

Коммерческий опыт перевозки отработанного топлива в США*

Р.М. Джефферсон и Дж.Д. Мак-Клур

ВВЕДЕНИЕ

В статье сообщается об опыте США в области перевозки отработанного топлива [1]. Вкратце излагаются политика США в отношении отработанного топлива и опыт коммерческой перевозки отработанного топлива; содержится также обзор транспортных происшествий/аварий в связи с перевозкой отработанного топлива или эксплуатацией подобных транспортных систем, основанный на имеющейся документации Министерства транспорта и Комиссии по регулированию ядерной деятельности США. Подробные данные о перевозках и обработке грузов отработанного топлива в рамках программы по ядерным двигательным установкам ВМС США отсутствуют, можно лишь сказать, что эта программа имеет законченный цикл, включающий применение стандартизированных контейнеров и системы доставки грузов из нескольких портов на перерабатывающий завод.

ПОЛИТИКА В ОТНОШЕНИИ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА И КОММЕРЧЕСКИЙ ОПЫТ В США [2]

В октябре 1977 года Министерство энергетики США объявило о принятии политики хранения отработанного топлива энергетических ядерных реакторов. Согласно этой политике, энергетическим компаниям будет предоставляться возможность помещать отработанное топливо на государственное хранение за определенную плату. Правительство будет также в состоянии принимать на хранение ограниченное количество отработанного топлива от других государств, если это будет способствовать достижению целей нераспространения. Отработанное топливо, переданное правительству США, будет доставляться за счет пользователя к выделенному правительством месту хранения.

В Соединенных Штатах первоначально планировалось, что отработанное топливо будет перерабатываться через несколько месяцев после его извлечения из реактора, и извлеченные уран и плутоний вскоре после этого будут возвращаться в цикл для повторного использования. Отработанное топливо доставлялось на два перерабатывающих завода: завод фирмы "Нуклеар фьюэл сервисис" в Вест-Вэлли, шт. Нью-Йорк (в настоящее время не работает), и завод компании "Дженерал электрик" в Моррисе, шт. Иллинойс. Практическая переработка отработанного топлива производилась только в Вест-Вэлли. Еще один перерабатывающий завод, принадлежащий фирме "Эллайд дженерал нуклеар сервисис", расположен в Барнуэлле, шт. Южная Каролина. Из-за изменения политики правительства в области переработки топлива на завод в Барнуэлле отработанное топливо не поступало.

Завод фирмы "Нуклеар фьюэл сервисис" получил примерно 2000 отработанных топливных сборок, и значительная часть топливного материала была переработана. Хранилище в Вест-Вэлли рассчитано на размещение 925 топливных сборок (реакторов типа BWR или PWR). Завод компании "Дженерал электрик" имеет хранилище, вмещающее примерно 1200 сборок различного вида; емкость хранилища составляет 700 т, и рассматривается вопрос о ее увеличении еще на 1100 т. Приведенные показатели емкости хранилища можно выразить числом топливных сборок, если умножить их

* Работа выполнена по заказу Министерства энергетики США.

Г-да Джефферсон и Мак-Клур — сотрудники Управления технологии перевозки ядерных материалов, лаборатории фирмы "Сандия", Альбукерке, шт. Нью-Мексико, США.

Таблица 1. Характеристики контейнеров, используемых в США для перевозки отработанного топлива

Тип контейнера	Основной вид транспорта	Погруженный вес, т	Емкость, количество сборок (PWR/BWR)	Среда внутри контейнера	Длина/диаметр полости, см	Расчетная мощность тепловыделения, кВт	Основная защита	Нейтронная защита	Число имеющихся контейнеров	Число заказанных контейнеров
NAC-1	Автотранспорт	22,25	1/2	Вода/воздух	452/34,2	11,5	Свинец и сталь	Борированная вода — антифриз	4	—
NFS-4 ^a	Автотранспорт	22,25	1/2	Вода/воздух	452/34,2	11,5	Свинец и сталь	Борированная вода — антифриз	2	—
NLI-1/2	Автотранспорт	21,4	1/2	Гелий	452/32	10,6	Свинец и сталь	Вода	5	—
NLI-10/24	Железная дорога	86,6	10/24	Гелий	404/114	77	Свинец и сталь	Вода	1	—
TN-8	Автотранспорт/железная дорога	35,7	3 (PWR)	Воздух	427/170	35,5	Свинец и сталь	Борированная отвержденная смола	—	4
TN-9	Автотранспорт/железная дорога	33,9	7 (BWR)	Воздух	452/170	21,5	Сталь	Борированная отвержденная смола	—	4
TN-12 ^b	Железная дорога	95,6	12/32	Воздух	465/240	135	Сталь	Борированная отвержденная смола	—	—
GE-IF-300	Железная дорога	60,7	7/16	Вода/воздух	458/95,2	61,5	Уран и сталь	Вода/гликоль	4	—

NAC — "Нуклеар ашуранс корпорейшн".
 NFS — "Нуклеар фьюэл сервисис".
 NLI — "Нэшнл лед компани".
 TN — "Транснуклеар".
 GE — "Дженерал электрик компани".

^a Контейнеры NAC-1 и NFS-4 имеют одинаковую конструкцию.
^b В настоящее время рассматривается заявление о выдаче разрешения на применение контейнера TN-12.

Составлено по:
 US Energy Research & Development Administration, *Alternatives for Managing Wastes from Reactors and Post Fission Operations in the LWR Fuel Cycle*, ERDA-76-43, May 1976, Vol. 3, p. 22.13–22.17.

на 2 в случае закладки на хранение топлива реакторов типа PWR и на 5 при пересчете на топливо реакторов типа BWR.

Фирма "Нуклеар фьюэл сервисис" работала с контейнерами четырех типов: NFS-1, NFS-2, NFS-4 и WECX. Все контейнеры, за исключением типа NFS-4, сняты с эксплуатации. Компания "Дженерал электрик" также работала с контейнерами четырех типов: IF-100, IF-200, IF-300 и NAC-1 (эквивалент NFS-4). Из этих контейнеров только контейнеры типа IF-300 и NAC-1 остались в эксплуатации. Краткие характеристики контейнеров, используемых в США для перевозки отработанного топлива, приведены в табл. 1.

ОПЫТ ПЕРЕВОЗКИ ОТРАБОТАННОГО ТОПЛИВА В США

Перевозку контейнеров с отработанным топливом можно рассматривать как относительно простую операцию, выполняемую обычными организациями-перевозчиками: автотранспортными компаниями или железными дорогами. Среди автотранспортных компаний, осуществляющих перевозки в США, можно выделить компанию "Три-стейт мотор транзит", которая выполнила большое количество рейсов по перевозке. Компания "Три-стейт" располагает парком из десяти автоприцепов, приспособленных для транспортировки контейнеров типа NAC-1, NFS-4, NLI-1/2; эти автоприцепы можно приспособить также для транспортировки контейнеров типа TN-8 и TN-9. Компания "Три-стейт" имеет также автоприцеп для транспортировки специального контейнера, предназначенного для перевозки топлива испытательного реактора "Пич-Боттом I". Другие автотранспортные компании также осуществляли ядерные перевозки или проявили определенный интерес к перевозке ядерных материалов и являются потенциальными перевозчиками в будущем.

Железные дороги США в нескольких случаях предприняли попытку отказаться от перевозки контейнеров с отработанным топливом в соответствии с иными правилами, действующими в отношении тарифа транспортных организаций общего пользования, ссылаясь при этом на то, что такие перевозки связаны с повышенным риском по сравнению с тем риском, который обычно берет на себя перевозчик (это касается как пустых, так и нагруженных контейнеров). Пока тяжба в этой области продолжается, по первым трем случаям было вынесено решение Комитета по межштатному транспорту и торговле. Комитет пришел к заключению, что перевозка контейнеров с отработанным топливом не создает опасность сверх обычной и что железные дороги должны рассматривать перевозку таких систем как перевозку обычных грузов, если контейнеры удовлетворяют всем требованиям к упаковочным комплектам и нормативным требованиям Министерства транспорта и Комиссии по регулированию ядерной деятельности. Все недавно разрешенные к использованию железнодорожные контейнеры США (NLI-10/2 и GE IF-300) снабжены вспомогательными системами охлаждения, устанавливаемыми на железнодорожной платформе, а также комплексом систем крепления; следовательно, для перевозки этих контейнеров используются вагоны специального назначения. Ожидается, что для будущих железнодорожных контейнеров будут созданы железнодорожные вагоны специальной конструкции.

На всех действующих АЭС образуется отработанное топливо, и они являются потенциальными отправителями этого топлива. Некоторые энергетические компании США отправили отработанное топливо на перерабатывающие заводы компаний "Нуклеар фьюэл сервисис" или "Дженерал электрик" или вывезли его на хранение в реакторных бассейнах в рамках одной энергетической компании или группы компаний. Однако большинство компаний США еще не приступило к вывозу отработанного топлива в места хранения за пределами реактора или на перерабатывающие заводы.

Перечень энергетических компаний, которые уже произвели отправку отработанного топлива, приведен в табл. 2. Эта таблица показывает, что всего было перевезено 906 отработанных топливных сборок между бассейнами отработанного топлива в пределах реакторной площадки (т.е. перевозок за пределы площадки не было). Кроме то-

Таблица 2. Первозки отработанного топлива в США (составлено "Фьюэл-трек", "Нуклеар ашуранс корпорейшн", сентябрь 1979 г.)

Энергетическая компания/реактор	Число перевезенных сборок	Годы
"Кэролайна пауэр энд лайт"		
Г. Б. Робинсон — Брансуик	56	1977-1978
	126	1978-1979
	(перевозка продолжается, пока не будут перевезены 304 сборки)	
Г. Б. Робинсон — INEL	1	1975
Брансуик 2 — Брансуик 1	144	1978
"Коммонуэлс Эдисон"		
Дрезден 1 — NFS	181	1964
	97	1966
	200	1967
	106	1969
	96	1970
	96	1971
	113	1973
Дрезден 1 — GE-Валлеситос	1	1964
Дрезден 1 — Саванна-Ривер	8	1964
Дрезден 1 — V&W-Линчберг	1	1973
Дрезден 1 — INEL	2	1973
	1	1978
Дрезден 2 — GE-Моррис	244	1976
	509	1976-1977
Дрезден 2 — BCL	1	1976
"Коннектикут янки атомик пауэр компани"		
Конн-янки — GE-Моррис	80	1974-1975
"Консолидейтед Эдисон компани"		
Индиан-Пойнт 1 — NFS	124	1966-1969
	80	1969
	40	1971-1972
"Консьюмерс пауэр компани"		
Биг-Рок-Пойнт — NFS	48	1970
	139	1971
	72	1973
	13	1974
"Дейриленд ко-оператив"		
Ла-Кросс — Саванна-Ривер	1	1973
Ла-Кросс — GE-Моррис	8	1979
"Дьюк пауэр компани"		
Окони — V&W-Линчберг	1	1975
(и обратно)	1	1976
	2	1978

Энергетическая компания/реактор	Число перевезенных сборок	Годы
Окони — Кристал-Ривер	4	1978
Окони — Окони	131	1976-1977
	153	1978-1979
"Флорида пауэр энд лайт компани"		
Терки-Пойнт — Терки-Пойнт	206	1976-1977
	272	1977-1978
Терки-Пойнт — BCL	5	1978
"Джерси сентрал пауэр энд лайт компани"		
Ойстер-Крик — NFS	224	1975
"Пасифик гэс энд электрик компани"		
Гумбольт-Бэй — NFS	270	1971
"Филадельфия электрик"		
Пич-Боттом 2 — INEL	2	1976
"Рочестер гэс энд электрик"		
Р.Э. Гинна — NFS	121	1973-1975
"Саузерн Калифорния Эдисон"		
Сан-Онофре — GE-Моррис	74	1972-1973
	21	1975
	55	1976
	104	1977-1978
(бюджет продолжена в 1979 г.)		
"Висконсин электрик пауэр компани"		
Пойнт-Бич — NFS	44	1974
	76	1975
Пойнт-Бич — GE-Моррис	34	1975
	38	1976
	35	1977
Пойнт-Бич — BCL	2	1976-1977
(и далее GE-Моррис)	2	
"Янки атомик пауэр компани"		
Янки-Роу — NFS	74	1964
	39	1965
	37	1966
	38	1967
	36	1968
	36	1970
	36	1971
	36	1972

Сокращения:

INEL — Национальные инженерные лаборатории шт. Айдахо
 NFS — "Нуклеар фьюэл сервисис"
 GE — "Дженерал электрик"

B&W — "Бэбкок энд Уилкоккс"
 BCL — Баттелл, Колумбийские лаборатории

го, 3891 сборка отработанного топлива была отгружена с площадок реакторов в другие места.

До настоящего времени отгрузка высокоактивных отходов, образующихся в связи с осуществлением коммерческих ядерных топливных циклов, в Соединенных Штатах не производилась. Высокоактивные отходы, образующиеся в результате осуществления оборонной программы США, накапливались и хранились на специальных государственных площадках и, следовательно, не перевозились транспортными организациями общего пользования.

ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОИСШЕСТВИЯ/АВАРИИ

С 1971 года в Соединенных Штатах действует единая система отчетности об авариях, связанных с перевозкой опасных веществ (охватывающая все виды транспорта); правила Министерства транспорта требуют соблюдения этой отчетности, и перевозчики опасных веществ обязаны сообщать о всех транспортных происшествиях в Министерство транспорта. Отчетность предусматривает представление данных о смертельных случаях, случаях увечья, нанесения ущерба имуществу и — при перевозке радиоактивных веществ — предполагаемое радиоактивное загрязнение. Общее число таких аварий, связанных с перевозкой опасных материалов, в период с 1971 по 1978 год включительно приводится в табл. 3.

Таблица 3. Суммарные данные об авариях, связанных с перевозкой опасных материалов, в период с 1971 по 1978 год

	1971-1975 гг.	1976 г.	1977 г.	1978 г.	Всего (1971-1978 гг.)
Радиоактивные вещества	144	62	93	90	389
Все другие опасные вещества	31874	12001	15384	18058	77312
ИТОГО	32018	12063	15477	18143	77701

Первоначально была подготовлена подробная сводка отчетов об авариях, связанных с перевозкой опасных веществ, за период с 1971 по 1975 год [3]; в настоящее время этот анализ продолжают сотрудники лабораторий фирмы "Сандия" с учетом данных по 1978 год. Грелла [3] отмечает, что автомобильный и железнодорожный транспорт, то есть виды транспорта, связанные с перевозкой отработанного топлива, представили 70 из 144 отчетов об авариях, связанных с перевозкой опасных веществ. Из этих 70 отчетов об авариях в 24 отчетах отмечалась утечка радиоактивных веществ. Здесь важно отметить некое различие, которое можно обнаружить только при тщательном изучении отчетов об авариях и всей сопутствующей документации; оно заключается в том, что не все происшествия с опасными веществами являются транспортными авариями. Например, детальное изучение отчетов показывает, что значительное число отмеченных случаев связано с незначительным загрязнением контейнера или трейлера в ходе нормальных (безаварийных) транспортных операций.

Выводы, содержащиеся в работе [3], основаны на опыте США в период с 1971 по 1975 год, и в них отмечается, что аварии с радиоактивными веществами составляли очень небольшую долю от общего числа всех аварий с опасными веществами. Суммарные данные за период по 1978 год также подтверждают эти выводы, так как ава-

Таблица 4. Транспортные аварии в США, связанные материалами топливного цикла* (1978 г.) [4]

Дата аварии	Описание происшествия/ аварии	Вид транспорта	Материал/ груз	Описание упаковки	Загрязнение/ облучение
Февраль, 1978 г.	Деформирован трейлер	Автомобильный	Облученное смешанное окисное топливо	Контейнер для отработанного топлива	Отсутствует
Февраль, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Февраль, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Февраль, 1978 г.	Падение упаковки с грузовика	Автомобильный	Обезвоженные смолы	Упаковка, утвержденная Министерством транспорта	Отсутствует
Март, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки отходов	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Апрель, 1978 г.	Опрокидывание грузовика	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки радиоактивных отходов	Отсутствует
Май, 1978 г.	Потеряна крышка контейнера	Автомобильный	Низкоактивные отходы	Фанерный ящик	Отсутствует
Май, 1978 г.	Неправильная упаковка	Автомобильный	Жидкостные фильтры	Упаковка, утвержденная Министерством транспорта	Отсутствует
Май, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Отработанное топливо	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера

Дата аварии	Описание происшествия/ аварии	Вид транспорта	Материал/ груз	Описание упаковки	Загрязнение/ облучение
Июль, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Твердые отходы обедненного урана	Барабан емкостью 55 галл.	Легкое загрязнение только грузовика
Июль, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Июль, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Отработанное топливо	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Август, 1978 г.	Контейнер сломал опорную раму грузовика	Автомобильный	Порожний рейс	Контейнер для перевозки радиоактивных отходов	Отсутствует
Август, 1978 г.	Опрокидывание грузовика	Автомобильный	Отвержденные реакторные отходы	Барабан емкостью 55 галл.	Отсутствует
Август, 1978 г.	Аварии не произошло	Автомобильный	Отработанное топливо	Контейнер для перевозки отработанного топлива	Легкое загрязнение внешних поверхностей контейнера
Сентябрь, 1978 г.	Подъемная скоба проломилась настил рамы трейлера	Автомобильный	Загрязненная подъемная скоба	—	Отсутствует
Декабрь, 1978 г.	Опрокидывание грузовика	Автомобильный	Отвержденные отходы обедненного урана	Металлические барабаны	Отсутствует
Декабрь, 1978 г.	Воздействие низкой температуры	Автомобильный	Низкоактивные отходы	Барабан емкостью 55 галл.	Легкое загрязнение только грузовика

* Только конечный этап топливного цикла.

рии с радиоактивными веществами составляют лишь 0,5% от общего числа аварий с опасными веществами. Утечки, отмеченные в работе [3], часто были связаны с упаковками типа А, содержащими такие ограниченные количества радиоактивных веществ, что, если бы даже в результате транспортной аварии и произошла полная утечка содержимого упаковок, это не могло бы привести к существенным радиологическим последствиям. Упаковки типа А, конечно, не обладают такой прочностью, как массивные упаковки для отработанного топлива.

В лабораториях фирмы "Сандия" материалы Министерства транспорта и Комиссии по регулированию ядерной деятельности в настоящее время изучаются с тем, чтобы дополнить работу Греллы последними данными. Это исследование еще не закончено, однако сводка данных о некоторых недавних транспортных происшествиях с отработанным топливом или подобными системами, происшедших в США с января 1978 года, приводится в табл. 4. Данные, сведенные в эту таблицу, взяты из документов Комиссии по регулированию ядерной деятельности и касаются происшествий, связанных с перевозкой всех классов радиоактивных веществ, имевших место в 1978 году. Таблица показывает, что, как упоминалось выше, объемы перевозок отработанного топлива очень незначительны и что автомобильный транспорт преобладает среди данных об авариях. (Это и следует ожидать, так как по железной дороге осуществляется мало перевозок). При этих транспортных авариях радиологическая опасность для здоровья человека была незначительной или ее не было совсем. Детальное изучение отчетов об авариях с опасными веществами показывает, что во многих случаях авария заключалась в "выпотевании" поверхностного загрязнения в ходе нормальной (безаварийной) транспортировки.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Главной целью настоящей статьи было представить информацию об имеющемся в США опыте перевозок отработанного топлива. Ограниченное число перевозок отработанного топлива коммерческих реакторов отражает политику США в этой области. (До настоящего времени перевозки коммерческих высокоактивных отходов не производились). Так как радиоактивные вещества перевозятся в утвержденных упаковочных комплектах при выполнении коммерческих транспортных операций, был проведен обзор некоторых недавних аварий на транспорте, связанных с перевозкой этих веществ. Авторы отмечают, что эти аварии, имевшие место в недавнем времени, привели к очень незначительному радиоактивному загрязнению или облучению (в большинстве случаев такие последствия не наблюдались вообще). Это обзорное исследование является предварительным; оно представляет собой часть продолжающихся в настоящее время работ по составлению таблиц данных об авариях при перевозках радиоактивных веществ и оценке статистики, а также по определению характера транспортных аварий в целом. Предполагается, что после завершения этого анализа транспортных аварий можно будет дать окончательное заключение относительно числа значительных утечек, которые имели место в США из упаковок типа В, используемых для перевозки отработанного топлива или высокоактивных отходов; в настоящее время сведений о таких авариях не имеется. Эта информация в сочетании с более детальным анализом риска позволит систематично определять риск, связанный с операциями по перевозке радиоактивных веществ.

Литература

- [1] A.K. BHATTACHARYYA et al., *Spent Fuel Casks and Handling Systems in the United States*, IEAL-78/003-02/1, International Energy Associates Limited, 2600 Virginia Ave., NW, Washington, DC (November 1978).
- [2] *Draft Environmental Impact Statement, Storage of US Spent Power Reactor Fuel*, DOE/EIS-0015-D, US Department of Energy (August 1978).
- [3] A.W. GRELLA, "A Review of Five Years Accident Experience in the USA Involving Nuclear Transportation (1971-1975)", IAEA-SR-10/5, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (August 1976).
- [4] US Nuclear Regulatory Commission, (March 1979).