

Доклад объединения Bellona. 2015

ТРАНСПОРТИРОВКА РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алексей Щукин

BELLONA

www.bellona.ru

Транспортировка радиоактивных материалов

Оглавление

1. Виды радиоактивных материалов (РМ). Общие сведения об объемах перевозок РМ, инциденты при их транспортировке
 2. Виды перевозок РМ. Требования к безопасности перевозки РМ, требования к упаковочным комплектам
 - испытания транспортных упаковок
 - предприятие «Атомспецтранс»
 - автоматизированная система безопасности транспортирования РМ (АСБТ)
 3. Транспортировка ОЯТ в России
 - перевозки ОЯТ по железной дороге
 - морские перевозки ОЯТ
 - автомобильные перевозки ОЯТ
 - авиаперевозки ОЯТ
 4. Вывоз ОЯТ с АЭС различных типов. Состояние в настоящее время и планы по решению имеющихся проблем
 - вывоз некондиционного ОЯТ с РБМК-1000
 5. Вывоз ОЯТ из исследовательских реакторов
 6. Транспортировка ОЯТ за рубежом и между Россией и другими странами
 7. Транспортировка радиоактивных отходов (РАО)
 8. Транспортировка РИТЭГов.
- Заключение
- Список литературы
- Приложение 1. Основные нормативные документы, регламентирующие безопасность при транспортировании радиоактивных материалов
- Приложение 2. Инциденты с РИТЭГами на территории СНГ
- Приложение 3. Классификация судов для перевозки РМ

СОКРАЩЕНИЯ

- АПЛ – атомная подводная лодка
- АСБТ – автоматизированная система безопасности транспортирования РМ
- АЭС – атомные электростанции
- БВ – блок выдержки
- БТБ – береговая техническая база
- ВРАО – высокоактивные РАО
- ВЭ – вывод из эксплуатации
- ГФУ – гексафторид урана
- ИР – исследовательский реактор
- НАО – низкоактивные отходы
- ОГ – опасные грузы
- ОНАО – особо низкоактивные отходы
- ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка
- ОЯТ – отработавшее ядерное топливо
- ПВХ – пункт временного хранения РАО
- ПЗРО – пункт захоронения радиоактивных отходов
- ПТБ – плавучая технологическая база
- РАО – радиоактивные отходы
- РВ – радиоактивные вещества
- РИТЭГ – радиоизотопный термоэлектрический генератор
- РМ – радиоактивные материалы

СРАО – среднеактивные РАО
СТВС – свежие тепловыделяющие стержни
Судно АТО – судно атомно-технологического обслуживания
СЦР – самопроизвольная цепная реакция
ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент
ТК – транспортный контейнер
ТРО – твердые радиоактивные отходы
ТУК – транспортный упаковочный контейнер
УК – упаковочный комплект
УКГВ – установка контроля глубины выгорания топлива
ХОТ – хранилище отработавшего топлива
ХОЯТ – хранилище ОЯТ
ЭБ – энергетический блок
ЯРБ – ядерная и радиационная безопасность
ЯРОО – ядерно-радиационно-опасные объекты
ЯТЦ – ядерный топливный цикл
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

1. Виды радиоактивных материалов (РМ). Общие сведения об объемах перевозок РМ, инциденты при их транспортировке

Радиоактивные материалы (РМ) – это ядерные материалы, содержащие или способные воспроизвести делящиеся материалы (вещества) и радиоактивные вещества (не относящиеся к ядерным материалам вещества, способные испускать ионизирующее излучение). В качестве РМ рассматриваются также изделия на их основе и радиоактивные отходы [27].

Транспортировка РМ и изделий, содержащих РМ, – это важный, неизбежный и необходимый этап при их производстве и использовании. Среди перевозимых в России РМ в настоящее время имеются: руда, химические и физические концентраты, гексафторид урана (ГФУ), свежее и отработавшее ядерное топливо, ядерное оружие, радиоактивные отходы, а также тысячи видов РМ и изделий с ними, используемых во многих отраслях промышленности, медицине, науке, сельском хозяйстве и т.д. В данном докладе основное внимание уделено вопросам транспортировки ОЯТ и РАО, не рассматриваются перевозки ядерных боеприпасов, оружейного плутония, СТВС, а также ГФУ.

12–13 ноября 2015 г. в Москве проходил X юбилейный международный общественный Форум-Диалог «70 лет российской атомной отрасли. Диалог поколений», а с 5 по 9 октября 2015 г. в Санкт-Петербурге – X Международный ядерный форум «Безопасность ядерных технологий: Транспортирование РМ – «АТОМТРАНС-2015». В своих докладах на этих форумах директор Департамента ЯРБ, организации лицензионной и разрешительной деятельности ГК «Росатом» Сергей Райков сообщил [1, 25], что за 70 лет перевозок РМ не произошло ни одной серьезной транспортной аварии с радиологическими последствиями. «Безопасность перевозок РМ обеспечивается как техническими мероприятиями (ограничение и исключение встречного движения, использование буферных транспортных средств, сопровождение, вооруженная охрана, автоматизированная система безопасности транспортирования РМ), так и организационными мероприятиями специального режима (допуск, обучение, контроль маршрутов, контроль в движении)».

По данным МАГАТЭ, в мире в год перевозится примерно 10–37 млн. упаковок с РМ (в среднем около 20 млн. в год) [5]. Из этого количества 12 % приходится на атомную энергетику, 23 % на промышленность и 65 % на медицину [1]. В сравнении с перевозками других опасных грузов (ОГ), это примерно 1–2 % для авто, железнодорожного и морского транспорта и до 10 % для перевозок воздушным транспортом от общего объема перевозок ОГ на этих видах транспорта. (ОГ это взрывчатые материалы, ядовитые вещества и т. д.). Всего насчитывается 9 классов ОГ, РМ относится к 7 классу.

В США ежегодно осуществляется около 2,8 млн. перевозок упаковок РМ, включая 5,5 тыс. грузов РМ в рамках работ Министерства энергетики (DOE). Это перевозки в оборонных и исследовательских целях. Все ОГ составляют около 300 млн. перевозок в год, или 3,1 млрд. тонн в год.

В Великобритании перевозится около 600 тыс. упаковок РМ в год (автотранспорт – 500 тыс., ж/д – 4 тыс., море – 30 тыс. упаковок и 1 тыс. рейсов, авиаперевозки – 75 тыс. упаковок и 6 тыс. рейсов, в ЯТЦ – 20 тыс. в год). В аэропорту Хитроу каждый день осуществляется 26 вылетов самолетов с РМ на борту.

Во Франции перевозится 940 тыс. упаковок РМ в год, из которых примерно 15 % – перевозки всех материалов ЯТЦ, а 85 % – перевозки РМ для других отраслей промышленности: медицины, сельского хозяйства и т.д. В целом это составляет около 3% от перевозок других ОГ.

В России ежегодно в режиме специальных перевозок осуществляется около 2 тысяч межобъектовых перевозок РМ автомобильным и железнодорожным транспортом в рамках ЯТЦ, ежедневно 6–7 железнодорожных эшелонов с грузами ЯТЦ находятся на путях. Перевозки всех ОГ составляют 800 млн. тонн в год.

В докладе Ершова В. Н. [5] была приведена также статистика инцидентов (событий – events) при перевозках РМ.

В США за 1999–2008 гг. произошло 120 аварий с грузами РМ (1 смерть нерadiологическая, 1 случай вреда здоровью, ущерб \$ 2,2 млн.). Со всеми ОГ произошло 170 493 аварий (5 052 серьезных, 138 смерти, 2 825 случаев вреда здоровью, ущерб \$ 635,58 млн. В 2011 г. произошло 8 аварий с грузами РМ. В отчетности об авариях описание ведется по 40 позициям.

В Великобритании за 1958–2008 гг. произошло 913 инцидентов. За 2006–2008 гг. произошло 90 инцидентов. Только в трех случаях были небольшие транспортные аварии, остальное – неправильная маркировка, документация, неисправности, загрязнения, и т. д.

Во Франции за 1997–2007 гг. произошло 900 «событий», (аварий, инцидентов, происшествий). «События» происходили на всех видах транспорта (перевозка, погрузка-разгрузка упаковок, хранение при транзите, перегрузка с одного вида транспорта на другой).

В России имели место единичные происшествия за все время перевозок РМ. В докладе ГК «Росатом» на Форуме в Санкт-Петербурге в 2015 г. были приведены данные по авариям с РМ [25]. Всего зафиксировано 33 аварии при транспортировке РМ:

В 1994 г. на УЭХК (г. Новоуральск) при перевозке сернокислого урансодержащего раствора на полотно автомобильной дороги было пролито около 1000 л радиоактивного раствора.

В 1996 г. в результате сильного удара платформы при транспортировании по железной дороге произошло повреждение контейнеров с закисью-окисью урана, принадлежащих Приаргунскому ГХК.

С 1987 по 2004 г. произошло 4 случая аварийного сброса в море РИТЭГов при перевозке их воздушным транспортом. (В Приложении 2 приведены все зафиксированные инциденты с РИТЭГаами на территории СНГ, в том числе при их транспортировании [21].)

В 2000 г. (385 км северо-восточнее Комсомольска-на-Амуре) при буксировке затонула баржа с трехтонным контейнером, содержащим радиоактивный Ir-192.

В 2001 г. при транспортировании радиоактивных упаковок по территории Иркутского аэропорта одна из упаковок упала под колеса автомобиля и была раздавлена.

В 2001 г. в результате ДТП (г. Красноярск) произошло опрокидывание спецавтомобиля, перевозящего блоки источников от релейных радиоизотопных приборов.

О единственном происшествии при авиаперевозке РМ сообщили СМИ 23.10.2011 г.: якобы в Казани грузчик аэропорта получил значительную дозу радиации при разгрузке с борта пассажирского авиалайнера А–320 контейнеров с радиоизотопами, перевозимых из Москвы. Однако уже 24.10.11 МЧС опровергло эту информацию: ни облучения людей, ни радиоактивного загрязнения обнаружено не было [3].

2. Виды перевозок РМ. Требования к безопасности перевозки РМ, требования к упаковочным комплектам

Транспортировка РМ в России осуществляется всеми видами транспорта: железнодорожным, морским, воздушным и автомобильным.

Основные нормативные документы, регламентирующие безопасность при транспортировании РМ, приведены в Приложении 1.

Правила (НП-053-04) устанавливают требования безопасности при транспортировании РМ, в том числе требования к операциям и условиям, которые связаны с перемещением РМ и составляют этот процесс (проектирование, изготовление, обслуживание и ремонт упаковочного комплекта; подготовка, загрузка, отправка, перевозка, включая временное (транзитное) хранение; разгрузка и приемка в конечном пункте назначения грузов РМ и упаковок).

Из Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010Б-99/2010 следует:

П. 3.4.13. транспортные средства, транспортные упаковочные комплекты, контейнеры, предназначенные для хранения и перевозки радиоактивных веществ, должны иметь санитарно-эпидемиологическое заключение на соответствие санитарным правилам.

П. 3.5.19. Транспортирование радионуклидных источников внутри помещений, а также на территории радиационного объекта должно производиться в контейнерах и упаковках с учетом физического состояния источников излучения, их активности, вида излучения, габаритов и массы упаковки, с соблюдением условий безопасности.

П. 3.5.20. Транспортные средства, специально предназначенные для перевозки радионуклидных источников за пределами радиационного объекта, должны соответствовать требованиям СанПиН 2.6.1.1281-03 «Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)» (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 13.05.2003, регистрационный № 4529).

П. 3.5.21. Уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств не должны превышать значений, приведенных в таблице 8.10 НРБ-99/2009 (см. рис. 1).

Допустимые уровни

снимаемого радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств, используемых для перевозки радиоактивных веществ и материалов, част/(см²·мин)

Объект загрязнения	Вид загрязнения			
	Снимаемое (нефиксированное)		Неснимаемое (фиксированное)	
	альфа-активные радионуклиды	бета-активные радионуклиды	альфа-активные радионуклиды	бета-активные радионуклиды
Наружная поверхность транспортного средства и охранной тары контейнера	1,0	10	Не регламентируется	200*
Внутренняя поверхность охранной тары и наружная поверхность транспортного контейнера	1,0	100	Не регламентируется	2000

* для $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y} - 40 \text{ част}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$.

Рис. 1. Допустимые уровни радиоактивного загрязнения поверхности транспортных средств [5].

В соответствии с НП-053-04 (п.5.3.11) нефиксированное радиоактивное загрязнение внешних поверхностей любой упаковки, грузовых контейнеров, пакетов, резервуаров и КСГМГ должно поддерживаться на наиболее низком, практически достижимом уровне и в обычных условиях перевозки не должно превышать следующих пределов:

- а) 4 Бк/см² для бета- и гамма-излучателей и альфа-излучателей низкой токсичности;
- б) 0,4 Бк/см² для всех других альфа-излучателей.

В СанПин 2.6.1.1281-03 в табл. 3.1. приведены ограничения на уровни излучения от радиационных упаковок различных транспортных категорий.

В соответствии с НП-053-04 нормируемые показатели безопасности транспортирования РМ по мощности экспозиционной дозы:

- в нормальных условиях эксплуатации мощность дозы на поверхности ТУК должна быть не более 2 мЗв/ч, в 2 м от поверхности транспортного средства не более 0,1 мЗв/ч;
- в аварийных условиях: в одном метре от поверхности транспортного средства – не более 10 мЗв/ч.

Транспортировка РМ осуществляется в упаковочных комплектах (УК). В зависимости от вида РМ, их характеристик, упаковочные пакеты (УК) могут существенно отличаться. В НП-053-04 определены типы грузов и упаковок РМ (см. рис. 2). Категории радиационной опасности грузов РМ приведены на рис. 3 и 4.

Груз РМ	Радиоактивное содержимое	Основные принципы - условия перевозки
Неупакованные РМ	НУА, ОПРЗ(LSA, SCO)	Обычные
Освобождённые упаковки	10-4 А1(А2) - А1(А2)	Обычные
Промышленные упаковки IP-1, IP-2, IP-3)	10 А1 - 100 А2	Обычные, Нормальные (инциденты)
Упаковки типа А	А1 - РМ особого вида А2 – другие РМ	Обычные, Нормальные (инциденты)
Упаковка типа В(U) и В(M)	Более А1(А2), РМНСР	Обычные, Нормальные (инциденты) Аварийные (на земле, воде)
Упаковки типа С	Для РМ особого вида более 3000А1(или более 100000А2) Для других РМ более 3000А2	Обычные, Нормальные (инциденты), Аварийные (авиакатастрофы)
Упаковки с делящимися РМ: IP-1, IP-2, IP-3, А, В, С	См. соответствующие типы упаковок	Обычные, Нормальные (инциденты), Аварийные
Упаковки с гексафторидом урана	См. соответствующие типы упаковок	Обычные, Нормальные (инциденты) Аварийные

Рис. 2. Типы упаковок РМ и радиоактивное содержание [5].

КАТЕГОРИИ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ГРУЗОВ РМ

Фактически это классификация упаковок по радиационной опасности в обычных и нормальных условиях перевозки

Упаковки (и транспортные пакеты) должны быть отнесены к одной из категорий:

- I-БЕЛАЯ
- II-ЖЕЛТАЯ
- III-ЖЕЛТАЯ



Рис. 3. Категории радиационной опасности грузов РМ (табл.5.4. НП-053-04) [5].

КАТЕГОРИИ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ГРУЗОВ РМ (продолжение)

Характеристики упаковок, транспортных пакетов, резервуаров и грузовых контейнеров		Категория
ТИ	Максимальный уровень излучения в любой точке внешней поверхности	
ТИ = 0	Не более 0,005 мЗв/ч (0,5 мбэр/ч)	I - БЕЛАЯ
ТИ ≤ 1	Более 0,005 мЗв/ч (0,5 мбэр/ч), но не более 0,5 мЗв/ч (50 мбэр/ч)	II - ЖЕЛТАЯ
1 < ТИ ≤ 10	Более 0,5 мЗв/ч (50 мбэр/ч), но не более 2 мЗв/ч (200 мбэр/ч)	III - ЖЕЛТАЯ
ТИ > 10	Более 2 мЗв/ч (200 мбэр/ч), но не более 10 мЗв/ч (1000 мбэр/ч)	III - ЖЕЛТАЯ на условиях исключительного использования

Рис. 4. Категории радиационной опасности грузов РМ (табл. 5.4. НП-053-04) [5].

Испытания транспортных упаковок

Помимо соответствия радиационным параметрам требуется проверка ТУК на прочность, огнестойкость и т.д. Правила испытания упаковок приведены в НП-053-04.

Соответствие используемых конструкций УК требованиям прочности и огнестойкости проверяется на нескольких испытательных стендах в условиях, моделирующих самые тяжелые транспортные аварии, включая авиационные катастрофы.

Испытания различаются в зависимости от типа упаковки [5]. Так, упаковки типа А проходят испытания как на нормальные условия перевозки, так и дополнительные испытания на аварийные условия. Испытания упаковки типа В для нормальных условий те же, что и для упаковки типа А. Однако испытания на аварийные условия жестче: механические испытания (падение с 9 м, на штырь с 1 м), на пожар 800 °С в течение 30 мин, погружение в воду на 15 м на 8 часов, погружение в воду на 200 м на 1 час (при активности более 10х5 А2). Перед бросковым испытанием упаковка охлаждается жидким азотом [5]. Испытания упаковки типа С для нормальных условий те же, что и для упаковок типа А и В. В аварийных условиях контейнеры типа «С» должны выдерживать «жесткие аварийные условия», включая удар на скорости 90 м/с (324 км/ч) и обработку огнем при 800 °С в течение 1 часа [11, 21].

На рис. 5 и 6 показаны фотографии испытаний ТУК на стендах.



Рис. 5. Слайд из презентации, представленной В. Н. Ершовым (2015 г.) [5].



Рис. 6. Слайд из презентации, представленной В. Н. Ершовым (2015 г.) [5].

В зависимости от типов перевозимых РМ используются различные виды упаковок. На рис. 7 представлено, какие основные виды РМ перевозятся, какими видами транспорта, в каких упаковочных комплектах (приведены лишь некоторые УК) [6].

Перевозки радиоактивных материалов



По видам транспорта				
Ж/Д	Авто	Морской	Речной	Воздушный
Виды транспортных средств				
Грузовые вагоны	Грузовые автомобили	т/х Серебрянка Россита	т/х Балтийский 202	Ан-124 «Руслан»
Вагоны охраны	Автомобили охраны	Ерофей Хабаров Михаил Дудин	(типа река-море)	
Различные упаковочные комплекты (примеры)				
ОЯТ	Свежие ТВС	РАО	UF6 гексафторид урана	РВ
ТУК-11БН	ТК-С5	КТО-800	UX-30	УКТ-Д11
ТУК-6	ТК-С3	УКТН-24000	48У	ТПК-5А
ТУК-108/1	ТС-С55	КО-I, КО-II	ТУК-46,	
ТУК-123, ТУК-13В	ТК-С14, ТК-С15	КТБН-3000	СОГ-ОР-30В	

АСБТ – обеспечивает непрерывный автоматизированный мониторинг местоположения и состояния транспортных средств и грузов РМ в процессе транспортирования

Рис. 7. Слайд из презентации, представленной П. М. Гавриловым (2015 г.) [6].

В России разработаны различные типы ТУКов для различных типов перевозимых РМ. В качестве примера на рис. 8 показаны фото ТУК UX-30 для транспортировки ГФУ и ТУК-140 для ОЯТ [1].

Транспортные упаковочные комплекты различного назначения



UX-30 для транспортирования гексафторида урана.



ТУК-140 на испытательном стенде

Рис. 8. Слайд из презентации, представленной С. В. Райковым (2015 г.) [1].

Предприятие «Атомспецтранс»

В 2000 г. Приказом Минатома России было создано АО «Атомспецтранс» для исполнения функций уполномоченного отраслевого оператора по организации и осуществлению перевозок ЯМ, РВ и изделий из них различными видами транспорта [4]. Приказом от 21.08.2008 № 360 АО «Атомспецтранс» определен уполномоченным оператором по организации, техническому обеспечению и контролю транспортирования специальных грузов ГК «Росатом».

На рис. 9 приведено расположение филиалов «Атомспецтранса» на территории России, а на рис. 10 – распределение перевозок им РМ [4].

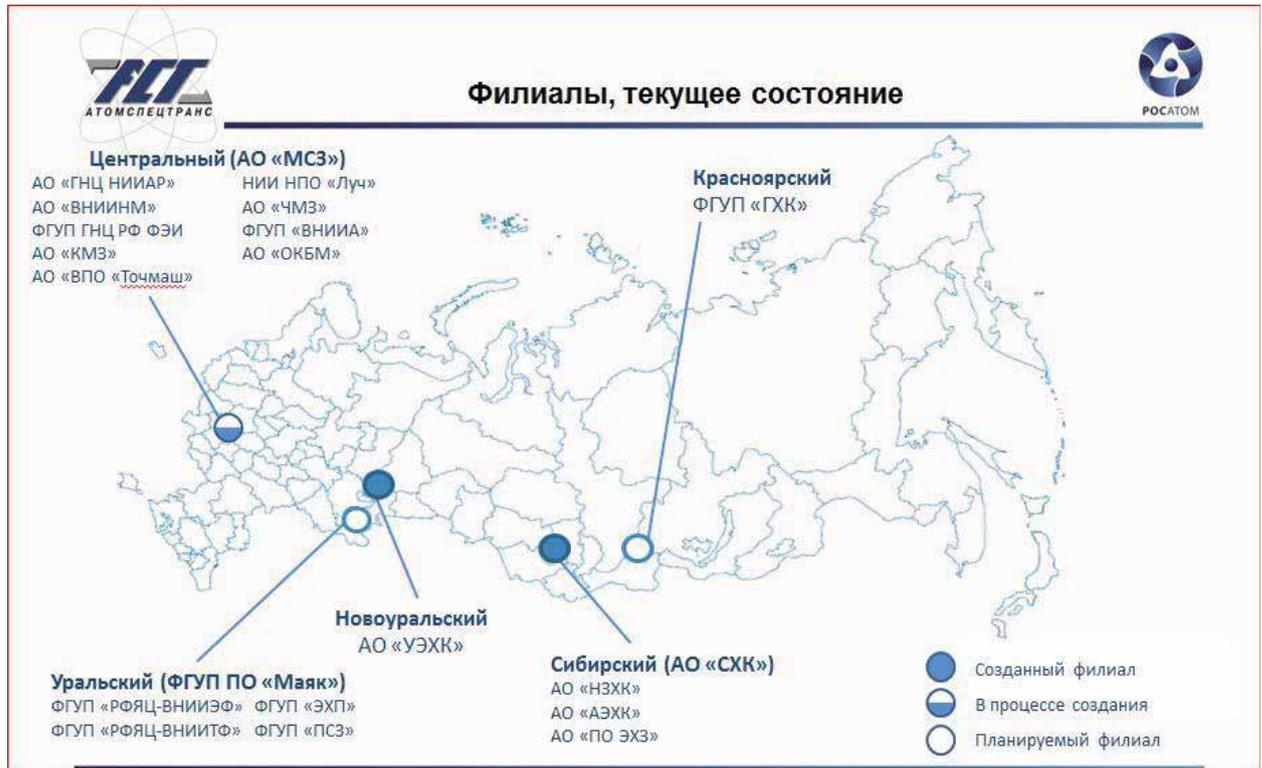


Рис. 9. Слайд из презентации, представленной В. В. Нащокиным (2015 г.) [4].



Рис. 10. Слайд из презентации, представленной В. В. Нащокиным (2015 г.) [4].

На рис. 11 представлены планы «Атомспецтранса» по созданию единой транспортной компании [4].

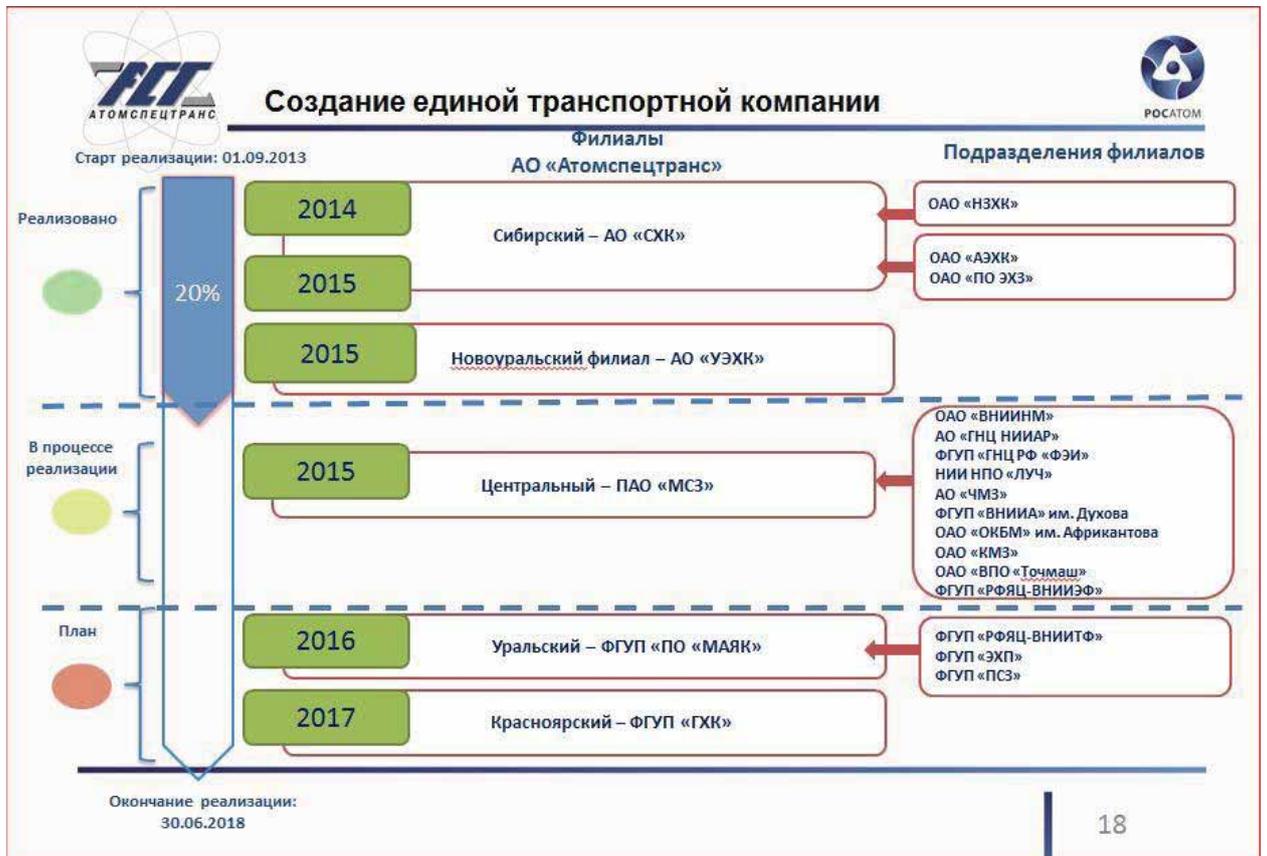


Рис. 11. Слайд из презентации, представленной В. В. Нащокиным (2015 г.) [4].

Т. е. к 2018 г. намечено создать единую отраслевую транспортную компанию по перевозке специальных грузов, дислокация компонентов которой будет рационально распределена по регионам России.

Автоматизированная система безопасности транспортирования РМ (АСБТ)

В своем докладе Ю. Л. Давыдов [2] остановился на создании автоматизированной системы безопасности транспортирования РМ (АСБТ). Предпосылками создания АСБТ РМ являются появление реальной угрозы ядерного терроризма, изменение геополитической обстановки в мире. В связи с этим возникла потребность в дополнительных мерах по обеспечению безопасности транспортирования РМ: усиление физической защиты груза, мониторинг местоположения транспортного средства и состояния физической защиты груза, оперативное доведение до сил реагирования информации о совершении несанкционированных действий по отношению к грузу. АСБТ подразделяется на АСБТ при перевозке ЯМ и при перевозке РВ. Структура АСБТ состоит из сети диспетчерских пунктов и специальных транспортных средств. Связь диспетчера с транспортным средством осуществляется с помощью навигации ГЛОНАСС/GPS, спутниковой связи, GSM-связи, УКВ-связи, интернета (см. рис. 12).



Рис. 12. Фото из презентации, представленной Ю. Л. Давыдовым (2015 г.) [2].

3. Транспортировка ОЯТ в России

Основное, подавляющее количество ОЯТ образуется при работе ядерных реакторов АЭС. Незначительную часть представляет ОЯТ исследовательских реакторов. На рис. 13 приведены все работающие и строящиеся ЭБ АЭС в России в 2015 г.



Рис. 13. Фото из презентации, представленной С. Ф. Картуш (2015 г.) [7].

Одним из основных видов транспортировки РМ является транспортировка ОЯТ от АЭС, ИР, транспортных ЯЭУ. Сложность этих перевозок заключается, прежде всего, в высоком гамма-фоне от содержимого контейнеров, огромном количестве долгоживущих радионуклидов, находящихся в ОЯТ, возможности при определенных условиях образования СЦР, необходимости охлаждения ТУКов.

После выдержки в пристанционных хранилищах ОЯТ вывозится с них для дальнейшего хранения или переработки. В зависимости от типа ЭБ ОЯТ транспортируется или в ПО «Маяк», или в ФГУП ФЯО «ГКХ» (см. рис. 14).

Инфраструктура обращения с ОЯТ

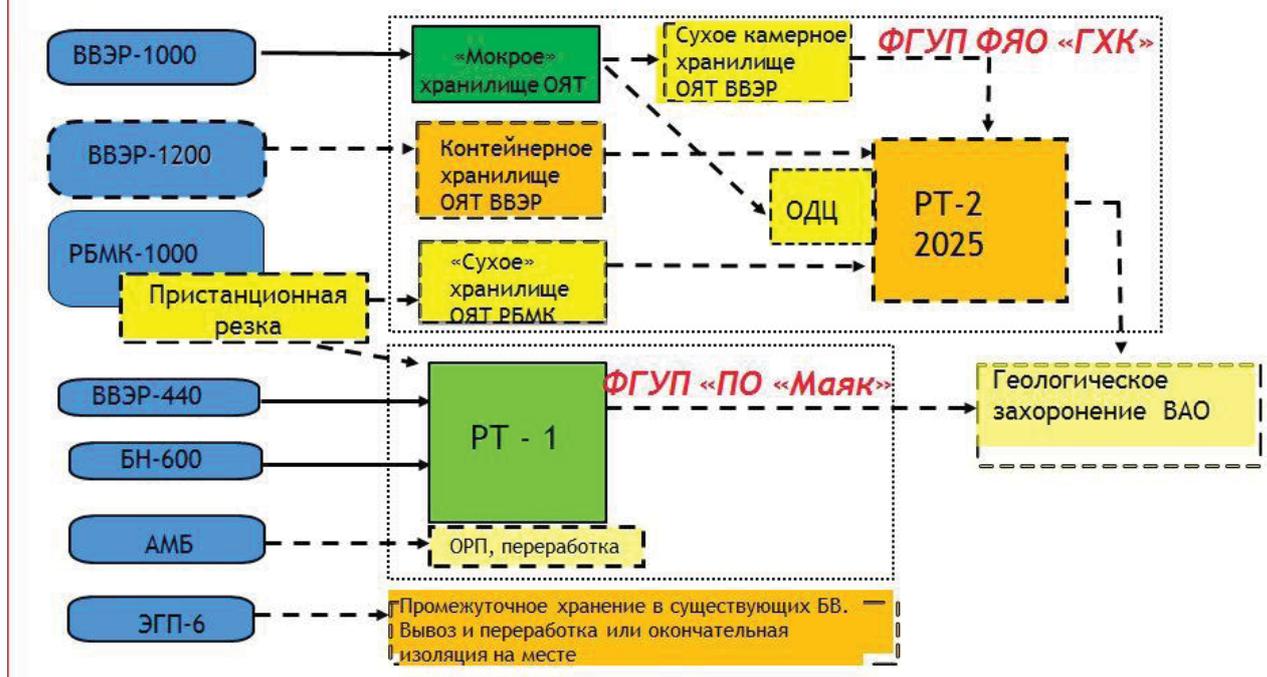


Рис. 14. Фото из презентации, представленной С. Ф. Картуш (2015 г.) [7].

ОЯТ в России перевозится в основном железнодорожным транспортом. Однако иногда используются и морские перевозки, авиаперевозки и перевозки автомобильным транспортом. Опасность любых перевозок ОЯТ, да и вообще всех РМ, в значительной степени заключается в реальной уязвимости их для террористического нападения. Существует также проблема перевозок ОЯТ вблизи крупных городов и густонаселенных районов.

Перевозки ОЯТ по железной дороге

Транспортирование ОЯТ осуществляется по железной дороге литерными вагон-контейнерными поездами в составе локомотива, вагонов сопровождения для размещения вооруженной охраны и обслуживающего персонала, вагонов прикрытия и вагонов с ОЯТ [6]. Маршруты перемещения ОЯТ, в основном, проходят от АЭС до ПО «Маяк» и к ФГУП «ГХК» под Красноярском. Кроме этого, в ПО «Маяк» регулярно поступает ОЯТ из хранилищ БТБ Северного и Тихоокеанского флотов. В ближайшие годы планируется рост числа железнодорожных перевозок в связи с планами ГК «Росатом» по вывозу основного количества ОЯТ из хранилищ АЭС в ФГУП «ГХК» и ПО «Маяк», а также вывоз ОЯТ с бывших БТБ на Северо-Западе России (губа Андреева, Гремиха). Для транспортировки ОЯТ используются следующие модификации вагонов: В-60М2, В-60М2-МБ, 61-524, 61-524-МБ, 10-9960, 11-9873. Вагоны оборудованы комплексами АСБТ, обеспечивающими мониторинг и физическую защиту перевозимого груза [6]. На рис. 15 показаны железнодорожные транспортеры для перевозки ОЯТ реакторов РБМК-1000 и ВВР 1000, а на рис. 16 – специальные железнодорожные вагоны.



Железнодорожный транспортер для перевозки ОЯТ реакторов РБМК-1000



Железнодорожный транспортер для перевозки ОЯТ реакторов ВВЭР-1000

Рис. 15. Слайд из презентации, представленной П. М. Гавриловым (2015 г.) [6].



Рис. 16. Фото из презентации, представленной Ю. Л. Давыдовым (2015 г.) [2].

В зависимости от типов ЭБ, типов ОТВС используются различные типы ТУКов. Как примеры на рис. 17 показаны ТУК-109Т, предназначенный для транспортирования ОЯТ реакторов типа РБМК-1000, и ТУК-146 для транспортирования и хранения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000/1200 [1].



**ТУК-109Т, предназначенный для
транспортирования ОЯТ реакторов типа
РБМК-1000 на испытательном стенде**



**ТУК-146 для транспортирования и хранения
ОЯТ реакторов ВВЭР-1000/1200**

Рис. 17. Слайд из презентации, представленной С. В. Райковым (2015 г.) [1].

Морские перевозки ОЯТ

Морские перевозки ОЯТ начали осуществлять на Северо-Западе и на Дальнем Востоке России с 60-х гг. прошлого века в связи с базированием в этих районах АПЛ и надводных кораблей с ЯЭУ. Эти транспортировки осуществляются в основном вдоль берега между военными базами и судоремонтными заводами. На Кольском полуострове перевозки осуществляли и осуществляют как специальные суда АТО ФГУП «Атомфлот», так и военные ПТБ. В 1998 г. теплоходом «Кандалакша» (ОАО «ММП») из порта Дудинка в Мурманск по Северному морскому пути в упаковках ТУК-19 было вывезено ОЯТ ИР ОАО «Норильский никель». Теплоход не был сертифицирован на соответствующий класс для перевозки опасных грузов ни по российским правилам, ни по INF (Irradiated Nuclear Fuel – международный сертификат соответствия судна для перевозки опасных грузов). Российский аналог этого международного сертификата обозначается как «ОЯТ» [21].

В Приложении 3 приведена классификация судов по требованиям Международного кодекса по безопасной перевозке на судах ОЯТ, плутония и ВРАО.

На судах для перевозки ОЯТ и РАО «Россита», «Серебрянка», на судне АТО «Имандра» установлено оборудование АСБТ.

Автомобильные перевозки ОЯТ

При перевозке на автомобилях используются специальные грузовые автомобили, автомобили охраны, разведки. Автомобильный транспорт для перевозки ОЯТ используется преимущественно на небольших расстояниях, например, от места загрузки ТУК на объекте использования атомной энергии до пункта формирования железнодорожного состава, или погрузки на специальное судно, или до аэропорта. Автомобильная перевозка тяжеловесных и опасных грузов с ОЯТ требует специальной техники и дополнительных средств обеспечения безопасности. Она очень уязвима с точки зрения возможных террористических актов.

Авиаперевозки ОЯТ

Авиаперевозки РМ значительно дороже других способов перемещения РМ и используются, как правило, в исключительных случаях. Так, в период 1993–1994 гг. были осуществлены авиаперевозки ОЯТ в Россию из иранского ИР (ИРТ-5000) в ФГУП ПО «Маяк». Это транспортировки были вызваны чрезвычайными обстоятельствами, связанными с войной 1991 г. в Персидском заливе.

В 2009 г. была осуществлена первая сертифицированная перевозка ОЯТ воздушным транспортом из Румынии (ИР ВВР-С). Для транспортировки использовали самолет АН-124-100. Были перевезены 18 ТУК-19 в 6 специальных 20-футовых ISO-контейнерах. В 2009 г. проведена транспортировка ОЯТ ИР ИРТ-10 из Ливии. Без сомнения, применение авиации для выполнения регулярных перевозок ОЯТ – очень дорогое удовольствие и, скорее всего, в обозримом будущем не будет иметь широкого применения, за исключением чрезвычайных ситуаций [21].

В конце 2010 г. высокообогащенный уран (ВОУ) советского производства, предназначенный для ИЯУ Украины, в количестве 50 кг авиарейсами был доставлен в Россию. Россия взяла на себя обязательство забрать («репатриировать») ВОУ из тех стран, куда во времена СССР поставлялось топливо для ИР. На данный момент в Россию вывезено все свежее ВОУ-топливо из Украины, Белоруссии, Чехии, отработавшее ВОУ-топливо – из Украины, Польши, Германии, Сербии, Белоруссии [23].

Начиная с 1996 г. авиакомпания Волга-Днепр обеспечивает авиаперевозки ОГ, в том числе и РМ, имеет лицензию Ростехнадзора на обращение с радиоактивными и ядерными материалами (ЯМ) при их транспортировании. К перевозкам РМ допущены следующие воздушные суда: АН-124-100, ИЛ-76ТД-90ВД, Boeing-747F. С 2009 г. количество авиарейсов с РМ составляет примерно 50–60 в год [3].

4. Вывоз ОЯТ с АЭС различных типов. Состояние на настоящее время и планы по решению имеющихся проблем

Схема движения ОЯТ с АЭС ВВЭР-440: выгрузка из реакторов ОЯТ в блоки выдержки (БВ), после выдержки в БВ в течение определенного времени ОЯТ помещается в ТУК-6 и транспортируется в ФГУП ПО «Маяк». Начало вывоза ОТВС ВВЭР-440 2 и 3 поколения ожидается с 2020 г. Проведен анализ безопасности обращения с этими ОТВС, имеющими увеличенное начальное обогащение и глубину выгорания. На КолАЭС и НВОАЭС внедрены УКГВ МКС-01 ВВЭР. Их применение позволяет выполнять полную загрузку ТУК-6. На 2016 г. запланировано выполнение работ по выбору оптимального для КолАЭС и НВОАЭС варианта вывоза негерметичного ОЯТ в ФГУП ПО «Маяк». Ведутся работы по подготовке к поставке промышленной партии новых контейнеров ТУК-140 [7].

Схема движения ОЯТ РБМК-1000: из реакторов ОЯТ помещается в БВ, далее производится его загрузка в ТК-8 в ХОЯТ, далее ОЯТ поступает в отдел разделки, а затем помещается в ТУК-109. Далее осуществляется перевоз этих ТУКов с ОЯТ на переработку в ПО «Маяк» или в ГХК в хранилище. (На ЛАЭС и Курской АЭС функционируют комплексы контейнерного хранения ОЯТ в ТК-8) [7]. Остается пока проблема – создать технологии обращения с негерметичными ОТВС и некондиционными герметичными ОТВС в части отправки их на хранение в ФГП «ГХК», обеспечить транспортными средствами, включая ампулы для пучков твэлов ОТВС.

Топливо из реакторов АМБ Белоярской АЭС полностью выгружено в БВ, и часть его отправлена в ПО «Маяк». ОЯТ хранится в бассейне выдержки в кассетах К-17у, К-17н, К-35 и в виде просыпей в пеналах. В соответствии с «Программой по обеспечению безопасного хранения и подготовки к вывозу ОЯТ АМБ Белоярской АЭС» выполнены следующие мероприятия: зачехловано 100% кассет К-17у из углеродистой стали в нержавеющей тонкостенные чехлы; изготовлены и установлены в вагон-контейнеры ТУК-84/1; идет работа по получению сертификата на транспортировку ОЯТ в ТУК-84/1 [7]. Предполагалось в 2016 г. начать вывоз ОЯТ АМБ с площадки БелАЭС. Однако ФГУП ПО «Маяк» пока не готов к началу переработки ОЯТ. Отделение разделки и пеналирования ОЯТ АМБ в ФГУП «ПО «Маяк» планируется ввести в дей-

ствие только в 2020 г. Т. о. необходимо обеспечить безопасное хранение ОЯТ АМБ в БВ БелАЭС до 2023 г.

ОЯТ БН-600. Отработавшие тепловыделяющие сборки (ОТВС) вывозятся в ТУК-11БН на переработку в ФГУП «ПО «Маяк». Герметичные ОТВС хранятся в БВ в чехлах 14У без пеналов; негерметичные ОТВС и ТВЭЛы от разделанных при исследовании в ИРМ ОТВС хранятся в БВ в пеналах, установленных в чехлы 14У. В планах – обеспечить подготовку ОЯТ БН-800 к безопасному транспортированию на переработку в ФГУП «ПО «Маяк». Вывоз планируется начать не раньше 2019 г. в ТУК-11БН [7].

ОЯТ Билибинской АЭС (реактор ЭГП-6). Все ОЯТ хранится в бассейнах выдержки энергоблоков. Существующие проблемы: отсутствует возможность начала вывоза топлива в ФГУП ПО «Маяк» на переработку в период до 2022–23 гг. из-за дефицита средств на создание инфраструктуры вывоза ОЯТ. Т. е. до принятия концепции окончательного обращения с ОЯТ ЭГП-6 принят промежуточный вариант обращения с ОЯТ – длительное хранение в приреакторных БВ БилАЭС.

Вывоз ОЯТ с АЭС ВВЭР-1000 с Балаковской, Калининской и Ростовской АЭС производится в ТУК-13В и 13/1В, с Нововоронежской АЭС ЭБ № 5 – в ТУК-10В-1В [10]. ТУК-13 соответствует требованиям правил НП-053-04 и МАГАТЭ TS-R-1 к упаковкам типа В(У). ТУК-13 проектировался в 80-е гг. прошлого столетия для характеристик ОТВС 3-годовой кампании с начальным обогащением до 4,4% и выгоранием до 43 ГВт·сут/тУ. Характеристики ОТВС ВВЭР-1000, с которыми они могут перевозиться в ТУК-13, определяются отраслевым стандартом ОСТ 95 745-2005, согласно которому разрешается перевозка ОТВС с начальным обогащением топлива по U-235 не более 4,40 % и глубиной выгорания топлива не более 58 ГВт·сут/тУ.

Сейчас созданы новые модификации ТВС (ТВС-2М, ТВСА-АЛЬФА, ТВСА-PLUS). Основные изменения в новых модификациях ТВС: увеличение начального обогащения до 4,95 % (с учетом допуска – до 5,00 %); увеличение длины топливной части до 368 см (в перспективе до 373 см); увеличение массы топлива до 545 кг (в перспективе до 585 кг); увеличение удельной массы топлива в ТВС (в перспективе до 1875 г/ТВЭЛ); глубина выгорания топлива до 58 ГВт·сут/тУ; работа в РУ ВВЭР-1000 на мощности 104 % и в перспективе – на 107 %.

Возник вопрос, насколько ТУК-13 может удовлетворять поставленным перед ним новым задачам безопасного транспортирования указанных типов ТВС реактора ВВЭР-1000.

Был проведен анализ, который показал, что конструкция существующего ТУК-13, в т. ч. системы обеспечения ядерной, радиационной безопасности и система теплоотвода от ОЯТ обеспечивают возможность безопасного транспортирования ОТВС при следующих условиях:

1) По условиям ядерной безопасности при проектной аварии требуется ограничение глубиной выгорания перевозимых ОТВС величиной не менее 17 ГВт·сут/т для чего на АЭС требуется инструментальный контроль глубины выгорания ОТВС с помощью УКГВ.

2) По условиям температурного режима упаковки (из ограничения 20 кВт на упаковку) время выдержки для ОТВС с выгоранием 58 ГВт·сут/т должно быть не менее 5,5 лет [12].

В качестве первоочередных мероприятий на АЭС ВВЭР-1000 намечено внедрение на 1-ом и 2-ом ЭБ Калининской АЭС УКГВ топлива в ОТВС.

Для обеспечения вывоза в ТУК-13 ОТВС, имеющих начальное обогащение топлива от 4,4 % до 5,0 %, с остальных энергоблоков ВВЭР-1000 и энергоблоков ВВЭР-1200 на них также должно быть предусмотрено внедрение УКГВ. Результаты расчета показали, что время выдержки ОТВС новых модификаций (ТВС-2М, ТВСА-PLUS) с выгоранием 58 ГВт·сут/т для начальных обогащений 4,92 %, 4,85 % и 4,34 % составит: для ТУК-13В от 6 до 12,5 лет; для ТУК-13/1В от 3 до 5,5 лет. Т. е. ТУК-13/1В может обеспечить транспортирование этих ОТВС с гораздо меньшей выдержкой, что может иметь заметный практический эффект.

ТУК-13/1В с корпусом из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т имеет заметно лучшие защитные свойства по отношению к нейтронному излучению, чем ТУК-13В с корпусом из низколегированной стали 06Н2М [12].

К настоящему моменту разработан и находится на завершающей стадии изготовления новый ТУК-1410 для транспортирования ОТВС ВВЭР-1000 с высоким начальным обогащением.

ем и выгоранием [7]. При этом ожидается снижение срока выдержки ОТВС в приреакторных БВ. На рис. 18 приведено устройство и основные характеристики ТУК-1410 для ВВЭР-1000 [7].

ОЯТ реакторов типа ВВЭР-1000

ТУК-1410

АО «Инженерный центр ядерных контейнеров» по заказу
АО «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности».

Основные характеристики:

- от 18 до 20 ОТВС;
- масса с ОТВС ~ 120т;
- срок выдержки ОТВС:
 - *не менее 3-х лет при выгорании 50 МВт·сут/кг U ;
 - *не менее 5-ти лет при выгорании 70 МВт·сут/кг U, обогащением до 5%
- транспортирование и долговременное хранение

* Относительно обеспечения защитных свойств ТУК-1410

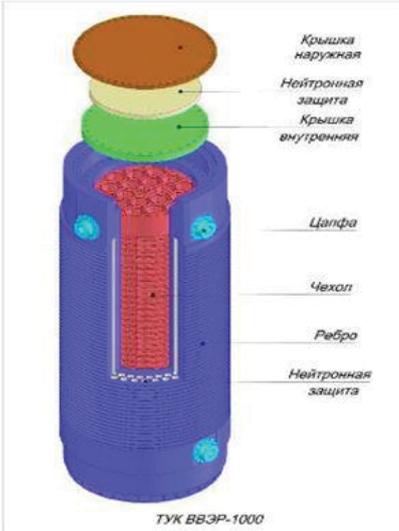
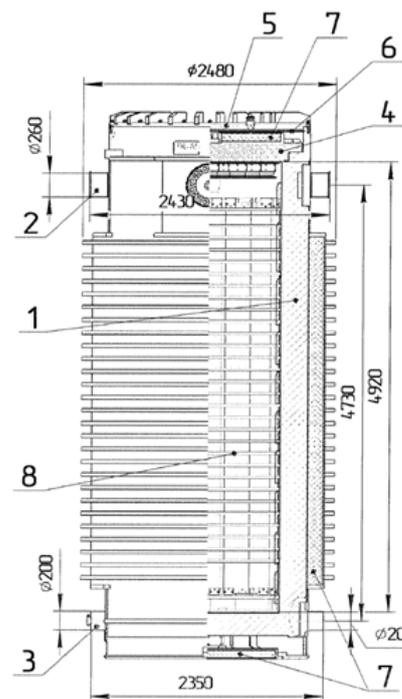


Рис. 18. Слайд из презентации, представленной С. Ф. Картуш (2015 г.) [7].

Основная задача сейчас – это обоснование безопасности ХОТ-1 ГХК при обращении с ОТВС, имеющими выгорание до 58 ГВт·сут/тU, а затем и до 68 ГВт·сут/тU при начальном обогащении топлива в них до 4,95 %, и включение всех таких ТВС, имеющихся на АЭС, в ОСТ 95 745-2005 с выпуском дополнений к сертификатам-разрешениям на конструкцию и перевозку ТУК-13В, ТУК-13/1В с этими ОТВС [10]. Создание новых ТУК, как говорится в докладе, целесообразно в двух случаях: необходимость хранения ОТВС в контейнерах, например, на АЭС «Аккую» – это обеспечивает упаковочный комплект ТУК-151 с двухцелевым контейнером; широкое использование топлива с обогащением по урану-235 выше 5,0 % и глубиной выгорания 75 ГВт·сут/т. На рис.19 показано устройство и основные характеристики ТУК-151 [10].

Упаковочный комплект ТУК-151

Наименование характеристики	Значение или описание характеристики
Вместимость	18 ОТВС
Отводимая тепловая мощность ОТВС	не менее 40 кВт
Начальное обогащение топлива ОТВС	не более 5,0 мас. %
Глубина выгорания топлива ОТВС	не более 75 ГВт·сут/тU
Время выдержки ОТВС в БВ	не более 7,5 лет
Тип нейтронной защиты	твёрдая (полисипоксановый композит Сипбор-5)
Масса упаковки (ТУК с ОЯТ)	не более 120 т
Теплоноситель в контейнере	азот
Материал корпуса контейнера	сталь 09Н2МФБА-А
Срок службы	50 лет



- 1 - корпус контейнера
- 2 - цапфа грузовая (страховочная)
- 3 - цапфа кантовочная
- 4 - крышка основная
- 5 - крышка дополнительная
- 6 - крышка приварная
- 7 - нейтронная защита
- 8 - чехол для ОТВС

Рис. 19. Слайд из презентации, представленной А. В. Смирновым (2015 г.) [10].

В своем докладе Д. И. Саушкин [17] рассказал о создании двухцелевого ТУК-137Д для транспортирования и длительного хранения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000/1200. Эти ТУКи могут использоваться для сухого хранения ОЯТ, что приведет к уменьшению эксплуатационных затрат. Другие преимущества этих ТУК: модульная конструкция (возможность расширения); независимость от ввода объектов инфраструктуры переработки; повышение безопасности хранения; унификация технологий. Технические характеристики ТУК-137Д приведены на рис. 20. Для транспортирования ОЯТ реакторов РБМК-1000 используется его аналог – ТУК 109Т. Конструкции этих ТУКов выполнены в соответствии с единой технической политикой. Материалы и конструктивное исполнение составных частей ТУК-109Т и ТУК-137Д на 80% аналогичны. Основные отличия состоят в конструкции чехла, массе гамма-защиты и массе нейтронной защиты. Проведенные испытания опытного образца ТУК-109Т подтвердили способность контейнера выдерживать регламентированные аварийные механические воздействия с сохранением герметичности. На конец 2015 г. изготовлено 8 шт. ТУК-109Т, сертифицирован ж/д транспортер ТК-У, способный перевозить как ТУК-109Т, так и ТУК-137Д.



Рис. 20. Слайд из презентации, представленной Д. И. Саушкиным (2015 г.) [17].

Упаковки ОЯТ подразделяют на два типа: В(У) и В(М). Упаковки ОЯТ типа В(У) могут использоваться при температурах окружающей среды от минус 50 до плюс 38 °С. Конкретные значения параметров и диапазон температур окружающей среды, в котором должны быть обеспечены эти параметры для упаковки типа В(М), устанавливаются в проекте упаковки, они подлежат утверждению Ростехнадзором. Тип упаковки входит в опознавательный знак упаковки ОЯТ. К обозначению типа упаковки, содержащей делящийся материал, добавляют символ «F» [В(У)F, В(М)F], указывающий на наличие в ней делящегося материала.

Вывоз некондиционного ОЯТ с РБМК-1000

Проблеме вывоза некондиционного ОЯТ с РБМК-1000 в ПО «Маяк» на переработку было посвящено несколько докладов на Форуме в Санкт-Петербурге [9, 10]. В соответствии с «Программой создания инфраструктуры и обращения с ОЯТ на 2011–2020 гг. и на период до 2030 г.» с целью обеспечения удаления всего ОЯТ энергоблоков с реакторами РБМК из приреакторных бассейнов выдержки и ХОЯТ ГК «Росатом» было принято решение создать проект по вывозу некондиционных ОТВС РБМК-1000. Для этого предложено использовать ТУК-109, оснастить его специальным чехлом с ампулами увеличенного по сравнению со стандартной ампулой диаметра. В 2014 г. был осуществлен первый вывоз 4-х ТУК-109 (каждый на 102 ампулы) с некондиционным ОЯТ с ЛАЭС в ФГУП ПО «Маяк» на переработку.

5. Перевозка ОЯТ из исследовательских реакторов

В соответствии с договорами и обязательствами России происходит вывоз ОЯТ из исследовательских реакторов, построенных за рубежом во времена Советского Союза. Прием, а, следовательно, и транспортирование РАО из-за рубежа запрещены федеральным законодательством.

В ходе проекта по созданию упаковки типа С в России был разработан ТУК-145/С, предназначенный для перевозки ОЯТ ИР любым видом транспорта, в том числе воздушным, без ограничений по количеству радиоактивного содержимого и удовлетворяющий всем требованиям российских и международных нормативных документов по безопасности перевозки [11]. В 2013 г. в рамках Программы возврата топлива исследовательских реакторов российского происхождения (программа RRRFR) в упаковке ТУК-145/С с использованием воздушного транспорта были вывезены на переработку в Россию ТВС типа ВВР-М/М2 с высокообогащенным ураном из ИР DNRR (г. Далат, Вьетнам) и BRR (г. Будапешт, Венгрия) [11]. ТУК-145/С может также быть использован при перевозке: фрагментов ОТВС энергетических реакторов на исследования; высокоактивных РАО или закрытых радиоактивных источников; активных зон малогабаритных реакторов источников нейтронов (MNSR); жидкого ОЯТ ИР [11].

В своем докладе Ме Буду [8] остановился на перевозках ОЯТ из исследовательских реакторов на переработку или на длительное хранение. На рис.21 приведены используемые для этих целей ТУКи.

ТУК	Вид транспорта
ТУК-19	автомобильный, ж/д, морской/речной, воздушный
ТУК-145/С	автомобильный, ж/д, морской/речной, воздушный
ŠKODA VPVR/M	автомобильный, ж/д, морской/речной
Castor MTR2	автомобильный, ж/д, морской/речной
ТУК-128 (ТУК-135)	автомобильный, ж/д
ТУК-32	ж/д
TN™MTR-68, 44, RHF	автомобильный, ж/д, морской/речной
TN™MTR-52, 52S, 52SV2	автомобильный, ж/д, морской/речной
TN-LC	автомобильный, ж/д, морской/речной
TN°17/2	автомобильный, ж/д, морской/речной
NAC-LWT	автомобильный, ж/д, морской/речной

Рис. 21. Слайд из презентации, представленной Ме Буду (2015 г.) [8].

6. Транспортировка ОЯТ за рубежом и между Россией и другими странами

Основным видом транспорта для перемещения ОЯТ внутри ядерных стран является железная дорога. По заключению МАГАТЭ и национальных агентств по ядерной и радиационной безопасности железнодорожные транспортировки являются достаточно безопасными. Однако признается, что до конца не исследованы проблемы, которые могут возникнуть в связи с терро-

ризмом, а также вопросы, касающиеся транспортировки ОЯТ через густонаселенные территории.

Морской транспорт используется при транспортировке ОЯТ между странами и континентами, например, между Японией и Европой, между континентальной Европой и Великобританией, а также между Россией и европейскими странами. Некоторые страны перевозят ОЯТ специальными судами вдоль своего побережья (например, Швеция) [21].

Правила МАГАТЭ не запрещают перевозку ОЯТ воздушным транспортом, но имеют ряд дополнительных требований к безопасности, поскольку последствия аварии с самолетом значительно более тяжелые, чем с наземным или водным транспортом. По оценкам, воздушная транспортировка ОЯТ осуществляется достаточно редко и только в тех случаях, когда сложно или невозможно вывезти его иным способом.

Сегодня морская транспортировка ОЯТ между Россией и другими государствами осуществляется в основном в рамках международных договоров, в соответствии с которыми отработавшее топливо из АЭС, а также из исследовательских реакторов, построенных Россией (СССР), должно быть возвращено на территорию России. Так в 2008 г. была осуществлена морская перевозка ОЯТ ИР из Венгрии (по маршруту Копер (Словения) – Мурманск) теплоходом Lунх (сертификат класса INF-2) под датским флагом. ОЯТ (1,7 т) было упаковано в транспортные контейнеры SKODA VPVR/M, которые, в свою очередь, были раскреплены в усиленных 20-футовых ISO-контейнерах. В 2010 г. теплоход Puma под датским флагом доставил в Мурманск 2,5 тонны ОЯТ сербского реактора RA из Винчи (Сербия) по аналогичному маршруту. В 2009 г. было проведено переоборудование российского теплохода «МСЛ Треjder» в соответствии с международными требованиями для перевозки ОЯТ (сертификат класса INF-2). Это судно в 2009–2010 гг. выполнило 5 морских транспортировок ОЯТ (25,5 т) польских ИР из порта Гдыня (Польша) в Мурманск.

В 2011 г. ФГУП «Атомфлот» получило в управление новое судно ледового класса «Россита» (многофункциональное судно-контейнеровоз), специально предназначенное для транспортировки ОЯТ и РАО (сертификат класса INF-3). Оно может перевозить по 16 штук ТУК-18. «Россита» должна обеспечить перевозки ОЯТ и РАО на период проведения реабилитационных работ на Северо-Западе России. Риски морских перевозок достаточно велики. Например, в декабре 2001 г. ПТБ «Имандра», на борту которой находилось ОЯТ, проходя по акватории СРЗ «Нерпа» (ЗАТО Снежногорск, Мурманская обл.), из-за сложных метеоусловий и сильного ветра навалилась на выведенную из эксплуатации АПЛ, стоящую у пирса, и получила небольшую пробоину в районе ватерлинии. С помощью экипажа и аварийных служб удалось предотвратить серьезные последствия этого столкновения [21].

На форуме в Санкт-Петербурге (2015 г.) несколько докладов были посвящены транспортировке ОЯТ за рубежом. Так, в своем докладе В. Штайнварц [13] рассказал об истории разработки и лицензирования контейнеров CASTOR. Конструкция этих контейнеров выполнена из высокопрочного чугуна. Имеется борированная корзина из нержавеющей стали, сверления в стенке для замедлителей. Контейнеры используются в Германии, Швейцарии, США, Японии. В контейнер CASTOR 440/84 помещают 84 ОТВС ВВЭР или 24 короткие ОТВС ВВЭР. Допускается максимальное выгорание 40 ГВт сут/тТМ. В контейнер CASTOR RBMK помещают 91 стержень RBMK-BE. Максимальное выгорание 26 ГВт сут/тТМ. Эти контейнеры применялись в Игналине и Козлодуе [13].

7. Транспортировка радиоактивных отходов (РАО)

Транспортировка РАО имеет большое значение как для экономики, так и для безопасности атомной отрасли, т. к., в соответствии с Федеральным законом №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами» [22] в ближайшие годы предстоит перевести сотни тысяч кубометров РАО из ПВХ РАО в ПЗРО.

Классификация РАО осуществляется в соответствии с ФЗ-190. Все РАО подразделяются на 6 классов [22].

Обобщенные данные по контейнерам для кондиционированных ТРО [16]:

- Контейнер невозвратный для хранения и захоронения НТРО, СТРО в первичных упаковках или без них при условии не превышения мощности доз на поверхности 2мЗв/час, а на расстоянии 1м от поверхности 0,1 мЗв/час. Тип контейнера НЭК-150-1.5, на 1.5 м³.

- Контейнер невозвратный для транспортирования и временного хранения НТРО в первичных упаковках (бочках вместимостью 0,2 м³). Тип контейнера УКТ1А-6 (ЯНМИ.305179.012). Вместимость 2.72 м³.

- Контейнер невозвратный для хранения и захоронения СТРО, ВТРО в первичных упаковках или без них. Для высокоактивных ТРО требуется применение дополнительного защитного вкладыша. Тип контейнера НЭК-400-0.3. Вместимость 0.3 м³.

- Бочка для сбора, транспортирования, хранения и захоронения мелкогабаритных ТРО, «мягких» ТРО, грунта и т. д. НТРО, СТРО. Подлежит применению в технологических процессах, сортировки ТРО, прессования ТРО. Подлежит хранению в составе НЗК-150-1,5П, УКТ1А-6, ЯНМИ.305179.012. Тип контейнера БН-0.2. Вместимость 0.2 м³.

- Контейнер металлический невозвратный для хранения и захоронения крупногабаритных металлических ТРО, ловушек, фрагментов бетонных конструкций НТРО, СТРО. Уложенные в контейнер ТРО могут быть дополнительно забетонированы. Перевозке подлежит в составе ТУК. Тип контейнера КТ-6000 невозвратный, КТО-6000 оборотный. Вместимость 6 м³.

- Контейнер металлический невозвратный для хранения и захоронения НТРО, СТРО. Уложенные в контейнер ТРО могут быть дополнительно забетонированы. Перевозке подлежит в составе транспортного упаковочного комплекта. Тип контейнера КТ-2000 (невозвратный), КТО-2000 (оборотный). Вместимость 2 м³.

- Контейнер оборотный для транспортирования железнодорожным и автомобильным видами транспорта металлических ТРО низкой удельной активности группы НУА-2 (LSA-2) и поверхностным радиоактивным загрязнением группы ОПРЗ-2 (SCO-2) с радионуклидным составом ⁶⁰Co; ¹³⁷Cs; ⁵⁴Mn; ²²⁶Ra; ²³⁰Th и максимальной удельной активностью радионуклидов, дающих основной вклад в уровень излучения: 1500 Бк/кг ¹³⁷Cs; 450 Бк/кг ⁶⁰Co. Перевозка контейнера должна осуществляться в грузовых универсальных контейнерах типа ИСС по ГОСТ 18477-79. Тип контейнера КТБН-3000, чертеж 4П.-516.000.00.СБ. Вместимость 3000 кг. Принадлежит «ЭКОМЕТ-С». Контейнер сертифицирован. Соответствует требованиям упаковки А по ГОСТ 16327-88. Транспортная категория II-желтая.

- Контейнер оборотный для транспортирования ТРО низкой удельной активности группы НУА-I и НУА-II и поверхностным радиоактивным загрязнением группы ОПРЗ-I и ОПРЗ-II с радионуклидным составом ⁹⁰Sr; ⁶⁰Co; ¹³⁷Cs; ⁹⁵Zr; ⁹⁵Nb; ¹⁰⁶Ru; ⁵¹Cr; ¹⁴⁴Ce и максимальной удельной активностью радионуклидов, дающих основной вклад в уровень излучения: 2.5x10⁷ Бк/г ¹³⁷Cs; 2.5x10⁷ Бк/г ⁶⁰Co. Перевозка контейнера КТО-800 должна осуществляться на специальном автомобиле. Тип контейнера КТО-800, КТ-800 – не оборотный. Вместимость 500 кг. Контейнер сертифицирован. Соответствует требованиям упаковки А по ГОСТ 16327-88. Транспортная категория III. Планируется так же применение контейнера в качестве невозвратной упаковки (модификация КТ-800).

- Контейнеры металлические защитные оборотные для сбора, транспортирования по территории объекта и временного хранения контейнеров ССК, СТРО, ВТРО различных типоразмеров. Тип контейнера КЗ-00 под габариты бочки БН-0,2. Вместимость определяется габаритами транспортируемых ТРО.

В своем докладе П. Л. Лямин [15] рассказал о создании ТК для среднеактивных РАО (СРАО) с клиновыми замками (см. рис. 22). Контейнер УКТ1А-150-1,5/4КЗ за счет своих конструктивных особенностей позволяет производить постепенное заполнение объема без герметизации крышки цементным раствором, что особенно выгодно при небольших объемах образования СРАО. Только после полного заполнения контейнера производится герметизация крышки и транспортирование контейнера.

В настоящее время разработан технический проект контейнера для среднеактивных ТРО на основе БПА и СБС (базальто-пластиковая арматура и стирол-бутадиен-стирольный каучук). Масса контейнера за счет применения БПА уменьшилась почти на 300 кг. На основе проведенных вычислений сделан вывод о том, что УК обладает запасом долговечности без образования трещин в бетоне при действии статических нагрузок не менее 600 лет. На основе разработанного контейнера возможно создание обратного контейнера, что позволит сократить общее количество контейнеров, необходимых для сбора, хранения и транспортирования СРАО.



Рис. 22. Слайд из презентации, представленной П. Л. Ляминам (2015 г.) [15].

В своем докладе Ю. И. Фейзрахманова [18] привела данные по гибким упаковкам типа ПУ-2 для РАО 4 и 6 классов, которые широко используются при ВЭ радиационно-опасных объектов в США и Великобритании для хранения, перевозки и захоронения НАО (ОНАО), (см. рис. 23 и 24). Эти упаковки применяются для размещения в них твердых частиц крупного размера (песок, гравий, бетон, строительный мусор); стальных элементов, древесины; активированных металлических изделий, твердых веществ, загрязненных радиоактивными веществами, и т. п. Все упаковки проходят испытания и сертифицированы согласно ISO 9001:2008 [18].



Гибкие упаковки – испытаны

в соответствии с требованиями МАГАТЭ SSR-6



Имитаторы радиоактивного содержимого



Рис. 23. Слайд из презентации, представленной Ю. И. Фейзрахмановой (2015 г.) [18].



Использование гибких упаковок



Рис. 24. Слайд из презентации, представленной Ю. И. Фейзрахмановой (2015 г.) [18].

9. Транспортировка РИТЭГов

В настоящее время ведется демонтаж и вывоз РИТЭГов, большое количество которых были размещены на побережье различных морей. Утилизация РИТЭГов проходит под надзором МАГАТЭ при финансировании США, Норвегии и других стран. К началу 2011 г. демонтировано 539 РИТЭГов. По состоянию на 2012 г. 72 РИТЭГа эксплуатируются, 3 утеряны, 222 на хранении, 31 в процессе утилизации. Четыре установки эксплуатировались в Антарктиде [20].

По данным на ноябрь 2015 г., Россия и США совместно обезопасили 486 РИТЭГов и изготовили 295 альтернативных источников энергии. На настоящий момент все РИТЭГи из Антарктиды вывезены [26].

Заключение

Как было отмечено в нескольких докладах [1, 5], за 70 лет в России не было отмечено ни одного серьезно ядерного или радиационного происшествия при перевозке РМ. Однако успокаиваться не стоит. Во-первых, из-за перемещения ОЯТ (как нормального, так и некондиционного) из приреакторных хранилищ в ФГУП ПО «Маяк» или в ГХК АЭС, а также в связи с тем, что в соответствии с ФЗ-190 необходимо РАО из множества ПВХ РАО переместить в нескольких региональных ПЗРО. Т. е. предстоит перевозка миллионов тонн РАО, в том числе ВРАО. А количество, как известно, может перейти в качество. Также необходимо учитывать резко возросшую опасность от терроризма.

Список литературы

1. Райков С. В. 70 лет атомной отрасли. 70 лет безопасных перевозок радиоактивных материалов. Презентация. М. – СПб, 2015.
2. Давыдов Ю. Л. Создание Автоматизированной системы безопасности транспортирования РМ Госкорпорации «Росатом»: основные результаты и перспективные направления работ. Презентация. СПб, 2015.
3. Гуляновский А. А. Обеспечение безопасности авиаперевозок опасных грузов. Презентация. СПб, 2015.
4. Нащокин В. В. Реформа отраслевой транспортной структуры. Презентация. СПб, 2015.
5. Ершов В. Н. Перевозка радиоактивных материалов. Обзорная лекция-доклад. Презентация. СПб, 2015.
6. Гаврилов П.М. Безопасность транспортирования и хранения ОЯТ на ФГУП «ГХК». Презентация. СПб, 2015.
7. Картуш С. Ф. Обращение с ОЯТ АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом». Презентация. СПб, 2015.
8. Тожер С., Маршалл Ф., Адельфанг П., Бредли Е. (МАГАТЭ), Буду М. (ООО НПФ «Сосны»), Чигуер М. (AREVA). Доступные услуги по переработке и рециклированию. Презентация. СПб, 2015.
9. Козлов Ю. В., Лазарев А. Л., Новиков В. П., Размашкин Н. В., Смирнов А. В. – АО «Атомпроект»; Симонов В. Н. (Ленинградская АЭС); Бугров К. В., Гусев П. Б., Карлов А. А. (ФГУП «ПО «Маяк»»). ОЯТ ИР. Вывоз некондиционного ОЯТ РБМК-1000 с ЛАЭС в ФГУП «ПО «МАЯК»» на переработку. Презентация. СПб, 2015.
10. Козлов Ю. В., Куликов В. И., Лазарев А. Л., Смирнов А. В. Обеспечение вывоза с АЭС ОЯТ реакторов ВВЭР-1000. Презентация. СПб, 2015.
11. Иващенко А. А., Комаров С. В., Самсонов А. А., Кудояров Р. Р., Кашкиров С. А. (ООО НПФ «Сосны»). Опыт использования упаковки типа С для авиаперевозок ОЯТ исследовательских реакторов. Презентация. СПб, 2015.
12. Иванюк А. И., Куликов В. И., Лазарев А. Л., Смирнов А. В. (АО «Атомпроект»). Возможности ТУК-13 при транспортировании новых модификаций ОТВС реакторов ВВЭР-1000. Презентация. СПб, 2015.
13. Штайнварц В., Радченко М. История разработки, обоснования безопасности и лицензирование? контейнеров CASTOR. Презентация. СПб, 2015.
14. Киркин А. М. Результаты расчетно-экспериментального исследования параметров ЯРБ транспортирования ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 в ТУК-153. Презентация. СПб, 2015.
15. Александров Н. И., Лямин П. Л., Петухов В. В. Транспортный контейнер для СРАО с клиновыми замками. Презентация. СПб, 2015.
16. Пауте А. В. Структурирование проблемы унификации парка транспортных контейнеров. Презентация. СПб, 2015.
17. Саушкин Д. И. Двухцелевой транспортный упаковочный комплект ТУК-137Д для транспортирования и длительного хранения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000/1200. Презентация. СПб, 2015.
18. Фейзрахманова Ю. И. Гибкие упаковки типа ПУ-2 для РАО 4 и 6 классов. Презентация. СПб, 2015.
19. Иванов А. С. Практические результаты деятельности сети филиалов АО «Атомспецтранс». Презентация. СПб, 2015.
20. Радиоизотопный термоэлектрический генератор. Аварии с РИТЭГами. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

21. «Ядерные делящиеся материалы (практика обращения, обзор технологий, проблемы и перспективы)». Доклад «Беллоны», 2012.
22. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
23. http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2011/Ukraine-transport
24. http://bellona.ru/articles_ru/articles_2015/1447854495.86
25. Обеспечение радиационной безопасности при транспортировании РМ. Презентация. СПб, 2015.
26. http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2015/ritegs_destroyed
27. ГОСТ Р 52761-2007: Транспортные упаковочные комплекты для радиоактивных материалов. Виды и порядок проведения испытаний, правила приемки.

Приложение 1

Основные нормативные документы, регламентирующие безопасность при транспортировании радиоактивных материалов

- Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов. НП-053-04 (пересматриваются).
- РБ-039-07. Руководство по безопасности. Обеспечение безопасности при транспортировании радиоактивных материалов (справочный материал к правилам безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, НП-053-04).
 - Правила SSR-6 (TS-R-1)
 - Руководство по безопасности SSG-26 (TS-G-1.1) МАГАТЭ.
 - Правила физической защиты радиоактивных веществ и радиационных источников при их транспортировании. НП-073-11.
 - Правила физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов (Постановление правительства РФ от 19.07.2007 № 456).
 - Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании ЯМ и РВ (НП-074-06).
 - Постановление правительства «О государственном компетентном органе по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ЯИ и РВ...»
 - Федеральный закон № 317 от 01.12.07,
 - Постановление правительства от 02.04.2001 № 190 с изменениями от 15.09.2009 № 751.
 - Правила организации и осуществления специальных железнодорожных перевозок (Постановление правительства от 17.05.2006 № Л 292-18).
 - Административный регламент Федерального агентства по атомной энергии по исполнению государственной функции «Выдача сертификатов (разрешений) на перевозки радиоактивных материалов и ведение их реестра» (Приказ ГК «Росатом» от 10.10.2007 № 527).
 - Совместный приказ ГК «Росатом» и Минтранса России от 17 сентября 2008 г. № 434/150 «Об утверждении Положения о взаимодействии Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и Федерального агентства морского и речного транспорта с организациями, участвующими в работах по ликвидации последствий аварий при транспортировании радиоактивных материалов морским транспортом».
 - Соглашение «О взаимодействии Министерства Российской Федерации по атомной энергии и Министерства транспорта Российской Федерации по вопросам обеспечения безопасности и ликвидации чрезвычайных ситуаций при транспортировке ядерных материалов и радиоактивных отходов» от 31 декабря 2002 г.
 - Приказ Минтранса Российской Федерации от 26 ноября 2007 г. № 169 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме организации и координации деятельности поисковых и аварийно-спасательных служб (как российских, так и иностранных) при поиске и спасении людей и судов, терпящих бедствие на море в поисково-спасательных районах Российской Федерации единой государственной системы предупреждения к ликвидации чрезвычайных ситуаций».
 - Постановление Правительства Российской Федерации от 19 марта 2001 г. № 204 «О государственном компетентном органе по ядерной и радиационной безопасности при перевозках ядерных материалов, радиоактивных веществ и изделий из них» (в редакции постановления Правительства РФ от 04.09.2012 г. № 882).

Приложение 2. Инциденты с РИТЭГ на территории СНГ. (Источники данных: НКО «Bellona» и МАГАТЭ) [20]

<i>ат а</i>	<i>Место</i>	<i>Описание инцидента</i>
983, март	Мыс Нутэвги, Чу- котка	Сильное повреждение РИТЭГа по пути к месту установки. Факт аварии был скрыт персоналом, обнаружен комиссией Госатомнадзора в 1997 г. По состоянию на 2005 г. данный РИТЭГ был заброшен и оставался на мысе Нутэвги. По состоянию на 2012 г. все РИТЭГи вывезены из Чукотского автономного округа.
987	Мыс Низкий, Саха- линская обл.	При транспортировке вертолет уронил в Охотское море РИТЭГ типа ИЭУ-1, который принадлежал Министерству обороны СССР. По состоянию на 2013 г. поисковые работы, с перерывами, продолжаются.
997	Таджикистан, Ду- шанбе	Три отслуживших свой срок РИТЭГа хранились в разобранном неизвестными лицами виде на угольном складе в центре Душанбе, вблизи был зарегистрирован повышенный гамма-фон.
997, ав- густ	Мыс Марии, Саха- линская обл.	При транспортировке вертолет уронил в Охотское море РИТЭГ типа ИЭУ-1, который оставался на дне на глубине 25-30 м. Спустя 10 лет был поднят и отправлен на утилизацию.
998, июль	Корсаковский порт, Сахалинская обл.	В пункте приема металлолома обнаружен в разобранном виде РИТЭГ, принадлежащий Минобороны РФ.
999	Ленинградская обл.	РИТЭГ разграблен охотниками за цветными металлами. Радиоактивный элемент (фон вблизи – 1000 Р/ч) был найден на автобусной остановке в Кингисеппе.
000	Мыс Бараниха, Чу- котка	Естественный фон близ аппарата был превышен в несколько раз вследствие неисправности РИТЭГ.
001, май	Кандалакшский за- лив, Мурманская обл.	С маяков на острове похищены 3 радиоизотопных источника, которые были обнаружены и отправлены в Москву.
002, фев- раль	Село Лия Цален- джихского района, Запад- ная Грузия	В районе села Лия Цаленджихского района местными жителями найдено два РИТЭГа, которые были ими использованы как источники тепла, а затем разобраны. В результате несколько человек получили высокие дозы облучения.
003	о. Нунэанган, Чукотка	Установлено, что внешнее излучение РИТЭГа превышало допустимые пределы в 5 раз по причине недостатков в его конструкции.
003	о. Врангеля, Чукот- ка	Вследствие размыва берега установленный здесь РИТЭГ упал в море, где был замыт грунтом. В 2011 г. штормом выброшен на побережье. Радиационная защита

<i>ат а</i>	<i>Место</i>	<i>Описание инцидента</i>
		аппарата не повреждена. В 2012 г. вывезен с территории Чукотского автономного округа.
003	Мыс Шалаурова Изба, Чукотка	Радиационный фон вблизи РИТЭГа был превышен в 30 раз по причине недостатка в конструкции РИТЭГ.
003, март	Пихлисаар, Ленинградская обл.	РИТЭГ разграблен охотниками за цветными металлами. Радиоактивный элемент был выброшен на ледовое покрытие. Горячая капсула со стронцием, проплавив лед, ушла на дно, фон вблизи составил 1000 Р/ч. Капсула была вскоре найдена в 200 м от маяка.
003, август	Шмидтовский район, Чукотка	Инспекция не обнаружила РИТЭГ типа «Бета-М» № 57 в месте установки у реки Кывэквын; по официальной версии предполагалось, что РИТЭГ был замыт в песок в результате сильного шторма или что он был похищен.
003, сентябрь	Остров Голец, Белое море	Персонал Северного флота обнаружил хищение металла биологической защиты РИТЭГа на острове Голец. Была также взломана дверь в помещение маяка, где хранился один из наиболее мощных РИТЭГов с шестью элементами РИТ-90, которые украдены не были.
003, ноябрь	Кольский залив, губа Оленья и остров Южный Горячинский	Два РИТЭГа, принадлежащие Северному флоту, разграблены охотниками за цветными металлами, а их элементы РИТ-90 найдены неподалеку.
004	Приозерск, Казахстан	Чрезвычайная ситуация, произошедшая вследствие несанкционированной разборки шести РИТЭГов.
004, март	пос. Валентин, Приморский край	РИТЭГ, принадлежащий Тихоокеанскому флоту, найден разобранным, по-видимому, охотниками за цветными металлами. Радиоактивный элемент РИТ-90 обнаружен неподалеку.
004, июль	Норильск	На территории воинской части было обнаружено три РИТЭГа, мощность дозы на расстоянии 1 м от которых в 155 раз превышала естественный фон.
004, июль	Мыс Наварин, Чукотка	Механические повреждения корпуса РИТЭГа неизвестного происхождения, в результате чего произошла разгерметизация и часть радиоактивного топлива выпала наружу. Аварийный РИТЭГ вывезен на утилизацию в 2007 г., пораженные участки прилегающей территории были дезактивированы.
004, сентябрь	Земля Бунге, Якутия	Аварийный сброс двух перевозимых РИТЭГов с вертолета. В результате удара о землю целостность радиационной защиты корпусов была нарушена, мощность дозы гамма-излучения вблизи места падения составляла 4 мЗв/ч.
012	о. Лишний, Таймыр	В месте установки РИТЭГа проекта «Гонг» обнаружены его обломки. Предполагается, что аппарат был

<i>ата</i>	<i>Место</i>	<i>Описание инцидента</i>
		смыт в море. Обнаружен в 2014 г. под водой в 200 м севернее острова Лишний совместной экспедицией ФГУП «Гидрографическое предприятие» и ООО «ТехноТерра».

Приложение 3. Классификация судов для перевозки РМ

Классификация судов по требованиям Международного кодекса по безопасной перевозке на судах упакованного отработавшего ядерного топлива, плутония и высокорadioактивных отходов

Класс	Условия
INF-1	Для ОЯТ с суммарной активностью менее $1,1 \times 10^5$ Ки (4×10^{15} Бк)
INF-2	Для ОЯТ или высокоактивных РАО с суммарной активностью менее $5,4 \times 10^7$ Ки (2×10^{18} Бк), а также для плутония с суммарной активностью не более $5,4 \times 10^6$ Ки (2×10^{17} Бк)
INF-3	Для ОЯТ, высокоактивных отходов и плутония без ограничений по максимальной совокупной радиоактивности

