

Европейский опыт перевозки облученного топлива легководных реакторов

Х. У. Кертис

Служба перевозок облученного топлива освобождает оператора реактора от необходимости решения ряда проблем, связанных с выбором контейнеров (в соответствии с международными и национальными нормами), технической помощью при подготовке к эксплуатации контейнеров и в ходе соответствующих операций по их эксплуатации и загрузке, страхованием и выполнением требований о возмещении ядерного ущерба, ведением полной документации и выполнением таможенных формальностей, перевозкой груженых и пустых контейнеров между реактором и перерабатывающим заводом в соответствии с согласованными программами. В данной статье рассматриваются различные аспекты службы перевозок.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРА

При любом обсуждении конструкции контейнера могут быть выдвинуты аргументы в пользу контейнеров, в которых средой передачи внутреннего тепла является воздух при атмосферном или слегка пониженном давлении (*сухие контейнеры*) или вода (*влажные контейнеры*), в пользу легких контейнеров, предназначенных для перевозок на автотранспорте, или в пользу тяжелых контейнеров, предназначенных для перевозок главным образом железнодорожным или морским транспортом с последующей доставкой на автотранспорте по маршрутам небольшой протяженности в случаях, когда реактор или перерабатывающий завод не имеют подъездной железнодорожной ветки. При решении вопроса об использовании тяжелых контейнеров выбор производится между контейнерами весом около 75 т и большими контейнерами весом до 100 т типа "Джамбо". Опыт перевозки облученного топлива легководных реакторов в течение последних 11 лет показывает, что ни один из вариантов не является идеальным во всех возникающих ситуациях. Существующий европейский парк контейнеров включает все указанные варианты.

МЕТОДЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТОПЛИВА В УИНДСКЕЙЛ

Облученное топливо перевозилось автомобильным, железнодорожным и морским транспортом. Выбор метода перевозки диктовался в основном географическим расположением перерабатывающего завода и реактора. Контейнеры отправлялись в Уиндскейл с площадок реакторов различными методами: путем прямой погрузки на зафрахтованное судно на площадке, путем перевозки по шоссе до ближайшего порта для погрузки на зафрахтованное судно, путем погрузки в железнодорожный вагон, который направлялся прямо в Уиндскейл, или погрузки на автомобильный прицеп, который также направлялся прямо в Уиндскейл. Сведение к минимуму числа перегрузок между видами транспорта обладает значительными техническими и экономическими преимуществами. Перегрузка с автомобильного на железнодорожный или морской транспорт требует применения дорогостоящих

Г-н Кертис является генеральным управляющим фирмы "Ньюклевэр транспорт лимитед", Рисли, Уоррингтон, Соединенное Королевство.

кранов большой грузоподъемности и тщательного наблюдения за креплением после перегрузки. Для грузов, отправляемых с континентальной части Европы в Уиндскейл, перевозка одним видом транспорта может быть осуществлена только с помощью тяжелых контейнеров в случаях, когда к площадке реактора подходит железнодорожная ветка, или легких контейнеров, погруженных на автоприцеп. Для осуществления автомобильных перевозок привлекаются, насколько это возможно, местные подрядчики, обеспечивающие тягачи для перевозки полуприцепов. К концу 1978 года распределение методов перевозки было следующим.

Перевозка контейнеров зафрахтованным судном	53
Перевозка контейнеров железнодорожным паромом	36
Паромная перевозка с судами с горизонтальной погрузкой	60

Большинство перевозок, осуществляемых в Уиндскейл, было выполнено с применением тяжелых контейнеров (рис. 1). Из общего количества 267 т европейского топлива, перевезенного в Уиндскейл к концу 1978 года, 209 т было перевезено в контейнерах весом около 65 т; из общего числа 149 перевозок 60 были осуществлены с применением легких контейнеров весом менее 40 т. Все будущие перевозки в Уиндскейл будут осуществляться по железной дороге между портом прибытия и площадкой.

МЕТОДЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТОПЛИВА В ЛА-АГ

В среднесрочных планах все контейнеры должны доставляться в Ла-Аг автотранспортом, по крайней мере на конечном отрезке пути. Из 350 контейнеров с топливом легководных реакторов, доставленных в Ла-Аг, 312 были полностью перевезены автотранспортом с применением легких контейнеров (рис. 2).

Существует тенденция перевозки облученного топлива в тяжелых контейнерах по железной дороге. Легкие контейнеры, перевозимые автотранспортом по всему маршруту, будут применяться в случаях, когда географические условия указывают на значительные преимущества перевозки этим видом транспорта. Однако, если реактор не связан с железнодорожной сетью, основной проблемой, с которой придется столкнуться, будет перевозка тяжелых контейнеров по шоссе к ближайшей железнодорожной ветке, где должен быть арендован или сооружен специальный кран. В большинстве случаев стоимость доставки тяжелого передвижного арендованного крана из ближайшего депо, которое может находиться на значительном расстоянии от реактора, будет такова, что окажется оправданным сооружение стационарного крана. Технически возможны и другие решения, такие, как применение железнодорожных вагонов, у которых железнодорожные тележки могут быть заменены шоссейными тележками, однако минимальная длина железнодорожного вагона — 21 м — приводит к тому, что шоссейное транспортное средство оказывается чрезвычайно неуклюжим и может оказаться не в состоянии преодолеть подъездные дороги к реактору. Более того, стандартный вагон, предназначенный для передвижения по железной дороге со скоростью 100 км/ч, представляет собой менее прочную конструкцию, чем громоздкие специальные транспортные средства, обычно применяемые при таких железнодорожных/шоссейных перевозках. К сожалению, при сооружении многих реакторов до сих пор не предусматривается железнодорожная перевозка облученного топлива.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА

Перевозка облученного топлива является деятельностью, о которой мало задумывается европейская атомная промышленность. Возможно, причина этого заключа-

ется в том, что служба перевозок работала успешно. Однако иногда ошибочно считается, что эта служба функционирует успешно, поскольку она не испытывает затруднений. Действительно, многие ранее существовавшие проблемы компенсации за ядерный ущерб, страхования, таможенной очистки, наличия MB 10, регулирующих разрешений со стороны многих различных органов (в некоторых случаях требуется более двадцати разрешений на кампанию реактора) решались по мере накопления опыта и "ноу-хау". Тем не менее еще остается множество нерешенных проблем, и по мере разрешения старых проблем возникают новые. Некоторые из наиболее часто встречающихся проблем излагаются ниже.

Отложения

При конструировании контейнеров исходят из предположения, что окисные урановые топливные элементы с циркаловой оболочкой после извлечения из реактора будут иметь чистую поверхность. На практике поверхность топливных элементов почти всех реакторов типа BWR и некоторых реакторов типа PWR покрыта толстым слоем отложений, которые отделяются от топлива при погрузке и транспортировке и при разгрузке на перерабатывающем заводе. Эти отложения постепенно накапливаются между двумя стенками контейнеров с составной конструкцией стенки, а также внутри и вокруг отверстий контейнера, увеличивая облучение персонала, участвующего в операциях по обращению с контейнерами. Решение этой проблемы, принятое в Уиндсдейле, заключалось в помещении топлива в "бутылки", которые загружаются внутрь контейнеров; эти "бутылки" можно промывать в резервуаре с целью удаления отложений перед съемом крышки "бутылки" при выгрузке топлива из контейнера. Однако применение "бутылей" уменьшает емкость контейнера до 30%. В Ла-Аг в меньшем масштабе используются контейнеры с составными стенками, а доставляемое топливо преимущественно представляет собой топливо реакторов типа PWR. Поэтому применяется интенсивная промывка перед разгрузкой. После загрузки контейнера производятся измерения активности воды и выдается соответствующее разрешение, удостоверяющее пригодность топлива для отправки в Ла-Аг.

Поврежденное топливо

Перерабатывающие заводы обычно не принимают поврежденное топливо. В тех случаях, когда такое топливо принималось ранее, оно перевозилось в герметичных капсулах, которые не надо было открывать до помещения в бассейн перерабатывающего завода. Увеличенное поперечное сечение такой капсулы обычно требует новой внутренней корзины контейнера, и емкость контейнера может уменьшиться на 40%.

Критерии критичности

Правила МАГАТЭ по безопасной перевозке радиоактивных веществ содержат основные требования, предъявляемые к критичности транспортных контейнеров, используемых для облученного топлива. Из-за огромного количества и разнообразия контейнеров и видов топлива, получаемых перерабатывающими заводами, появилась тенденция к ужесточению критериев. Эти критерии, которыми пользуются перерабатывающие заводы, требуют, чтобы не вводилась поправка на облученность топлива, хотя значение $K_{эфф}$ не должно превышать 0,95 при трех среднеквадратичных отклонениях. В некоторых случаях эта тенденция будет приводить к ограничению полезной емкости контейнера до величины, которая будет меньше количества топлива, физически вмещающегося в контейнер.



Рисунок 1. 75-тонный контейнер типа NTL 11, установленный на автомобильном транспорте.



61 Рисунок 2. 36-тонный контейнер типа NTL 8 на автомобильном прицепе.

Загрязнение контейнера

Внешнее загрязнение контейнеров привело к появлению проблемы, обусловленной "выпотеванием" загрязняющих веществ как из лакокрасочного покрытия, так и поверхностей из нержавеющей стали спустя много часов после того, как поверхности были дезактивированы и признаны чистыми. Хотя эту проблему можно решить путем первоначальной очистки контейнера до одной десятой допустимого уровня загрязнения с тем, чтобы последующее "выпотевание" не превышало предельный уровень, однако лучшим решением является защита поверхности контейнера от контакта с загрязненной водой бассейна путем использования пластиковых или металлических юбок или съемных липких покрытий. Разработана жесткая металлическая юбка, закрывающая всю оребренную поверхность контейнера; эта юбка применяется на перерабатывающем заводе в Ла-Аг и на некоторых реакторах.

Доступ к реактору

О трудностях доступа транспорта к площадке реактора уже упоминалось ранее, но не менее сложные проблемы могут возникать при транспортных операциях внутри реакторного здания. При проектировании реакторов первого поколения уделялось мало внимания вопросам транспортировки облученного топлива и перемещения контейнеров в здании. Эти реакторы накладывают непреодолимые ограничения на такие важные характеристики, как длина и вес контейнера. Маршрут перемещения контейнера от транспортного средства к реактору не является прямым и иногда проходит вне рабочей зоны крана, что приводит к необходимости горизонтальной буксировки контейнера. Сегодня можно привести примеры строительства новых реакторов, когда, хотя на площадке и имеется подъездная железнодорожная ветка, минимально возможная длина железнодорожных вагонов, на которых можно перевозить тяжелый контейнер, превышает размеры воздушного шлюза. В других случаях вагон помещается в шлюзе, но не может быть установлен так, чтобы к подъемной стреле крана можно было присоединять контейнер для перевода его из горизонтального положения в вертикальное.

Обслуживание транспортных средств

В условиях, когда остановка транспортного средства на обочине дороги для замены проколотой шины часто преподносится средствами массовой информации как "ядерная авария", важно чтобы в целях предотвращения поломок в пути техническое обслуживание транспортных средств осуществлялось на максимально высоком уровне. Хотя речь в данном случае идет ни о чем ином, как о хорошо организованной эксплуатации транспорта, необходимо, чтобы высокое качество обслуживания обеспечивалось для всех транспортных средств и вспомогательного оборудования.

Эксплуатационный контроль

Помимо эксплуатационных и технических проблем, из-за международного характера перевозок облученного топлива возникают организационные проблемы. Перевозки выполняет международная компания ("Ньюклар транспорт лимитед"), которая зарегистрирована в Англии, где расположена ее штаб-квартира. Однако компания не смогла бы выполнять свои функции со своей базы в Соединенном Королевстве без помощи персонала, размещенного в Париже и Ханану. Совместно со штаб-квартирой в Соединенном Королевстве эти отделения поддерживают тесные

Рисунок 3. Специальный железнодорожный вагон, разработанный для перевозки контейнеров с облученным топливом. ►



контакты с теми реакторами, в отношении которых они имеют установленные проектом обязанности, получают разрешения и осуществляют повседневный контроль транспортных операций. Техническая помощь также может быть легко обеспечена одним из этих трех центров. Перевозчик выступает в роли связующего звена между перерабатывающим заводом и реактором и должен стремиться к удовлетворению требований обеих сторон. Действительно, практически невозможно было бы надеяться на успешное осуществление перевозок облученного топлива без тесного взаимодействия между перерабатывающим предприятием и перевозчиком по техническим, эксплуатационным и программным вопросам. По этой причине переработка и транспортировка выступают на рынке как единая услуга, и было бы неблагоприятно разделять эти два вида деятельности.

При составлении программ перевозки для двадцати одного реактора также возникают значительные проблемы. Оценка потребностей в контейнерах производится по крайней мере за два года вперед и определяет необходимые транспортные мощности. Транспортные операции планируются в соответствии с потребностями реакторов в вывозе каждой партии выгруженного топлива до следующей остановки. Планируются дополнительные емкости контейнеров в размере примерно 40% от основных для компенсации потребностей в связи с обслуживанием, накладками в программах реакторов, для которых используются одни и те же контейнеры, и с целью учета других непредвиденных обстоятельств. Система работает удовлетворительно до тех пор, пока не происходит серьезных срывов, таких, как полная неспособность перерабатывающего завода осуществить разгрузку по техническим или иным причинам. После того как проблема решена, выясняется, что имеющиеся емкости контейнеров оказываются недостаточными до тех пор, пока не ликвидированы задолженности в выполнении заказов и не восстановлено равновесие. В эти трудные периоды обнаруживается, что имеющийся парк контейнеров слишком мал.

БЕЗОПАСНОСТЬ

Перевозка облученного топлива выполняется в соответствии с изданными МАГАТЭ "Правилами безопасной перевозки радиоактивных веществ", которые обсуждаются в другой статье данного выпуска. Для приведения статистики по безопасности перевозки облученного топлива не требуется много времени, так как аварий не было, и большая заслуга в этом должна быть признана за правилами МАГАТЭ. Правила в редакции 1973 года требуют уменьшения допустимой величины утечки радиоактивности до уровня, стоящего на грани технической осуществимости, что обусловило дальнейшее ужесточение процедур и повышение требований в отношении факторов безопасности.

БУДУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ

Из 350 рейсов по перевозке окисного топлива в Ла-Аг 312 рейсов были выполнены с применением легких контейнеров, которые транспортировались по шоссе дорогам с полезным грузом около 1,2 т урана. Такая система обеспечивает эффективность и экономичность перевозок. Однако положение быстро меняется в результате давления, оказываемого перерабатывающими предприятиями и операторами реакторов, в целях уменьшения до минимума числа контейнеров, используемых для перевозки выгруженного топлива, в расчете на каждую выгрузку реактора. В ответ на это давление были разработаны тяжелые контейнеры весом от 75 до 100 т

◀ **Рисунок 4. 100-тонный контейнер типа NTL 12 в момент погрузки на железнодорожную вагон-платформу.**

и емкостью от 1,2 до 5 т урана (рис. 4). Эти тяжелые контейнеры могут перевозиться только железнодорожным или морским транспортом, и ограничивающими факторами становятся размеры и форма железнодорожного профиля или габарит. Введение тяжелых контейнеров потребовало также разработки специальных восьмиосных железнодорожных вагонов, способных перевозить такие грузы со скоростью обычных грузовых поездов (рис. 3).

Часто задают вопрос, почему европейский парк контейнеров насчитывает так много типов и почему не обеспечена стандартизация контейнеров. Перевозчик был бы рад эксплуатировать только один тип контейнеров, но это технически невозможно даже в отношении наиболее современных реакторов. Контейнер, имеющий оптимальную конструкцию для пяти реакторов типа PWR фирмы "Крафтверк унион", ФРГ, был бы неприемлем по длине и весу для западногерманских реакторов типа BWR. Контейнер, являющийся оптимальным для других реакторов типа PWR и BWR, не мог бы использоваться ни на одном из более ранних реакторов, таких, как "Гундремминген", "Обригхейм", "Сена", "Сорита", "Гарильяно" и "Трино".

Тем не менее в настоящее время имеется тенденция к использованию одного типа тяжелых контейнеров для каждого перерабатывающего завода при наличии дополнительного небольшого количества легких контейнеров, предназначенных для специальных случаев. Старые контейнеры или контейнеры аналогичной конструкции будут, однако, все еще необходимы для обслуживания множества существующих реакторов.

В период, когда только начинались перевозки облученного топлива, был необходим небольшой парк многоцелевых контейнеров, которые можно было бы быстро переключать с одного реактора на другой. Конечно, закрепление одного или двух контейнеров за отдельными реакторами привело бы к крайней неэкономичности перевозок, а полный парк контейнеров был бы намного больше, чем требовалось. Тенденция к стандартизации контейнеров будет теперь сопровождаться стремлением к закреплению определенных контейнеров для обслуживания определенных стран и в конечном счете для обслуживания определенных энергосистем, предприятий или реакторов. Эта тенденция является естественным следствием того, что ежегодно выгрузка топлива из современного реактора почти в пять раз превышает тоннаж выгрузки небольшого реактора первого поколения, и это оправдывает закрепление одного или двух контейнеров за одним реактором. При увеличении размеров парка контейнеров резерв емкости, равный 40%, представляет собой намного больший ресурс, чем тот же резерв в период, когда парк состоял из меньшего числа контейнеров, и будет обеспечивать более широкие возможности при компенсации нарушенный планового графика.

В течение последних одиннадцати лет международные перевозки облученного окисного топлива в Европе выполнялись успешно при наличии на перерабатывающих заводах достаточных разгрузочных мощностей. Масштабы операций будут расти по мере ввода в строй новых реакторов. Соответствующее увеличение парка контейнеров и резерва емкостей, тенденция к увеличению размеров контейнеров и их стандартизации помогут улучшить гибкость и эффективность системы перевозок.