

Семь воздушных перевозок ОЯТ в упаковке типа В. Подведение итогов

М.Е. Буду, С.Н. Комаров, С.В. Комаров (ООО НПФ «Сосны», Дмитровград и Москва, Российская Федерация)
К. Аллен (ДЭ США/Национальная лаборатория Айдахо, Айдахо-Фолс, США)
С.Д. Мозес (ДЭ США/Национальная лаборатория Окридж, Окридж, США)
Е.Н. Лазарев (АК «Волга-Днепр», Ульяновск, Российская Федерация)

1. Введение

Гражданская авиация и атомная энергетика имеют множество схожих аспектов, касающихся безопасности: общие подходы к культуре безопасности, аналогичные системы обеспечения качества, те же цели безопасности эксплуатации – отсутствие каких-либо инцидентов, вредных для населения. Например, по данным Агентства по Атомной Энергии при Организации Экономического Сотрудничества и Развития, в ядерной отрасли установленные регулируемыми и лицензирующими органами и конструкторскими организациями ограничения по частоте крупных выбросов РВ на ранней стадии аварии варьируются в интервале 10^{-5} – 10^{-7} в год [1], а в гражданской авиации частота аварий в мире, по данным ИКАО 2010, составляет $4 \cdot 10^{-6}$ (4 аварии на 1 млн. вылетов) [2].

Однако ни одно из установленных ограничений не может гарантировать абсолютной безопасности. Аварии случаются в любом случае, и этот факт был доказан предыдущим плачевным опытом как в ядерной промышленности, так и в гражданской авиации, а именно, последней ядерной аварией на АЭС Фукусима (март 2011 г.) и крупнейшей воздушной аварией в Нью-Йорке (сентябрь 2001 г.). Освещение в средствах массовой информации показало, что эти события вызывают самый глубокий отклик и широкий общественный резонанс. Каждый раз за этими происшествиями следовали развернутые отраслевые ответы, которые были конкретизированы в новых подходах к безопасности, в новых мерах ликвидации последствий аварии, в улучшении систем безопасности и качества в этих отраслях промышленности. Например, после Чернобыльской аварии МАГАТЭ определило концепцию культуры безопасности, и началась новая эра усовершенствований безопасности; после аварии на Фукусиме были проведены испытания в тяжелом режиме (т.н. стресс-тесты) на многих действующих АЭС, некоторые из них привели к дорогостоящим усовершенствованиям безопасности, внедряемых во всей мировой промышленности. Начиная с 2000 года авиационная отрасль достигла значительных успехов в обеспечении безопасности перевозок по воздуху, значительно снизив (более чем на 50%) количество тяжелых аварий путем разработки новых систем безопасности самолетов и управления полетами, а также Универсальной программы аудитов по надзору за технической безопасностью. После сентября 2001 года были предприняты большие усилия и достигнуты значительные результаты в плане охраны воздушных перевозок путем разработки новых стандартов и Универсальной программы аудитов по обеспечению мер безопасности полетов, а также усовершенствования систем.

На этом фоне ещё ряд стран готовятся запустить мирные ядерные программы, но во всем мире только несколько стран имеют технологии обогащения урана и переработки отработавшего топлива. Многие устаревшие ядерные энергетические и исследовательские реакторы будут выведены из эксплуатации. В настоящее время разрабатываются центры временного и окончательного хранения высокоактивных отходов и отработанного ядерного топлива, и, возможно, некоторые из них будут обслуживать несколько стран. Таким образом, количество и сложность перевозок радиоактивных материалов будут быстро расти, и, следовательно, осуществление контроля их безопасности и выполнения графиков будет более затруднительным.

В рамках Программы возврата топлива российского производства зарубежных исследовательских реакторов (RRRFR) было осуществлено несколько перевозок ядерных материалов. Целью Министерства энергетики США, финансирующего программу, являлось уменьшение запасов высокообогащенного урана (ВОУ) и содействие соответствующим странам в переводе своих исследовательских реакторов с ВОУ на низкообогащенный уран (НОУ). За период 2003–2013 гг. осуществлено более 50 перевозок необлученного и отработавшего топлива в РФ.

ВОУ отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) было вывезено из 13 стран: Беларусь, Болгария, Вьетнам, Венгрия, Казахстан, Латвия, Ливия, Польша, Румыния, Сербия, Украина, Узбекистан и Чехия.

Все ВОУ ОЯТ вывозилось на переработку на одно предприятие – ФГУП «ПО «Маяк» – с применением двух комплектов контейнеров типа В: 20 российских ТУК-19 и 16 чешских SKODA VPVR/M. ТУК-19 был сертифицирован для воздушных перевозок, выполняя требования по ограничению активности не более 3000 А_2 для упаковок типа В [3].

В 2009 году были осуществлены две воздушные перевозки ВОУ ОЯТ в упаковке типа В из Румынии и Ливии в Россию; еще 2 из Узбекистана были осуществлены в 2012 году. В 2012 году также были реализованы 3 воздушные перевозки НОУ ОЯТ из Румынии в Россию вне программы RRRFR.

В настоящем докладе рассматриваются аспекты обеспечения безопасности воздушных перевозок ОЯТ в упаковках типа В и анализируются итоги выполненных перевозок.

2. Обзор безопасности воздушных перевозок

Анализ частоты авиационных происшествий в мире за последние 20 лет, выполненный Фондом безопасности полетов (ФБП), показал, что средняя цифра за 2000–2009 гг. свидетельствует о заметном улучшении по сравнению со средним значением в 90-х годах. Статистика ФБП по частоте серьезных аварий с участием западных реактивных самолетов выглядит следующим образом:

- 1990–1994: 1,32 аварий на 1 млн. вылетов.
- 1995–1999: 1,06.
- 2000–2004: 0,58.
- 2005–2009: 0,55.

В 2010 году частота аварий с повреждением фюзеляжа для перевозчиков-членов ИАТА, эксплуатирующих западные реактивные самолеты, снизилась до рекордного за все время значения 0,28 на 1 млн. полетов (см. рис.1), в то время как общемировое среднее значение составляет 0,66 [4].

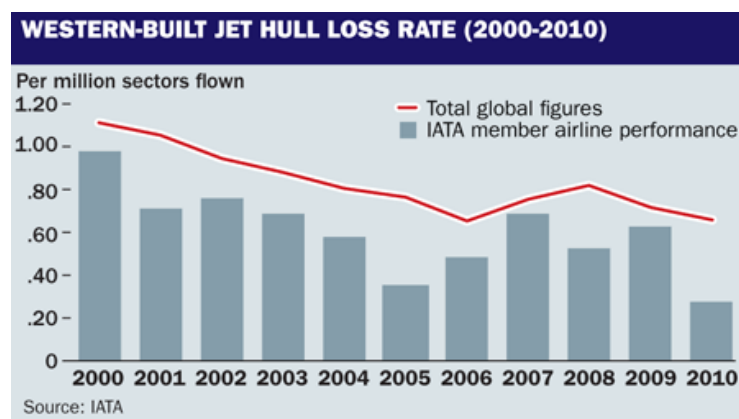


Рис.1. Статистика воздушных аварий [4]

Руководитель технических стандартов ФБП Джим Бьюрин сказал, что культура безопасности на авиалинии является ключом к усовершенствованию характеристик безопасности. В случае воздушных перевозок ядерного топлива в рамках программы RRRFR особо подчеркивались требования к культуре безопасности авиаперевозчиков. Перевозки ОЯТ ИР из Румынии, Ливии и Узбекистана осуществлялись российской авиакомпанией «Волга-Днепр», имеющей лицензию Ростехнадзора на транспортирование радиоактивных материалов. Кроме того, при подготовке первой авиаперевозки в РФ по требованию регулирующих (Ростехнадзор) и компетентных (ГК «Росатом») органов были рассмотрены документы и референции авиакомпании «Волга-Днепр» в области обеспечения качества и культуры безопасности. В таблицах 1–2 представлена статистика инцидентов, произошедших при транспортировании грузов авиакомпанией «Волга-Днепр» в сравнении с показателями гражданской авиации РФ в целом.

Таблица 1. Абсолютное количество авиационных происшествий (2007 г.)

Тип происшествия	Гражданская авиация РФ (самолеты классов 1-3)	Авиакомпания «Волга-Днепр»
Воздушные аварии	2	0
Инциденты	803	6
Повреждения самолетов на земле	81	1

Таблица 2. Сравнительные характеристики уровня безопасности полетов за 2006–2007 гг.

Характеристика	Гражданская авиация РФ	Авиакомпания «Волга-Днепр»
Количество авиационных происшествий, 2006 г.	888	18
Количество авиационных происшествий, 2007 г.	931	6
Количество взлетов, 2006 г.	2 000 000	41 540

Характеристика	Гражданская авиация РФ	Авиакомпания «Волга-Днепр»
Количество взлетов, 2007 г.	2 413 793	28 111
Показатель безопасности, 2006 г.	44,40	43,30
Показатель безопасности, 2007 г.	38,57	21,30

3. Обзор мер безопасности при транспортировании ОЯТ воздушным транспортом

Для перевозки отработавших тепловыделяющих сборок из Румынии, Ливии и Узбекистана был выбран контейнер ТУК-19 как наиболее подходящий. Для обеспечения перевозки различными видами транспорта (воздушным, автомобильным, железнодорожным и морским) был разработан транспортный пакет на основе специализированного крупнотоннажного 20-футового ISO-контейнера, вмещающего три ТУК-19 (рис.2). Контейнеры ТУК-19 фиксировались внутри ISO-контейнера системой талрепов, выдерживающих ускорения и вибрации, типичные для вышеуказанных видов транспорта. В 2008 году ISO-контейнер был сертифицирован Российским Регистром Морского Судоходства на соответствие требованиям действующих стандартов, после чего успешно использовался в мультимодальных перевозках из Румынии, Ливии и Узбекистана (по автомобильной дороге и воздуху), Польши (по автомобильной и железной дорогам и морю), Сербии (по автомобильной и железной дорогам и морю).

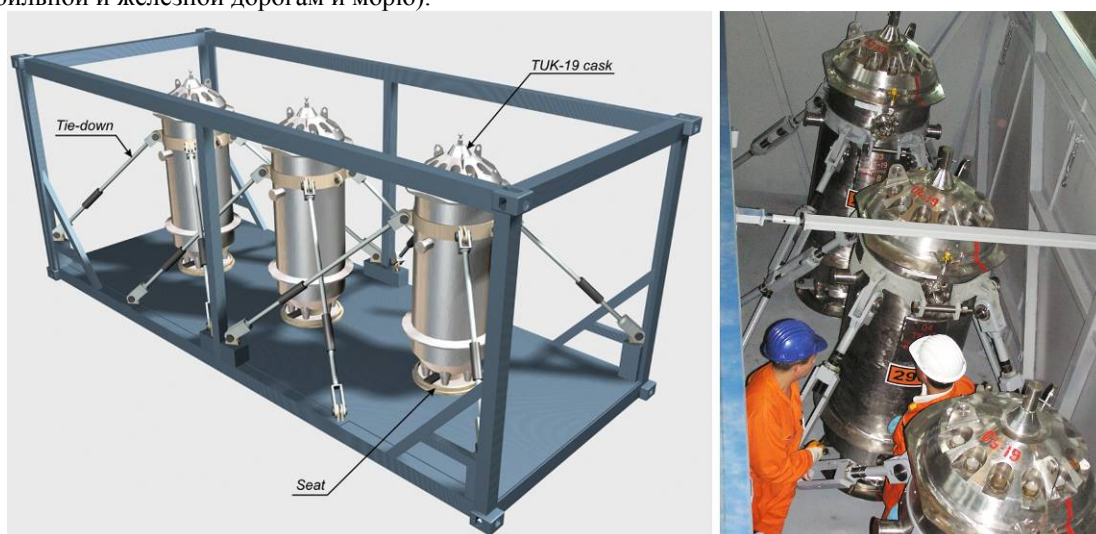


Рис.2. Грузовой контейнер и талрепы для перевозки ТУК-19 различными видами транспорта

Так как возможные последствия аварии при авиaperевозке гораздо тяжелее, чем при наземном или морском транспортировании, правила МАГАТЭ TS-R-1, издание 1996 г., были дополнены новыми требованиями к упаковкам, предназначенным для перевозки делящегося материала по воздуху. В частности, были введены новые требования по ограничению радиоактивного содержимого в упаковке и подкритичности единичной упаковки после серии усиленных испытаний. Позднее эти положения были подтверждены в изданиях МАГАТЭ 2005, 2009 и 2012 гг.

В соответствии с этими требованиями процесс лицензирования не «по специальным условиям» (как ранее в случае вывоза ОЯТ ИР из Ирака) первых воздушных перевозок ОЯТ в Россию (из Румынии в 2009 г., а затем почти сразу из Ливии) вызвал много вопросов по безопасности упаковки и перевозки со стороны лицензирующих органов, поэтому объем проведенного анализа превышал требования МАГАТЭ.

Кроме анализа подкритичности единичной упаковки типа В при испытании на удар с мишенью на скорости не менее 90 м/с, безопасность была дополнительно подтверждена расчетами для группы упаковок (рис. 3). Было показано [5], что при воздушной аварии (при скорости не менее 90 м/с) ядерный материал останется в упаковке с высокой долей вероятности.

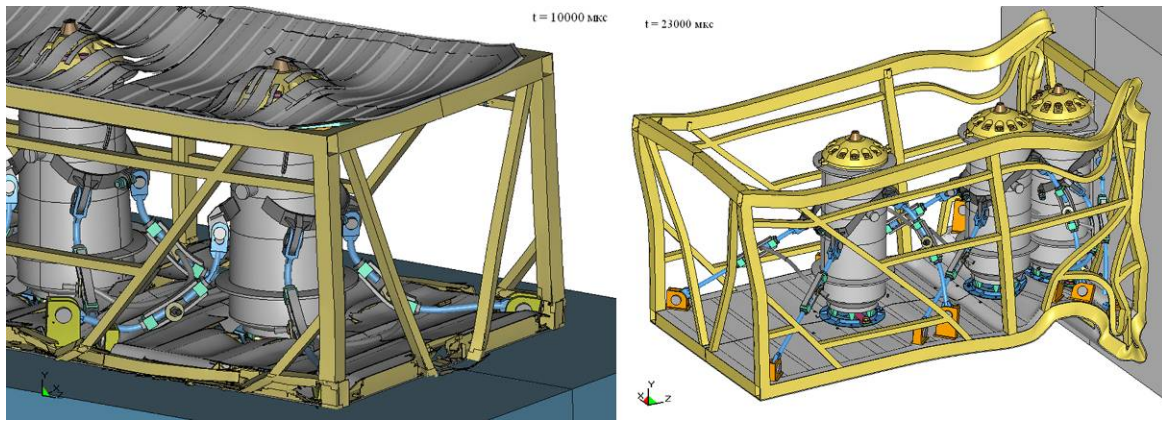


Рис.3. Результаты дополнительного анализа динамики деформации группы упаковок ТУК-19 при соударении с мишенью на скорости 90 м/с

При оценке рисков было продемонстрировано, что не существует вероятных событий ($P > 1 \cdot 10^{-7}$), которые можно было бы отнести к категории «аварии» по шкале INES (рис.4). Наиболее вероятные события (аварии) имеют очень низкую вероятность. Несколько проанализированных событий были как маловероятны, так и не имели серьезных последствий (инциденты) [6].

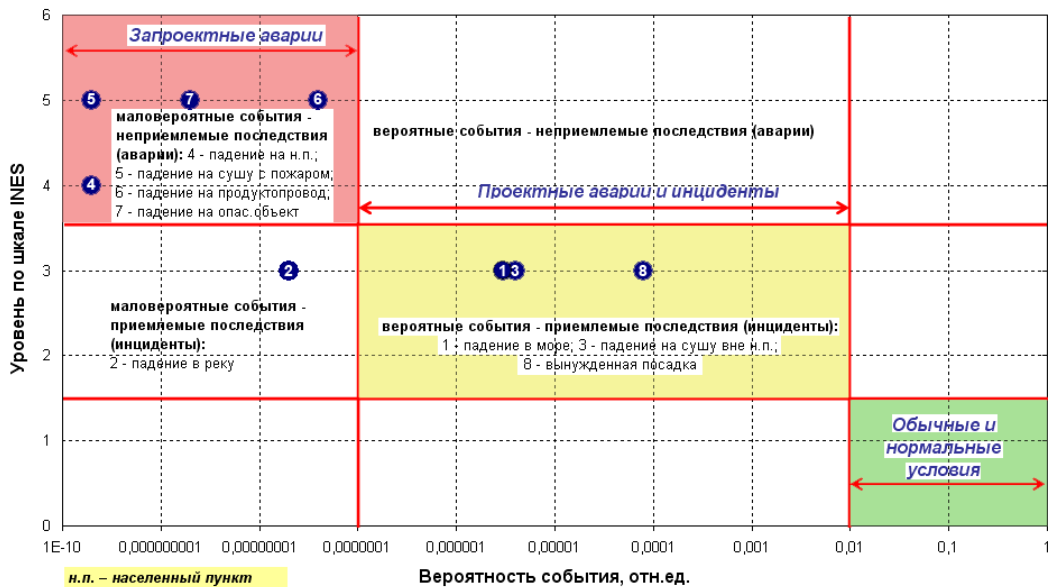


Рис. 4. Оценка риска воздушной перевозки из Румынии

В 2009 году по заказу Министерства энергетики США была начата разработка упаковки типа С на основе контейнера SKODA VPVR/M для перевозки ОЯТ исследовательских реакторов по программе RRRFR. Упаковка типа С не имеет ограничений по активности и была использована впервые для перевозки ОЯТ ИР из Вьетнама в июле 2013 года. Разработка упаковки типа С направлена на повышение безопасности воздушных перевозок радиоактивных материалов.

Наиболее тяжелые последствия воздушных аварий при транспортировании ОЯТ ИР могут иметь место в густонаселенных районах. Поэтому маршруты планируют над морем, а над сушей – в обход больших городов, а иногда – транзитных стран (рис.5) [7].

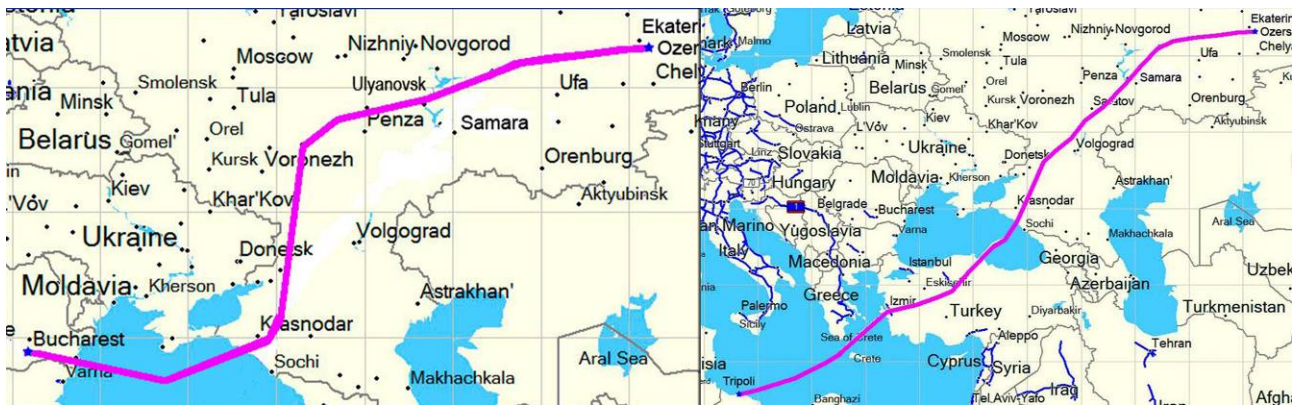


Рис.5. Маршруты воздушных перевозок ОЯТ из Румынии и Ливии, 2009 год

Аварийно-технический центр Росатома (С.-Петербург) для первых двух воздушных перевозок ОЯТ из Румынии и Ливии в Россию выпустил специальные аварийные карточки первичных ответных действий с радиоактивным грузом в случае аварии во время воздушной перевозки грузовых контейнеров с упаковками ТУК-19, содержащими ОТВС. В 2011 г. была разработана новая унифицированная Аварийная карточка №701 для первичных ответных действий в случае аварийной ситуации во время автомобильной, железнодорожной, воздушной и морской перевозки радиоактивного материала для всех типов упаковок. Аварийная карточка №701 была утверждена приказом ГК «Росатом», превращая перевозки ОЯТ в России воздушным транспортом в регламентированное мероприятие.

Важным фактором, который можно считать мерой безопасности при воздушных перевозках ОЯТ, является использование самолета АН-124-100 («Руслан»). АН-124 – второй в мире по величине серийный грузовой самолет. Он используется для перевозки локомотивов, яхт, фюзеляжей самолетов и других крупногабаритных грузов. Самолет имеет возможность присадки для обеспечения более легкой загрузки спереди. Загрузка сзади осуществляется с помощью бортового мостового крана грузоподъемностью 20 тонн. Самолет может перевозить грузы весом до 120 тонн. В мае 1987 г. АН-124 поставил мировой рекорд, покрыв расстояние 20 151 км (10 881 nmi) без дозаправки. Время полета составило 25 часов 30 минут; взлетный вес – 455 000 кг [8].

АН-124 выполняет перевозки для Министерства обороны США, компаний ВР, Boeing, Halliburton, Lockheed Martin, General Electric, Loral Space Systems, NATO, АМС, MOD Германия, Великобритания (рис. 6) [9]. Самолет АН-124 авиакомпании «Волга-Днепр» использовался в апреле 2011 г. для доставки в Японию гигантских насосов из Германии для охлаждения поврежденных во время аварии реакторов на АЭС Фукусима [8].



Рис.6. Миссии АН-124

3. Воздушные перевозки ОЯТ в Россию

На данный момент успешно осуществлены семь воздушных перевозок ОЯТ ИР в Россию в упаковках типа В: из Румынии в 2009 и 2012 гг. (4 вывоза), из Ливии в 2009 году и из Узбекистана в 2012 году (2 вывоза). Особенности этих перевозок следующие:

– ОТВС исследовательских реакторов имеют небольшие размеры, поэтому позволяют использовать ТУК, которые можно разместить в ISO-контейнеры и легко загрузить в самолет (рис.7);

- ISO-контейнеры пригодны для перевозки любыми видами транспорта, включая воздушный;
- активность единичной упаковки имеет ограничение 3000 А₂ в соответствии с требованиями TS-R-1 МАГАТЭ, соответственно, используется упаковка типа В;
- каждый ISO-контейнер вмещает три ТУК-19 общим весом менее 20 тонн, что позволяет легко осуществлять загрузку в самолет АН-124-100 через задний люк, используя только бортовой мостовой кран, поэтому дополнительное грузоподъемное оборудование в аэропортах не требуется.



Рис.7. Воздушные перевозки ОЯТ в упаковках типа В (ТУК-19)

Основное отличие в использовании упаковки типа С от перевозок в упаковках типа В с точки зрения технологии заключается в том, что контейнер ТУК-145/С, который значительно больше и тяжелее, чем ТУК-19, может быть загружен в АН-124 спереди с помощью специальной роликовой системы или раскреплен на специальной раме полуприцепа и загружен спереди непосредственно на грузовике (рис.8).



Рис.8. Загрузка контейнера ТУК-145/С в АН-124

Следует отметить, что три вывоза ОЯТ ИР из Румынии в 2012 году не были организованы в рамках программы RRRFR, груз состоял исключительно из НОУ ОЯТ, и данные транспортировки полностью финансировались Румынией. Данный проект был полностью поддержан ГК «Росатомом» и другими российскими организациями, и в Черном море через порт Кавказ был открыт новый маршрут для радиоактивных материалов Класса 7 для доставки порожних контейнеров в Румынию по морю. За последнее время выросло количество запросов на конечное обращение НОУ ОЯТ ИР к стране-производителю топлива, в основном за счет конверсии исследовательских реакторов с ВОУ на НОУ-топливо или их вывода из эксплуатации. Завершая поставки румынского НОУ ОЯТ ИР в 2012 году, российские организации доказали свое сотрудничество при конечном обращении этого вида топлива российского происхождения.



Рис. 9 Доставка порожних контейнеров на Черном море

Заключение

В результате работы российских организаций и строгого надзора российских и зарубежных регулирующих органов был достигнут новый уровень безопасности в транспортировании ядерного топлива по воздуху. Вместе с тем увеличилась степень физической защиты и сократились сроки выполнения таких операций.

Однако в будущем может появиться много других перспектив для только что начавшейся работы: транспортирование загрязненного крупногабаритного оборудования после вывода ядерных установок из эксплуатации на перерабатывающие заводы в целях уменьшения объема и восстановления повторно используемых материалов; транспортирование высокоактивных радиоактивных отходов с перерабатывающих заводов на места централизованного конечного захоронения; перевозки поврежденных ОТВС энергетических реакторов в исследовательские центры; транспортирование малогабаритных модульных свежих или отработанных активных зон реакторов. Воздушная перевозка позволит достигнуть труднодоступных мест, усовершенствовать график перевозок в рамках больших программ или при ограниченном парке контейнеров, обеспечить лучшую защиту в случае длинных маршрутов, избежать провоза опасных грузов в непосредственной близости от населенных пунктов или природоохранных зон и т.д.

Литература

- [1] Use and Development of Probabilistic Safety Assessment, Nuclear Energy Agency, Committee On The Safety Of Nuclear Installations, 2007, Report No. NEA/CSNI/R(2007)12.
- [2] 2011 State of Global Aviation Safety, Special Edition, ICAO, 2011.
- [3] Regulations for Safe Transport of Radioactive Materials, TS-R-1, IAEA, 2009 and 2012 editions.
- [4] Global airline accident and safety reviews of 2009 and 2010, David Learmount, Flight International Magazine, January 2010 and 2011.
- [5] O.P. BARINKOV, S.V. KOMAROV, A.E. BUCHELNIKOV, V.I. SHAPOVALOV, A.I. MORENKO, "Preparation of the First Air Transport of Spent Fuel Certified to New Requirements", Environmental Safety, No. 1, 2011 (special edition).
- [6] S.V. KOMAROV, B.A. KANASHOV, O.P. BARINKOV, A.N. DOROFEEV, "Spent Fuel Air Shipment: Justification of Safety" Environmental Safety, No. 1, 2010.
- [7] S.V. KOMAROV, M.E. BUDU, D.V. DERGANOV, O.A. SAVINA, I.M. BOLSHINSKY, S.D. MOSES, L. BIRO, "Licensing Air and Transboundary Shipments of Spent Nuclear Fuel", International Conference on the Safe and Secure Transport of Radioactive Materials: The Next Fifty Years - Creating a Safe, Secure and Sustainable Framework, Vienna, Austria, 17-21 October 2011.
- [8] "Antonov An-124", Wikipedia Free Encyclopedia.
- [9] E.N. LAZAREV, "Air shipment of SNF", RRRFR Lessons Learned Workshop, Jackson, Wyoming, USA, June 7-10, 2011.