

Введение

Гражданская авиация и атомная энергетика имеют множество 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.) или 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 происхождения (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 2003–2010 гг. осуществлено 43 перевозки необлученного и отработавшего топлива в РФ:

– 20 перевозок необлученного топлива ВОУ из 11 стран: Сербии, Румынии (2 вывоза), Болгарии, Ливии (2 вывоза), Чехии (2 вывоза), Узбекистана, Польши (2 вывоза), Германии, Вьетнама, Венгрии, Украины (2 вывоза), Беларуси и Латвии;

– 23 перевозки отработавшего топлива ВОУ из Узбекистана (4 вывоза), Чехии, Латвии, Болгарии, Венгрии, Румынии, Украины, Ливии, Казахстана (4 вывоза), Беларуси, Сербии и Польши (5 вывозов).

Все отработавшее топливо ВОУ вывозилось на переработку на одно предприятие – ПО «Маяк» – с применением двух комплектов контейнеров типа В: 20 российских ТУК-19 и 16 чешских SKODA VPVR/M.

В 2009 году были осуществлены две воздушные перевозки отработавшего топлива ВОУ из Румынии и Ливии в Россию; в настоящее время ведется подготовка еще шести вывозов ОЯТ в 2012–2013 гг.

В настоящем докладе рассматриваются аспекты обеспечения безопасности воздушных перевозок отработавшего ядерного топлива как наиболее важного вопроса для данного (нового) вида деятельности.

1. 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 [3].

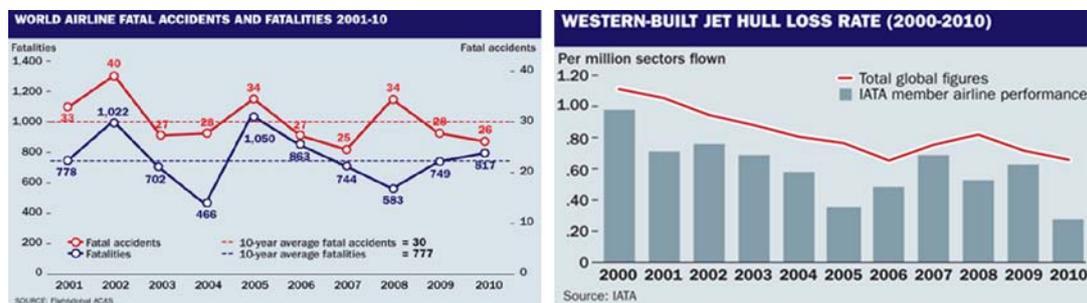


Рис.1. Статистика воздушных аварий [3]

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 и Ливии осуществлялись российской авиакомпанией «Волга-Днепр», имеющей лицензии 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
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

2. Обзор мер безопасности при транспортировании ОЯТ воздушным транспортом

Для перевозки отработавших тепловыделяющих сборок С-36 из Румынии и ИРТ-2М из Ливии 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 и Ливии (по автомобильной дороге и воздуху), Польши (по автомобильной и железной дорогам и морю), Сербии (по автомобильной и железной дорогам и морю).

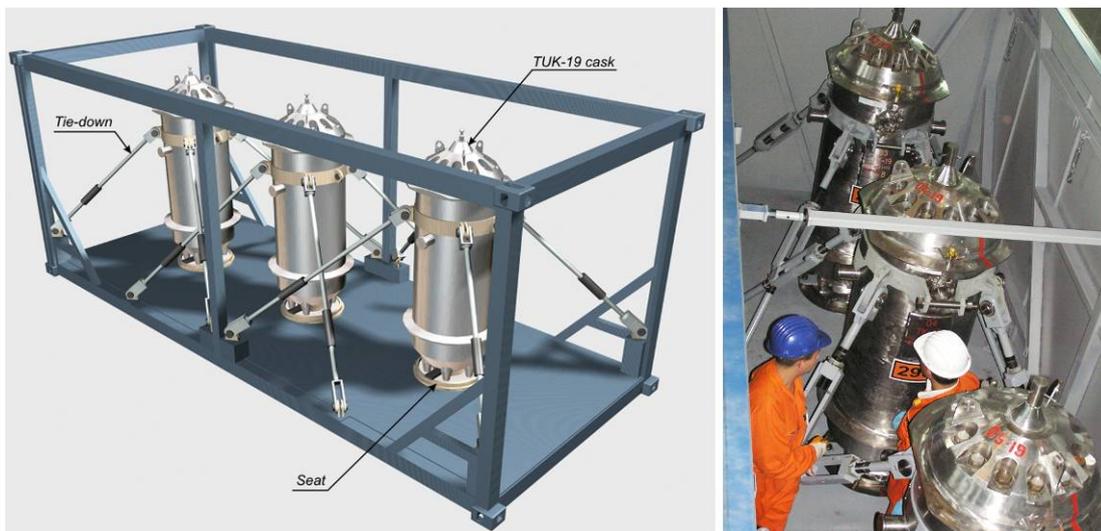


Рис.2. Грузовой контейнер и талрепы для перевозки ТУК-19 различными видами транспорта

Так как возможные последствия аварии при авиаперевозке гораздо тяжелее, чем при наземном или морском транспортировании, правила МАГАТЭ TS-R-1, издание в 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 и 2009 гг.

В соответствии с этими требованиями процесс лицензирования не «по специальным условиям» (как 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. Было показано [4], что при воздушной аварии (при скорости не менее 90 м/с) ядерный материал останется в упаковке с высокой долей вероятности (рис. 3).

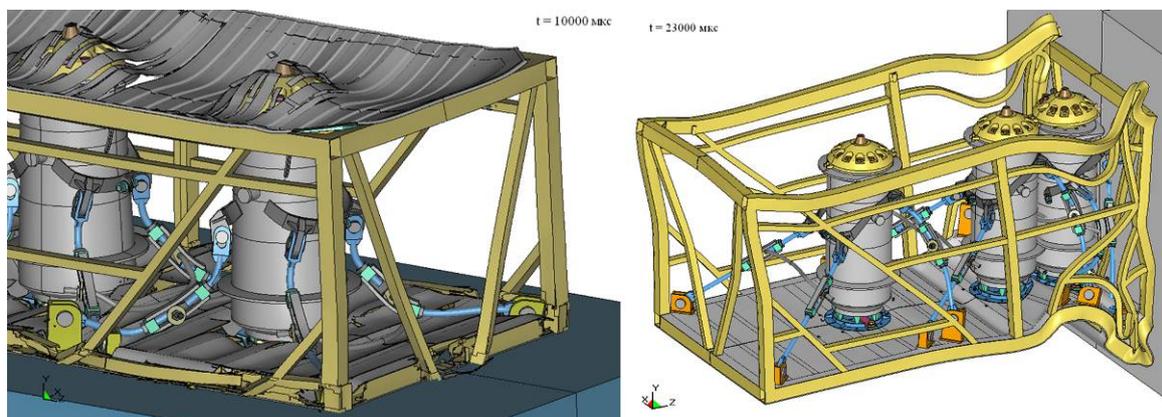


Рис.3. Результаты дополнительного анализа динамики деформации группы упаковок ТУК-19 при соударении с мишенью на скорости 90 м/с

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 можно было бы отнести по этой шкале к «инцидентам», а события с наиболее тяжелыми последствиями (аварии) имеют очень низкую вероятность. Несколько проанализированных событий были как маловероятны, так и не имели серьезных последствий (инциденты) [5].

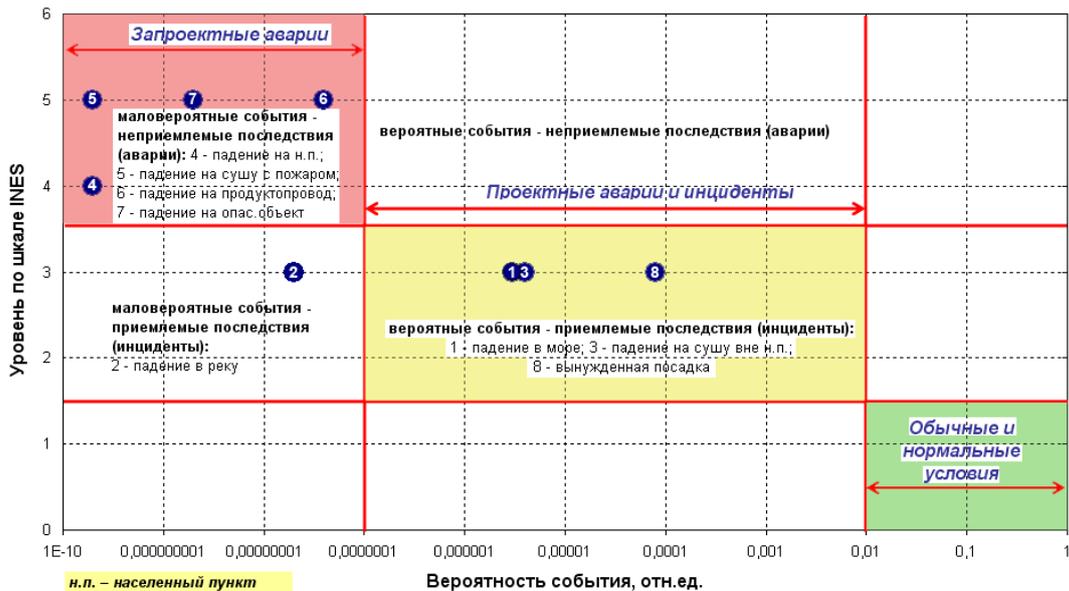


Рис. 4. Оценка риска воздушной перевозки из Румынии

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 будет использована для перевозки ОЯТ из Вьетнама в 2013 году. Разработка упаковки типа С направлена на повышение безопасности воздушных перевозок радиоактивных материалов и ее результаты будут представлены в докладе «Упаковка типа С: история создания и перспективы применения».

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) [6].



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 ТВС. 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 [7].

АН-124 выполняет перевозки для Министерства обороны США, компаний BP, Boeing, Halliburton, Lockheed Martin, General Electric, Loral Space Systems, NATO, АМС, MOD Германия, Великобритания (рис. 6) [8]. 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 [7].



Рис.6. Миссии АН-124

3. Воздушные перевозки ОЯТ в Россию

На данный момент успешно осуществлены три воздушных перевозки РМ в Россию: из Румынии в 2009 и 2012 гг. и из Ливии в 2009 году. 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 сзади, используя только бортовой мостовой кран, поэтому дополнительное грузоподъемное оборудование в аэропортах не требуется.



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

В 2013 году планируется вывоз из Вьетнама в новой упаковке типа С. Основное отличие от предыдущих перевозок с точки зрения технологии заключается в том, что контейнер ТУК-145/С, который значительно больше и тяжелее, чем упаковки В, будет раскреплен на специальной раме полуприцепа и загружен в АН-124 спереди непосредственно на грузовике. ООО НПФ «Сосны» и авиакомпания «Волга-Днепр» организовали демонстрацию операций загрузки в июне 2012 г. в аэропорту г. Ульяновск (рис.8).



Рис.8. Демонстрация загрузки контейнера ТУК-145/С в самолет АН-124 (Ульяновск, июнь 2012 г.)

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 вновь изготовленных 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] Global airline accident and safety reviews of 2009 and 2010, David Learmount, Flight International Magazine, January 2010 and 2011.
- [4] 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).
- [5] S.V. KOMAROV, B.A. KANASHOV, O.P. BARINKOV, A.N. DOROFEEV, "Spent Fuel Air Shipment: Justification of Safety" Environmental Safety, No. 1, 2010.
- [6] 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.
- [7] "Antonov An-124", Wikipedia Free Encyclopedia.
- [8] E.N. LAZAREV, "Air shipment of SNF", RRRFR Lessons Learned Workshop, Jackson, Wyoming, USA, June 7-10, 2011.