всех странах Запада.

За 40 лет перевозок высокоактивных радиоактивных веществ не было смертельных случаев или заболеваний, явившихся следствием радиоактивного характера любых перевозимых веществ. Более того, никогда не было утечек из упаковок типа В, вызванных аварией транспортных средств*.

Интересно сравнить, что за тот же 40-летний период в США произошло примерно 1100 смертельных случаев, непосредственно связанных с опасностью,

возникающей при перевозке бензина*. Можно также упомянуть о большом числе проблем с хлором, аммиаком, поливинилхлоридом и другими опасными веществами.

На отношении к безопасности перевозки радиоактивных веществ высокой активности отрицательно сказывается экстраполяция опыта, связанного с другими опасными веществами, которые не перевозятся в упаковках, способных противостоять аварийным условиям. Так накопленный опыт доказал, что безопасность перевозки отработавшего топлива во много раз выше, чем безопасность перевозки других опасных грузов.

Аналитический подход к опасности

В настоящее время в США стало популярным анализировать риск любой деятельности, основываясь на статистической информации и прогнозах и на анализе *последствий*, которые могут явиться следствием различных видов деятельности. Аналогичный анализ был проведен для перевозки радиоактивных веществ. Он дал довольно интересные результаты.

Эти исследования, основанные на предположениях, считающихся консервативными, показали, что безаварийная перевозка по территории США всех радиоактивных веществ в среднем приводит к индивидуальной дозе облучения человека менее 0,5 мбэр/год. Это контрастирует со средним фоновым облучением от почвы, строительных материалов, пищи и космического излучения, которые составляют примерно 160 мбэр/год. Даже наиболее облучаемый человек при безаварийных условиях получил бы только 16 мбэр/год.

При учете аварий в этом анализе средний уровень облучения населения возрастает примерно на 0,005—0,0005 мбэр**.

Другими словами, аварии приводят к дополнительному риску для среднего индивидуума на уровне только одной тысячной риска от безаварийной деятельности.

Важно понять, что аварии, представляющие угрозу целостности упаковки, также приводят к смертельным случаям и травмам в результате механических воздействий. Другими словами, люди погибают и получают травмы в транспортных авариях и во время перевозки радиоактивных веществ, однако при этом характер груза никоим образом не сказывается на последствиях аварии. Если сравнить риск механического и радиологического воздействия при перевозке радиоактивных веществ, то риск механи-

* Частное сообщение Р. Раула, Департамент перевозок США.

** См. A Nuclear Waste Primer, League of Women Voters, Publication No. 391, Washington, D.C. (1980); and A Preliminary Cost and Risk Analysis for Transporting Spent Fuel and High-level Wastes to Candidate Repository Sites, by K.S. Neuhauser, J.W. Cashwell, P.C. Reardon and G.W. McNair, SAND84-1795, TTC-0506, Sandia National Laboratories (October 1984) для обсуждения радиационного облучения.

* См. "The Role of the International Atomic Energy Agency", by Morris Rosen, and "Design & Safety of Flasks", by R.M. Jefferson in The Urban Transport of Irradiated Fuel, MacMillan Press, Long (1984); and Transportation Accident Scenarios for Commercial Spent Fuel, by E.L. Wilmot, SAND80-2124, TTC-0156, Sandia National Laboratories (February 1981).



Проверки в условиях аварии, огнем и падением более суровые, чем реальные условия перевозки, входят в число серьезных испытаний, которые контейнеры для отработавшего топлива выдерживают по существу без нарушения герметичности и без значительного снижения защитных свойств. (Предоставлено Atomic Industrial Forum, Inc.)

ческого воздействия примерно в 100–1000 раз больше радиологического риска.

Основываясь на этих выводах, перевозку высокоактивных веществ, таких как отработавшее топливо, осуществляют по федеральным правилам, в которых сделана попытка свести к минимуму общее расстояние перевозок и тем самым уменьшить риск смертельных случаев и травм в результате механических воздействий*. Не удивительно, что это же приводит также к дальнейшему уменьшению и без того незначительного радиологического риска.

Таким образом, аналитические методы, используемые для оценки риска перевозки радиоактивных веществ, так же как и другие методы, свидетельствуют о том, что опасность, которой подвергается население в связи с перевозкой радиоактивных веществ, включая отработавшее топливо, значительно ниже того риска, который обычно считается приемлемым при перевозке людей и товаров и оказании услуг вообще.

Исследование безопасности — испытания

С начала 70-х годов начались исследования в области безопасности перевозки радиоактивных ве-

*Federal Register, Docket No. NM 164, Vol. 46, No. 12, January 19 (1981) pp. 5298–5318.

ществ с целью оценки эффективности материалов, используемых при проектировании и изготовлении упаковок, проверки правильности проектных методов, накопления данных для определения анализа риска и оценки правильности существующих регламентирующих правил.

Так как правильность правил часто ставится под сомнение, были предприняты значительные усилия для исследования этого вопроса. Например, часто вызывает недовольство правило, согласно которому в качестве проектного критерия выдерживания аварийных условий указывается падение упаковки с высоты 30 футов (около 9 метров) на жесткую поверхность. Очень простой расчет быстро приводит к выводу, что падение с высоты 30 футов равносильно удару со скоростью 30 миль/ч (48 км/ч).

Очевидно, что большое число потенциальных аварий происходит при скоростях выше 30 миль/ч (около 50 км/ч); даже при существующем в США ограничении скорости в 55 миль/ч (около 90 км/ч), каждому случалось встречаться с грузовым автомобилем, обгоняющим на скорости 60 или 70 миль/ч (иногда даже 80 миль/ч). Ключом же этого проектного критерия является жесткая мишень.

Что, если?

Вопреки историческому опыту, результатам анализа риска и исследований безопасности в умах некоторых людей еще кроется вопрос: Что, если? Что, если контейнер разгерметизируется в результате чрезвычайно тяжелой аварии? Или, что, если террорист взорвет один из контейнеров? Что случилось бы при этом?

В 1981—1982 гг. была проведена серия испытаний контейнеров для отработавшего топлива для оценки последствий взрыва контейнера. После опробования восьми различных вариантов взрыва был выбран один в качестве стандартного метода для дальнейших испытаний. Этот выбор был сделан на основе анализа доступности используемого снаряжения, вероятности экспериментирования с таким снаряжением и возможности успеха в случае его применения. Затем была проведена серия экспериментов со взрывом транспортного контейнера для отработавшего топлива.

До начала этих исследований было установлено, что примерно 0,7 % всего содержимого контейнера для отработавшего топлива может выделиться за пределы контейнера в виде аэрозольных и газообразных частиц в результате успешного диверсионного акта. Вершиной этой исследовательской программы был взрыв полномасштабного транспортного контейнера, произведенный внутри очень большой камеры.

После сбора всех осколков и проведения анализа пришли к заключению, что количество содержимого, выделяющегося в аэрозольной и газообразной форме, было не 0,7 %, а только 0,0006 %. Если анализ последствий, исходивший из величины 0,7 %, показал возможность сотен случаев ранней смерти и тысяч смертельных случаев рака, то тот же анализ последствий для измеренной утечки показал, что не будет случаев ранней смерти, и ожидается, что среди облученного населения за последующие 30 лет будет 0,2 случая рака. С учетом всех неопределенностей максимальным неблагоприятным образом можно было бы предсказать примерно 14 случаев рака среди облученного населения за то же самое время.

Для этого анализа было выбрано население, проживающее в густо населенном городском районе, для которого в нормальных условиях ожидается частота случаев рака около 250 000 за тот же период. Таким образом, хотя взрыв контейнера с отработавшим топливом и мог бы создать опасную ситуацию, она легко преодолима и не окажет значительного воздействия на население.

Готовность на случай аварии

Несмотря на это, нередко еще проявляется беспокойство относительно того, как муниципальные власти и государственные органы могут реагировать на аварию с радиоактивными веществами и, в особенности, на аварию с отработавшим топливом. Ничто не может быть

так далеко от истины, как широко распространенное мнение, что не существует готовности на случай такой аварии.

Как необходимое условие ежедневных перевозок многих других опасных веществ, существует хорошо организованная по всей территории США система готовности на случай аварии. Эта система работает в трех разных уровнях на трех разных этапах.

Первой на аварию с радиоактивными веществами почти всегда реагирует полиция штата, местная полиция или пожарная охрана. В любом случае их персонал подготовлен для проведения первых защитных мероприятий, связанных с активностью при всех аварийных условиях. Эти органы несут ответственность за проведение мероприятий, необходимых для достижения двух целей. Первая — локализовать ситуацию. Это достигается установлением запретных зон, удалением людей по усмотрению участвующих в послеаварийных мероприятиях органов и попыткой спасти людей от неминуемой гибели (подобно извлечению водителя из горящего грузовика с бензином). Второй задачей этих органов является оповещение аварийного персонала штата, будь то управление гражданской обороны, управление по руководству аварийными мероприятиями, государственная полиция или какой-либо другой, должным образом созданный орган, действующий в данном штате.

С этим оповещением наступает второй этап послеаварийных мероприятий. Участники второго этапа несут ответственность за стабилизацию ситуации и принимают все возможные меры для уменьшения имеющейся опасности. Сюда входят борьба с огнем, нейтрализующие химикаты, создание защитных устройств, препятствующих дальнейшему распространению опасного вещества в воздухе и воде, или другие подобные действия.

На этом втором этапе возможно получение существенной помощи и консультаций со стороны частных предприятий и правительства США. Ассоциация химических производителей эксплуатирует непрерывно действующую систему "Chemtrec", которая служит источником информации для снабжения местных участников послеаварийных мероприятий данными о веществах, вовлеченных в аварию, и выдает рекомендации по методам послеаварийных мероприятий. Кроме того, в Министерстве энергетики США, совместно с некоторыми другими федеральными органами, действует аналогичная система для связанных с обороной ядерных аварий, называемая "JNACC" (Объединенный координационный центр на случай ядерных аварий). Эти службы не только помогают советом, но также за разумное время обеспечивают физическую помощь.

Третьим этапом послеаварийных мероприятий является этап восстановления, осуществляемый коммерческими организациями, задача которых заключается в очистке места аварии и удалении всех опасных веществ.

Литература к этому разделу:

An Assessment of the Safety of Spent Fuel Transportation in Urban Environs, by R.P. Sandoval, J.P. Weber, H.S. Levine, A.D. Romig, J.D. Johnson, R.E. Luna, G.J. Newton, B.A. Wong, R.W. Marshall, Jr., J.L. Alvarez, and F. Gelbard, SAND82-2365, TTC-0398 (June 1983).

A Safety Assessment of Spent Fuel Transportation Through Urban Regions, by R.P. Sandoval, and G.J. Newton, in *Proceedings of Waste Management '82*, University of Arizona (1982).

Transport of Radionuclides in Urban Environs: A Working Draft Assessment, by A.R. Ducharm et al., SAND77-1927, Sandia National Laboratories (May 1978).

Защита населения в случае крупной радиационной аварии: принципы планирования. Труды МКРЗ, публикация № 40, Pergamon Press, Оксфорд (май 1984).

Radioactive Materials Transportation Information and Incident Guidance, US Department of Transportation, DOT/RSPA/MTB-81/4.

Guidance for Developing State and Local Radiological Emergency Response Plans and Preparedness for Transportation Accidents, Federal Emergency Management Agency, FEMA Rep. 5 (March 1983).

Preparedness and Response in Radiation Accidents, US Department of Health, FDA83-8211 (August 1983).

Emergency Response Capabilities Developed in the United States to Deal With Nuclear Materials Transportation Accidents, by S.G. Vandevender, R.T. Reese, and A.H. Shilling, in *Proceedings of GTA International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, Berlin (1980).



„Пациент“ остался цел: Для дальнейшей публичной демонстрации структурной целостности транспортных контейнеров Центральное управление электростанций Великобритании (CEGB) провело в июле 1984 г. испытание стоимостью 2,1 млн. долларов США — транспортный контейнер был сбит передней частью дизельного локомотива, весящего 140 тонн, сцепленного с тремя 35-тонными вагонами и движущегося со скоростью около 160 км/ч. Несмотря на удар, отбросивший контейнер на 60 м, последний получил лишь незначительные повреждения и полностью защитил находящееся в нем содержимое, имитирующее ядерные отходы. Поезд разрушился. (Предоставлено CEGB).

Насколько прочна жесткая поверхность

Правила определяют жесткую мишень как бетонный блок, масса которого как минимум в десять раз превосходит массу сбрасываемой на него упаковки и который покрыт стальной плитой, толщиной по крайней мере в два дюйма (около 5 см), установленной на еще влажный бетон и уплотненной для исключения воздушных карманов между блоком и плитой*. Эти испытания по падению на жесткую мишень в США наиболее часто проводятся в Ок-Риджских Национальных лабораториях, Ок-Ридж, Теннесси. Мишень там выполнена в виде бетонного блока массой 1,2 млн. фунтов (около 345 000 кг), заглубленного в грунт и покрытого стальной плитой толщиной 12 дюймов (30 см). Жесткость даже такой мишени не бесконечна, но она значительно жестче, чем те искусственные или естественные препятствия, которые могут встретиться вдоль железной дороги или шоссе.

Таким образом, когда правила устанавливают скорость, которая кажется нереально низкой, они также требуют нереально жесткой мишени. Возникает вопрос, охватывают ли эти два условия ситуации, возникающие при реальной аварии.

Для разрешения этой проблемы был проведен ряд исследовательских программ. Самые первые из них включали падение двух одинаковых контейнеров на две мишени различной жесткости. В первом случае контейнер массой 16 000 фунтов (около 7300 кг) для отработавшего топлива исследо-

вательского реактора был сброшен с высоты 30 футов на описанную выше жесткую мишень. Хотя контейнер остался целым, были видимые повреждения в форме деформации внешней оболочки и некоторого смещения свинцовой защиты, расположенной между двумя оболочками. Такой же контейнер был сброшен с высоты 2000 футов (610 м) на утрамбованную песчаную почву. Этот контейнер ударился о мишень на скорости 235 миль/ч (375 км/ч), углубившись в почву примерно на 52 дюйма (125 см). Повреждения этого второго контейнера ограничились лишь царапинами на краске*.

При недавних испытаниях, проведенных для оценки зависимости между жесткостью мишени и повреждением упаковок, серия стальных предметов была сброшена с различной высоты на три различные мишени. Мишенями служили утрамбованный грунт, железобетонная плита толщиной 2 фута (61 см) и жесткая мишень. Результаты этих испытаний свидетельствуют о том, что удар при скорости 30 миль/ч в жесткую мишень эквивалентен удару при скорости около 90 миль/ч (145 км/ч) о железобетонную плиту толщиной 2 фута и удару при скорости 120 миль/ч (190 км/ч) о железобетонную плиту толщиной 1 фут (30 см) (примерно соответствует опоре моста)**.

* Air Drop Test of Shielded Radioactive Material Containers, by I.G. Waddoups, SAND75-0276, Sandia National Laboratories (September 1975).

** Relative Response of Type-B Packagings to Regulatory and Other Impact Test Environments, by J.D. McClure, H.R. Yoshimura, R.B. Pope, R.M. Jefferson, R.D. Seagren and L.B. Shaper, in Proceedings of PATRAM-80 (November 1980).

* Справочный материал по применению Правил МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных веществ. Серия изданий по безопасности № 37, МАГАТЭ, (1974 г.).

при ударе о реальные мишени контейнеры должны бы падать с высоты от 270 футов (90 м), что соответствует скорости 90 миль/ч, до 480 футов (146 м), что соответствует скорости 120 миль/ч.

Таким образом, хотя испытание падением с высоты 30 футов кажется неопасным, жесткая мишень увеличивает эффективную скорость до величин, намного превосходящих диапазон скоростей, встречающихся на наземном транспорте.

Испытание контейнеров огнем и в авариях

Все еще существует вопрос, действительно ли испытания отражают условия аварий со сложным набором обстоятельств. Кроме того, существует вопрос относительно возможности аналитическими методами предсказать повреждения, вызываемые такими „реальными аварийными” условиями.

Для оценки аналитических методов и сбора данных об аварийных условиях в 1977 и 1978 гг. была поставлена серия экспериментов, включающая полномасштабные аварии контейнеров для отработавшего топлива, установленных на железнодорожных платформах и автомобильных прицепах*. Используемые контейнеры были изъяты из эксплуатации, так как они не могли больше удовлетворять действующим в то время требованиям обеспечения качества. С этими контейнерами была проведена серия из пяти испытаний, включая две аварии с автомобильным прицепом, перевозящим контейнер для отработавшего топлива.

Тягач врезался в бетонный блок массой 690 тонн в первом случае на скорости 60 миль/ч (96 км/ч), во втором случае — 84 мили/ч (135 км/ч). В этих двух испытаниях использовался один и тот же контейнер, так как при первой аварии контейнер получил только поверхностные повреждения. При второй аварии (скорость 84 мили/ч) контейнер был значительно деформирован, но эта деформация укладывалась в пределы, предсказанные анализом.

При третьем испытании на другой контейнер автомобильного типа для отработавшего топлива, установленный на автомобильном прицепе, налетел 120-тонный локомотив, идущий со скоростью 81 мили/ч (130 км/ч). В результате аварии контейнер перелетел через локомотив и, перевернувшись несколько раз, упал между рельсами. Локомотив разбился, а контейнер получил только незначительные повреждения — вновь в пределах, предсказанных анализом.

При четвертом испытании контейнер железнодорожного типа для отработавшего топлива ударился о ту же мишень массой 690 тонн на скорости 81 мили/ч. В этом случае также состояние контейнера соответствовало предсказанному. Важно отме-

тить, что во всех четырех случаях условия при аварии соответствовали условиям, предсказанным анализом, и проведенным расчетам.

При пятом испытании из этой серии установленный на железнодорожной платформе контейнер для отработавшего топлива вместе с платформой был помещен в бетонный бассейн размером 30х60 футов (9х18 м) с реактивным авиационным топливом типа JP4. Контейнер подвергался воздействию горящего топлива в течение двух часов трех минут. Это испытание огнем производилось в течение длительного периода времени для оценки общего состояния контейнера, а не для моделирования какой-либо реальной аварии.

Для обеспечения испытания такой длительности пришлось сжечь в бассейне примерно 65 000 галлонов (290 тыс. л) топлива. В результате такого длительного пожара весь свинец в контейнере расплавился, температура внутри контейнера возросла до температуры, при которой открылся предохранительный клапан, и пар вышел наружу. И вновь состояние контейнера соответствовало предсказанному тепловым расчетом, выполненным перед экспериментом.

Ни в одном из этих пяти испытаний не было бы значительной утечки радиоактивного вещества в атмосферу, если бы в контейнере перевозилось отработавшее топливо. Проведение этих испытаний дало информацию об аварийных условиях, которая подтверждает вывод о том, что требования правил по условиям испытаний безусловно жестче условий, встречающихся при автомобильных и железнодорожных авариях. Кроме того, эти исследования показали, что с помощью анализа хорошо прогнозируются повреждения, что позволяет с помощью проверенных проектных решений создать подходящий транспортный контейнер.

Прогнозируемый риск

В задачи настоящей статьи не входило убедить в том, что проблем перевозки отработавшего топлива не существует. Скорее она содержит краткое изложение фактической информации, которую отдельные лица могут использовать для формирования рационального отношения в будущем к вопросам безопасности в этой области.

Автор придерживается точки зрения, что обществу следует там расходовать свои ограниченные ресурсы, отпущенные на снижение риска (которые в любом случае идут от налогоплательщика), где они могут принести наибольшую пользу здоровью и благосостоянию граждан. Так как перевозка отработавшего топлива и других радиоактивных веществ имеет такой хороший исторический опыт, сопровождается очень малым риском для населения и в настоящее время регулируется консервативными правилами, то представляется, что она не является тем вопросом, по которому можно спорить о более высоком уровне снижения риска. В конечном счете, этот риск почти не существует.

* Analysis, Scale Modeling and Full-Scale Testing of Shipping Containers for Radioactive Materials, by H.R. Yoshimura and M. Huerta, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, NBS Special Publication 652.