Определение количества, качества, формы и вида упаковки радиоактивных отходов, возвращаемых после технологического хранения и переработки ОТВС

Авторы: **А.Н. Дорофеев, А.А. Иващенко, С.Н. Комаров, С.В. Семеновых**

Sosny Research & Development Company, Russia

Правовые аспекты ввоза, обращения с ОТВС ИР и РАО

- Основанием для ввоза ОТВС ИР в РФ являются межправительственные соглашения;
- В ряде случаев (Узбекистан, Чешская Республика, Казахстан, Украина) межправительственные соглашения содержат положения, в соответствии с которыми продукты переработки ОТВС ИР возвращаются;
- «Продукты переработки» – получаемые в процессе переработки ОТВС в смеси или раздельно регенерированный U, Pu, ТПЭ, отдельные радионуклиды или их смеси, а также РАО;
- «РАО» – образовавшиеся при переработке ОТВС ЯМ и РВ, дальнейшее использование которых не предусматривается;
- Ядерное топливо, ввезенное в РФ по Соглашению между РФ и США, и любой ядерный материал (кроме РАО), полученный из него, не вывозятся из РФ и не передаются из-под юрисдикции РФ. Возврату в страну поставщика ОТВС ИР подлежат только РАО (регенерированные U, Pu и Np не возвращаются).

Правовые аспекты ввоза, обращения с ОТВС ИР и РАО

Количество продуктов переработки, подлежащих возврату, определяется по согласованным сторонами методикам исходя из условия эквивалентности активности ввезенных ранее с целью переработки ОТВС и активности возвращаемых продуктов переработки с учетом естественного распада радионуклидов при осуществлении операций временного технологического хранения ОТВС и продуктов переработки, а также при переработке облученных сборок.

Таким образом, для обеспечения выполнения международных обязательств по возврату РАО необходима разработка с учетом достигнутого к настоящему времени уровню развития науки и техники соответствующих методологических подходов, согласованных заинтересованными ведомствами и организациями России и страны грузоотправителя ОТВС ИР, и определение количества, качества и формы РАО, подлежащих возврату в страну поставщика ОТВС ИР после переработки партии ОТВС ИР.

Особенности переработки ОТВС и обращения с продуктами переработки на ФГУП «ПО «Маяк»

На ФГУП «ПО «Маяк» используется следующая технологическая цепочка обращения с ОТВС:

- временное технологическое хранение ОТВС;
- переработка ОТВС с целью извлечения целевых продуктов переработки (U, Pu и ТПЭ);
- кондиционирование образующихся РАО;
- временное технологическое хранение кондиционированных РАО.

Срок временного технологического хранения ОТВС зависит от их активности и плана работы перерабатывающего завода и достигает нескольких лет. В среднем срок хранения ОТВС составляет 2 года.

Технология переработки ОТВС основана на экстракционном процессе, известном в мире как пурекс-процесс. Пурекс-процесс включает растворение ОТВС и отделение плутония, урана и нептуния от остаточных продуктов деления и актиноидов. Готовой продукцией завода РТ-1 (целевыми продуктами переработки) являются уран, плутоний, нептуний.

Особенности переработки ОТВС и обращения с продуктами переработки на ФГУП «ПО «Маяк»

В процессе экстракции U, Pu и Np из азотнокислого раствора ОЯТ извлекается 98-99 % целевых продуктов переработки, содержащихся в ОЯТ. В среднем, доля попадающих в РАО (неизвлеченных) целевых продуктов переработки (U, Pu и Np), составляет порядка 0,14% от их исходного содержания в ОТВС перед переработкой.

При переработке ОТВС образуются следующие виды РАО:

- остеклованные РАО, содержащие практически все ПД (за исключением газообразных и легколетучих), совместно с Am, Cm и неизвлеченными из ОЯТ U, Pu, Np;
- дистиллят трития;
- азотно-кислый рафинат аффинажного отделения;
- йод;
- криптон и ^{14}C.

Возврату подлежат только остеклованные РАО. Возврат остальных РАО технически невозможен. При этом вклад нуклидов, не подлежащих возврату, компенсируется в возвращаемых РАО другими радионуклидами.

Особенности переработки ОТВС и обращения с продуктами переработки на ФГУП «ПО «Маяк»

Жидкие РАО, содержащие основную часть ПД, совместно с Am, Cm, растворенным конструкционным материалом и неизвлеченными U, Pu, Np, остекловывают в электрическом керамическом плавителе с получением натрийалюмофосфатного стекла.

Срок временного технологического хранения РАО устанавливается ВТК на оказание услуг по хранению и переработке ОТВС и определяется необходимостью снижения излучения и тепловыделения до уровней, обеспечивающих безопасное транспортирование кондиционированных РАО в страну грузоотправителя ОТВС. Как правило, срок временного технологического хранения РАО составляет не более 18 лет.

Критерий эквивалентности количества возвращаемых РАО

- Количество продуктов переработки, подлежащих возврату в государство поставщика, определяется по согласованным сторонами методикам исходя из условия эквивалентности активности ввезенных с целью переработки облученных сборок и активности возвращаемых продуктов переработки с учетом естественного распада радионуклидов при осуществлении операций временного технологического хранения облученных сборок и продуктов переработки, а также при переработке облученных сборок.
- Проблемы:
- Основной объем перерабатываемого на ФГУП «ПО «Маяк» топлива составляют ОТВС энергетических реакторов. Объемы их поступления, соотношение по типам ОТВС и интегральные характеристики на момент поступления существенно не изменяются в течение длительного времени. Радионуклидный состав ОТВС ИР по отношению ПД и актинидов существенно отличается от радионуклидного состава ОТВС энергетических реакторов.
- Отсутствует определение «эквивалентности активности»

Дозовый эквивалент активности нуклида

$A_i \cdot D_i$ – потенциальная опасность *i*-го нуклида, где:

A_i – активность *i*-го нуклида,

D_i – дозовый коэффициент i-го нуклида, (ожидаемая эффективная доза на единицу поступления нуклида в организм, Зв/Бк)

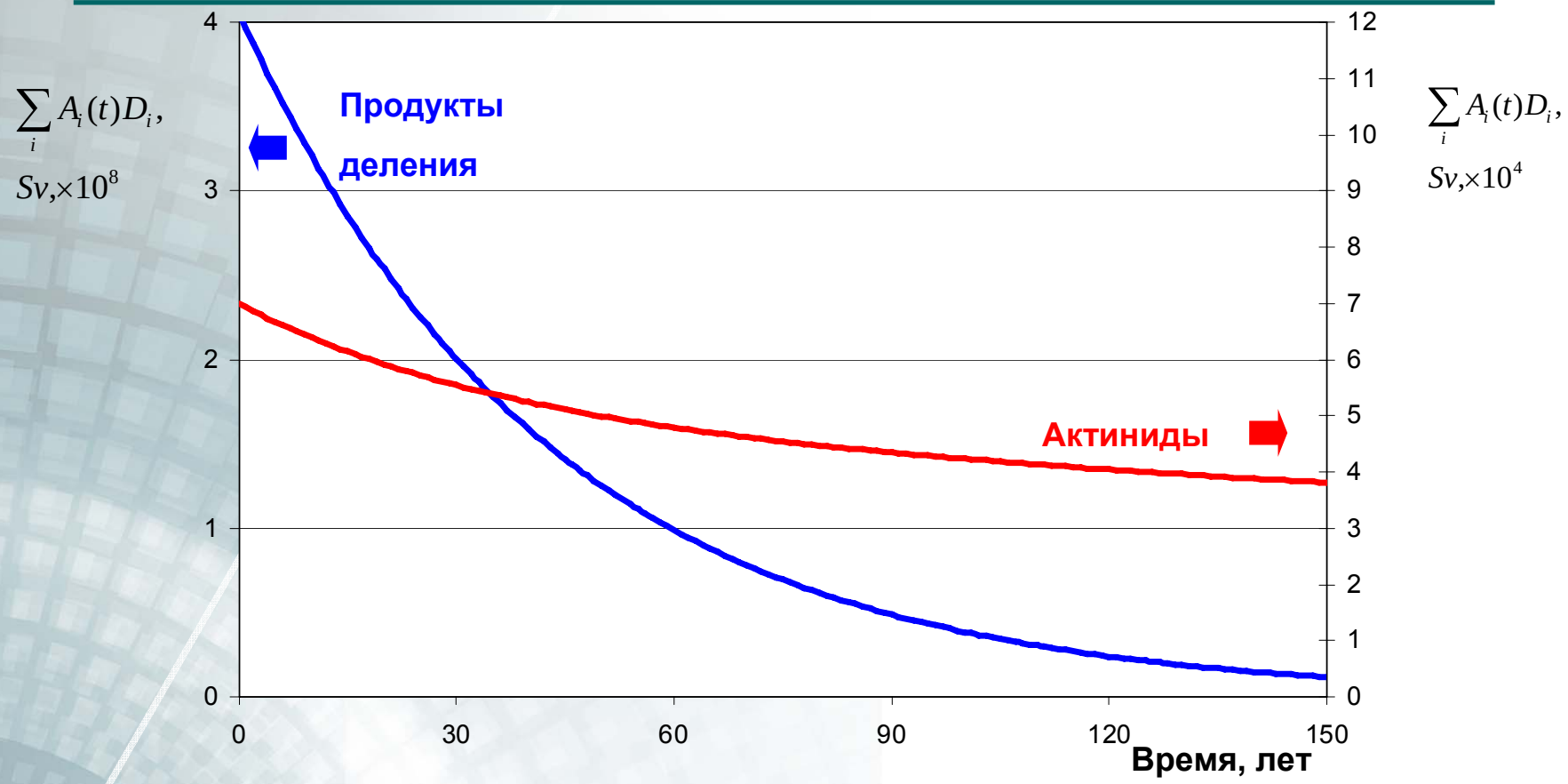
$E = \sum_i A_i \cdot D_i$ – потенциальная опасность смеси нуклидов

Критерии эквивалентности активности ОТВС и РАО на основе дозового эквивалента активности использовались во всех расчетах количества возвращаемых РАО в проектах ввоза ОТВС в Россию: Чехия, Казахстан, Украина, Узбекистан.

Такой критерий аналогичен или коррелирует с другими применяющимися в международной практике критериями, например, критерий BNFL (report No. EUR17241EN)

Основной недостаток – зависимость дозового эквивалента от времени.

Зависимость дозового эквивалента от времени

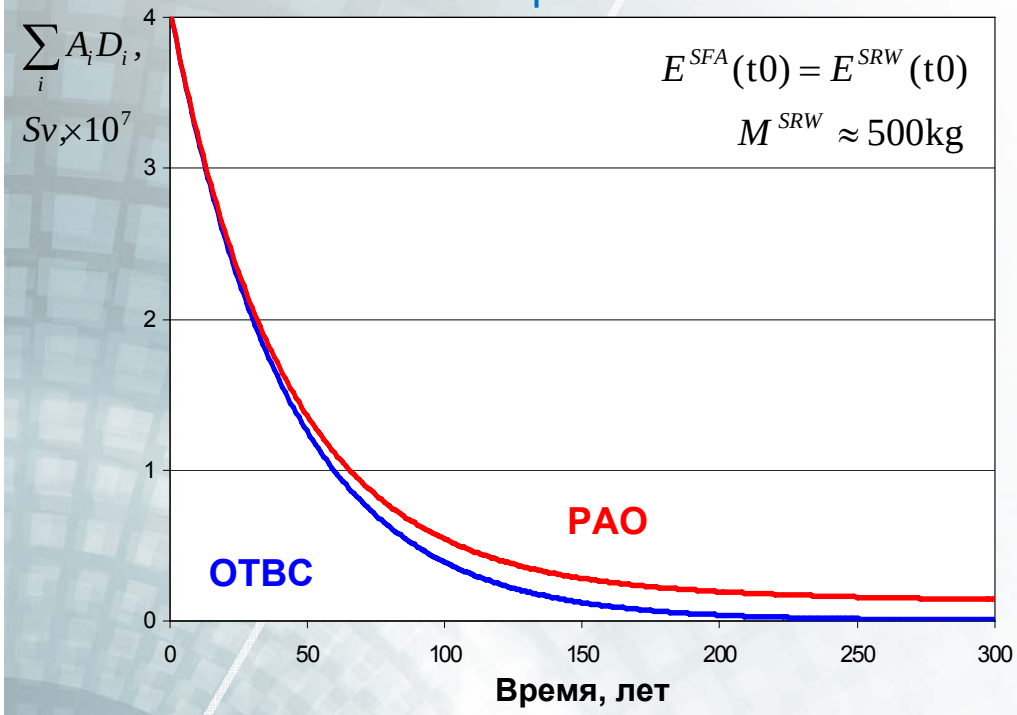


В зависимости от соотношения короткоживущих и долгоживущих нуклидов в смеси, скорость изменения дозового эквивалента может существенно различаться.

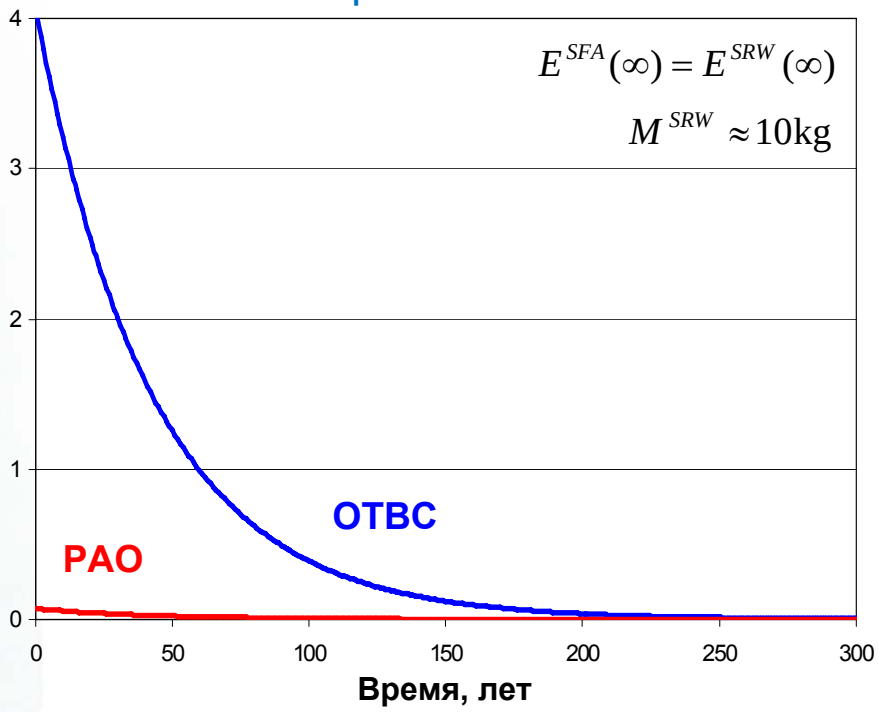
Для высокообогащенного топлива на начальном этапе вклад актинидов на несколько порядков меньше вклада продуктов деления.

Различные подходы к определению эквивалентности

Эквивалентность на момент возврата РАО



Эквивалентность в длительной перспективе



Удельное содержание актинидов в РАО больше, чем в ОТВС ИР, поскольку, как правило, исследовательские ОТВС при переработке разбавляются низкообогащенными энергетическими.

Ни тот, ни другой подход не кажутся справедливыми…

Интегральный дозовый эквивалент активности

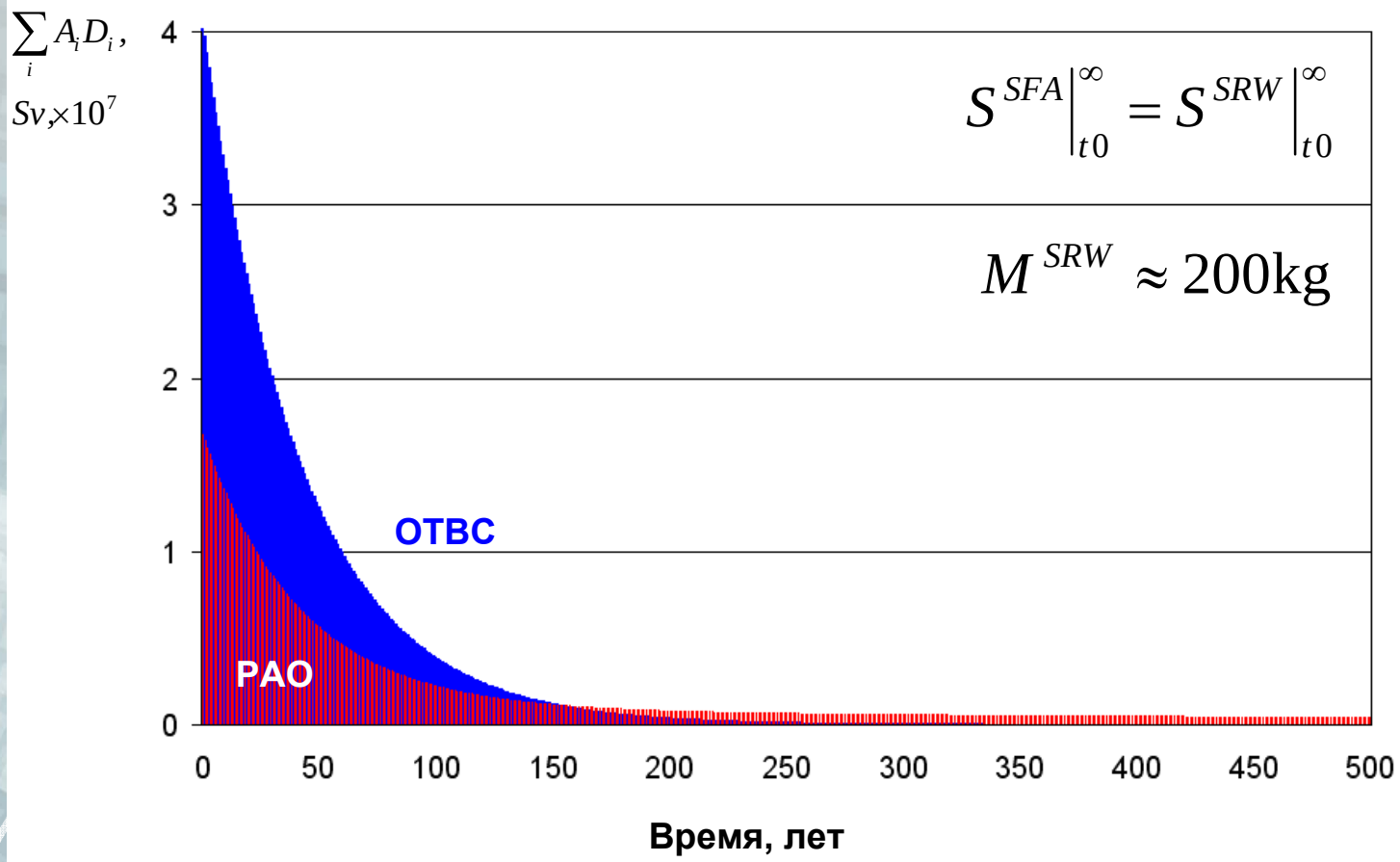
Если $E = \sum_i A_i(t) \cdot D_i$ – отражает потенциальную опасность смеси нуклидов в момент t,

тогда $S = \sum_i S_i = \sum_i \int_{t0}^{\infty} A_i(t) \cdot D_i \cdot dt$ – будет учитывать полную потенциальную опасность смеси за все время ее существования (от момента возврата РАО и «на всю жизнь»).

Преимущества интегрального критерия – независимость от времени и учет длительности потенциального опасного воздействия нуклидов.

Представляется, что такой инструмент позволяет справедливо сравнивать даже нуклиды с существенно различающимися периодами полураспада.

Пример применения интегрального эквивалента



Площади под кривыми равны.

Бóльшая в первый период времени потенциальная опасность ввезенных в Россию нуклидов (ОТВС) компенсируется большей потенциальной опасностью вывезенных нуклидов (РАО) в последующий период.

Сравнение подходов для конкретной партии ОТВС

	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3
	$E^{SFA}(t0) = E^{SRW}(t0)$ (эквивалентность на момент возврата)	$\begin{cases} E^{SFA}(t0) \le E^{SRW}(t0) \\ E^{SFA}_{AC}(t0) \le E^{SRW}_{AC}(t0) \end{cases}$ (эквивалентность на отдаленный момент)	$\int_{t0}^{\infty} E^{SFA}(t) \cdot dt = \int_{t0}^{\infty} E^{SRW}(t) \cdot dt$ (эквивалентность на весь «период жизни» РАО)
A_{sp} [Ci/kg]	150±20		
C_{AC}	2%		
M^{SRW} [kg]	500	10	200

Правовые аспекты ввоза, обращения с ОТВС ИР и РАО

Постановление Правительства РФ от 11 июля 2003 г. N 418:

П.4. Ввоз в РФ облученных сборок, а также вывоз из РФ ранее ввезенных облученных сборок или продуктов переработки осуществляются на основе международных договоров РФ и внешнеторговых контрактов, заключаемых во исполнение указанных договоров организациями, специально уполномоченными Правительством РФ.

П.12. Возврат продуктов переработки в государство поставщика осуществляется на следующих условиях:

в) во внешнеторговом контракте должны быть указаны номенклатура, состав, физическая форма, количество, вид упаковки продуктов переработки, подлежащих возврату.

Заключение

Имеются законодательные и нормативные основы, устанавливающие общие требования к определению количества РАО, подлежащего возврату государству-поставщику ОТВС.

Существует и много лет используется технология безопасной переработки ОТВС и кондиционирования РАО на заводе РТ-1. Остекловывание является высокоэффективным методом включения РАО в формы, обладающие высокой радиационной и химической стойкостью, обеспечивающие последующее безопасное обращение с РАО.

Неконкретность и неоднозначность формулировки эквивалентности в нормативных документах, а также отсутствие общепризнанного в мире справедливого критерия эквивалентности усложняют достижение договоренностей участвующих сторон.

Критерий эквивалентности активности ОТВС и РАО должен базироваться на равенстве потенциальной опасности (радиотоксичности) смеси радионуклидов в ОТВС и РАО с учетом естественного распада радионуклидов за время обращения с ОТВС на радиохимическом заводе.

Thank You for Attention!