

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

### **ПРОЕКТ SPIN: АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

*Richard Storck, Dirk-A. Becker (Germany)*

*The SPIN Project: Testing of Safety and Performance Indicators.-*

*Ed. GRS-IRSN, Eurosafe, Berlin, Nov.2002, Seminar 3, Waste management.-*

Показатели эффективности и безопасности захоронений радиоактивных отходов (РАО) уже много лет обсуждаются в разных странах и международных организациях. Если эти показатели относятся к безопасности долговременных полных систем захоронения, то их называют показателями безопасности, иногда их называют эффективными показателями. В ряде случаев выявляется необходимость использовать другие показатели, нежели мощность дозы, например, при долговременной оценке безопасности системы захоронения РАО и возрастающей неточности расчетов во всем интервале времени из-за неопределенностей в изменениях окружающей среды и поведения людей. Прежде чем вводить дополнительные показатели в определение безопасности потенциальной площадки захоронения, необходимо исследовать и определить применимость и полезность различных показателей. SPIN (Анализ безопасности и эффективные показатели захоронения радиоактивных отходов) является названием проекта исследований, финансируемого Европейской Комиссией в рамках пяти программ Евратома. Проект был начат в сентябре 2000 г. и завершен в октябре 2002 г., окончательный отчет будет выпущен в ближайшее время [1]. В нем использованы системный анализ, анализ безопасности и анализ эффективных показателей для применения в различные временные интервалы после закрытия захоронения. Это выполнено с помощью расчетов четырех стадий захоронения в скальных формациях.

#### **Определения**

Следует определить, что означают "показатели безопасности" и "эффективные показатели". Хотя определения показателей было дано МАГАТЭ [2], ниже приводится классификация для специальных целей SPIN. В этом контексте показатели безопасности и эффективные показатели были определены с помощью численных оценочных расчетов.

Показатель безопасности рассматриваемого типа должен:

- давать оценку безопасности всей долговременной полной системы захоронения (далее – системы);
- давать интегральную меру, описывающую эффект всего спектра нуклидов;
- быть рассчитываемым при параметрах, зависящих от времени;
- позволять проводить сравнения с эталонными величинами, относящимися к безопасности.

Эффективный показатель рассматриваемого типа должен:

- определять состояние эффективности всей системы и подсистемы для индивидуального ба-рьера;
- определять величину как отдельного нуклида, так и всех нуклидов;
- быть рассчитываемым как при параметрах, зависящих от времени, так и от абсолютных величин;
- позволять проводить сравнения между различными направлениями выбора или техническими критериями.

#### **Определение показателей безопасности**

Определение показателя безопасности часто базируется на изучении литературных публикаций, дополненной систематическим анализом. Мощность эффективной дозы выбрана как базовый показатель. Другие выбранные показатели - концентрация, поток или интегральные потоки, рассчитываемые с использованием различных взвешивающих систем для нуклидов. Рассмотрены следующие семь показателей безопасности:

- мощность эффективной дозы (Зв/год);
- концентрация радиотоксичности воды в биосфере (Зв/м<sup>3</sup>);
- поток радиотоксичности из геосферы (Зв/год);
- интегрированный по времени поток радиотоксичности из геосферы (Зв);
- радиотоксичность вне геосферы (Зв);
- относительная концентрация активности в воде биосферы;
- относительный поток активности из геосферы.

#### **Определение эффективных показателей**

Для определения эффективных показателей использовались различные подходы. При выборе схемы показателей применены три конкурирующих приближения. Первое базировалось на пяти различных количествах, описывающих поведение радионуклидов в барьерах:

- полное количество опасных веществ в барьере;
- поток опасных веществ из барьера;
- количество опасных веществ, вышедших из барьера;
- концентрация опасных веществ в барьере;
- время транспортирования опасных веществ через барьер.

Обмен этих количеств веществ от барьера к барьеру показывает эффективность многобарьерной системы. Данные количества рассматриваются, таким образом, как эффективные показатели.

Другие два приближения базировались на функциях безопасности систем захоронения РАО, которые описывают основные функционалы глубинного подземного захоронения. Они разработаны для определения большого числа показателей, иллюстрирующих функционирование хранилища отходов, и позволяют установить связь между показателями, содержащими функции безопасности, и некоторыми окончательными показателями в качестве основы первого приближения. Другой подход базировался на определении минимума показателей, точно представляющих три функции безопасности: «изоляция», «задержка и распад» и «дисперсия и растворение». Эффективные показатели относятся к различным системам барьеров, которые называются частями пространства.

Рис. 1 показывает различные части пространства, а табл. 1 – их использование для различных типов эффективных показателей.

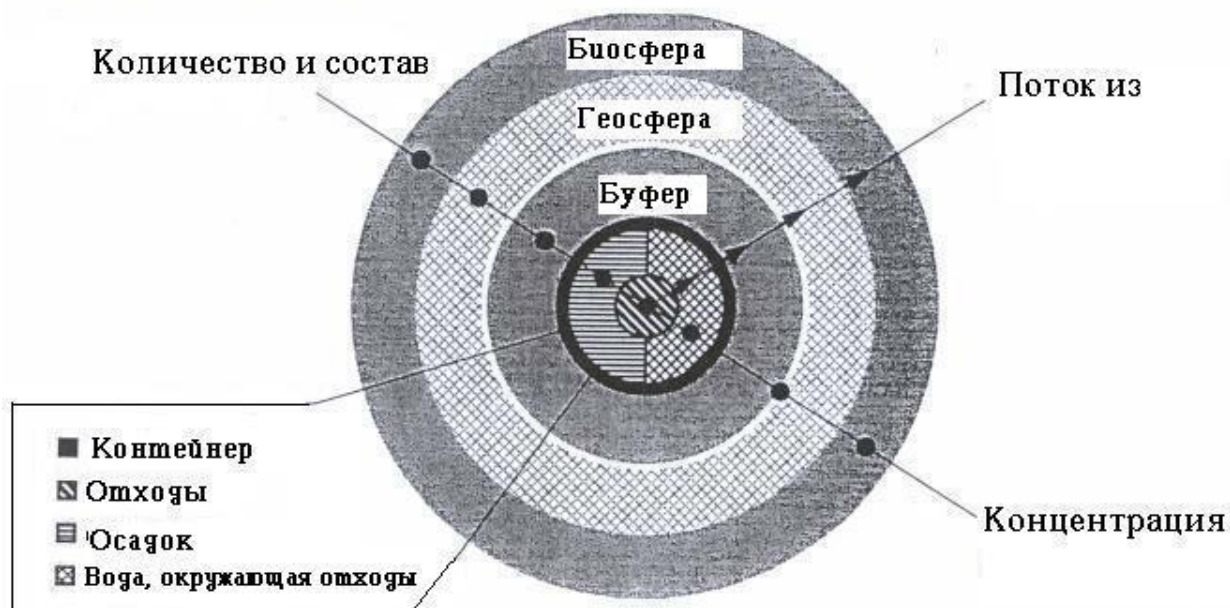


Рис.1. Части пространства и эффективные показатели

Таблица 1

Части пространства, используемые для различного типа показателей

Части пространства	Количество внутри	Поток из	Концентрация в воде	Время транспортирования через
Формы отходов	x	x		
Осадок	x			
Упаковка отходов		x	x	
Буфер	x			x
Вблизи области		x		
Геосфера	x	x		x
Биосфера	x		x	

Ниже приведены 14 эффективных показателей, принятых во внимание при разработке проекта:

- Активность в частях пространства

- Поток активностей из частей пространства
- Поток, интегрированный по времени активностей, из частей пространства
- Активность вне частей пространства
- Радиотоксичность в частях пространства
- Поток радиотоксичности из частей пространства
- Поток радиотоксичности, интегрированный по времени, из частей пространства
- Радиотоксичность вне частей пространства
- Концентрация активностей в воде частей пространства
- Концентрация радиотоксичности в воде частей пространства
- Время транспортирования через части пространства
- Часть неполоностью изолированных РАО
- Проинтегрированный по времени поток из геосферы (первоначально исследованный)
- Концентрация в воде биосферы/концентрация в воде окружающей отходы.

**Расчеты**

Были рассчитаны показатели для четырех различных стадий захоронения в граните. Эти стадии различаются в вариациях деталей и параметров, таких, как: вид РАО, тип контейнера, состав нуклидов, тип источника, толщина буфера, свойства геосферы и биосферы. Однако данные о нуклидах должны быть приведены к одному виду для получения сравнимых результатов. Выполнены четыре исследования: ENRESA-2000 (Испания), SPA-GRS (Германия), Kristallin-1 (Швейцария) и TILA-99 (Финляндия). Полученные результаты представлены в одинаковом виде для различных стадий. Результаты сравнивались между собой для оценки их пригодности при рассмотрении специфических особенностей, относящихся к эффективности барьеров. Некоторые результаты представлены на рис. 2 и 3.

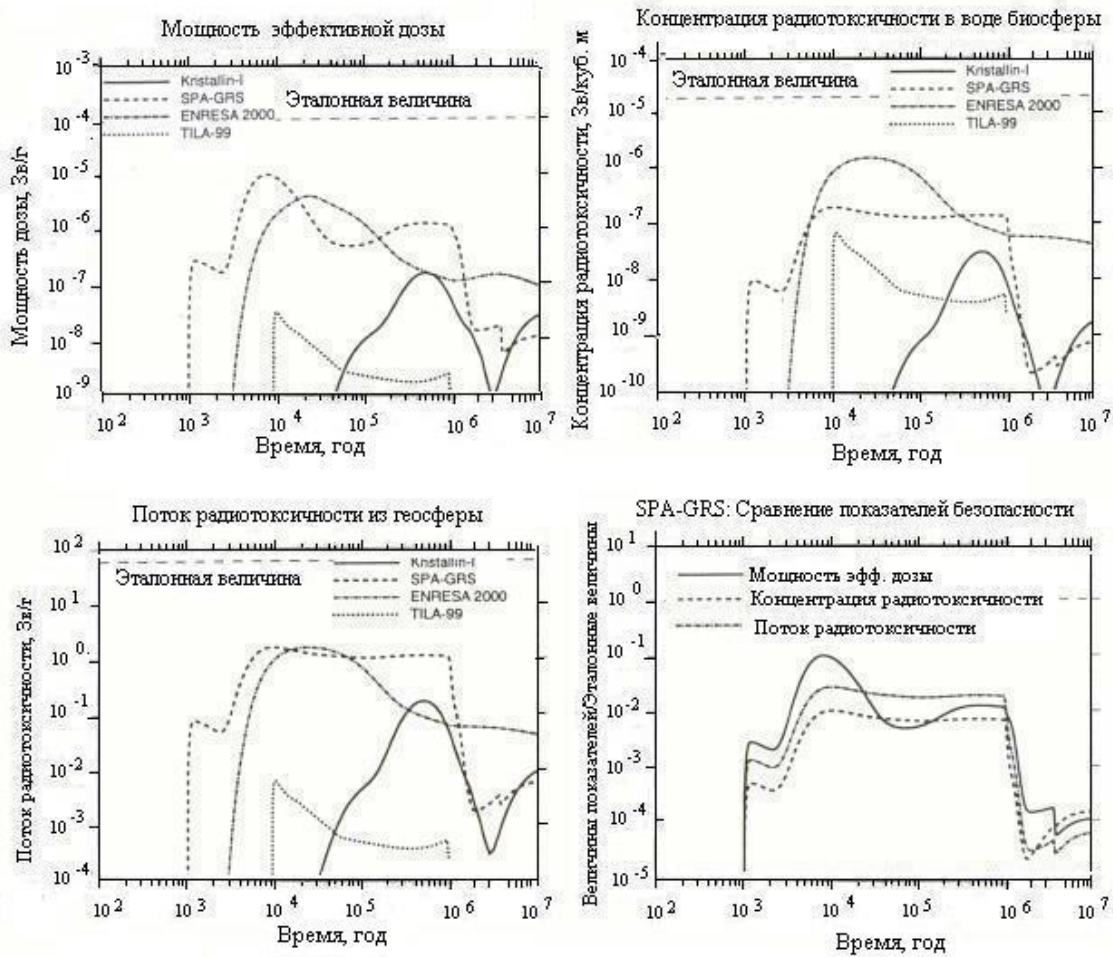


Рис.2. Результаты расчетов показателей безопасности

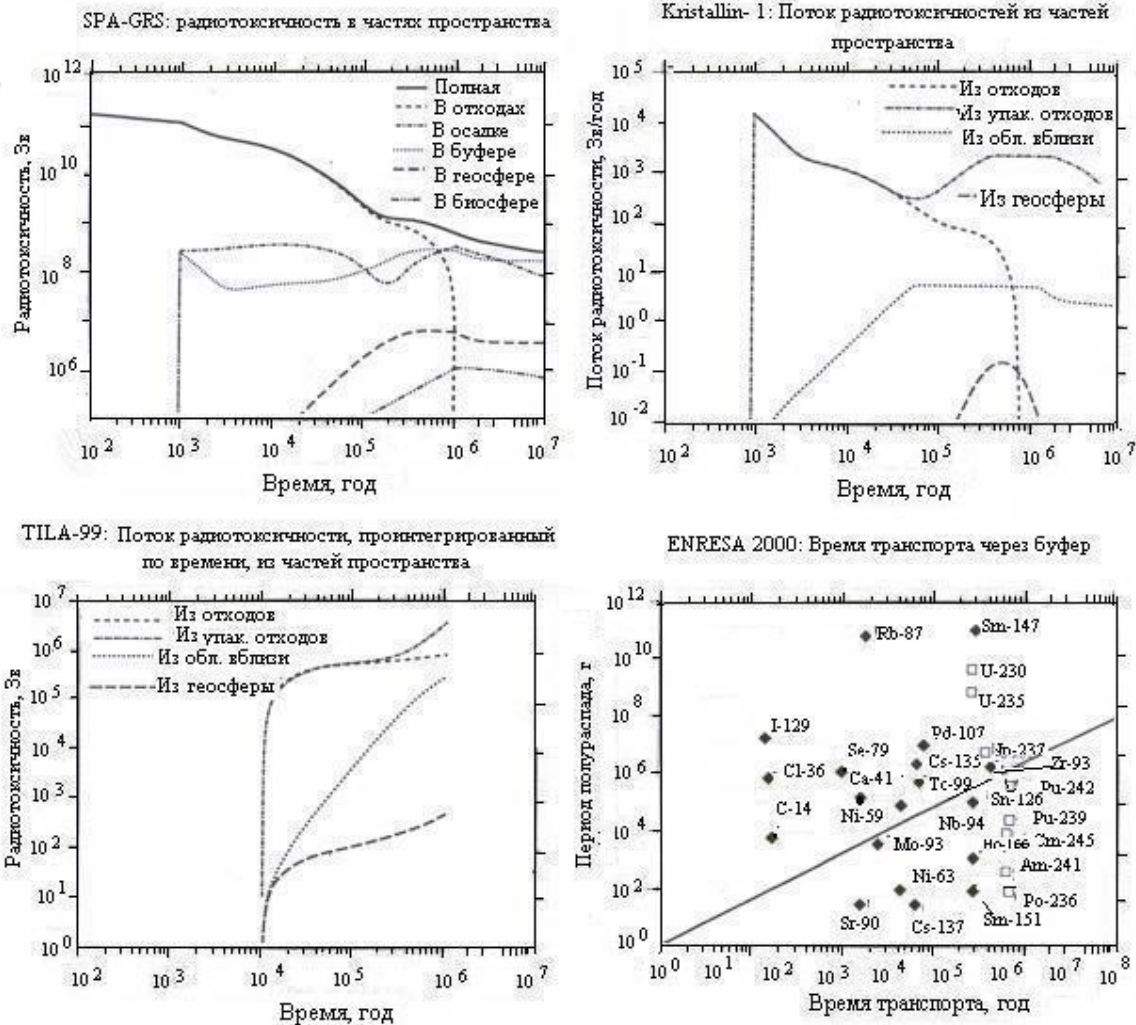


Рис. 3. Результаты расчетов эффективных показателей

**Эталонные величины для показателей безопасности**

Подсчитанные численные значения показателей безопасности могут быть надежными при определении безопасности системы, если они сравниваются с эталонными величинами. Установление таких величин стало результатом исследований в рамках проекта SPIN.

Для эталонной величины мощности эффективной дозы были взяты данные национальных регулирующих органов. Они находились между  $1 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-4}$  Зв/год.

Для концентрации радиотоксичности в воде биосферы эталонные величины были взяты из естественных концентраций с использованием некоторых данных МАГАТЭ и других источников. Рассматривались следующие радионуклиды: K-40, Rb-87, Th-232, U-235 и U-238, средняя концентрация радиотоксичности которых наиболее типична для глубинных и поверхностных вод в Финляндии, Швейцарии и Чехии; выбрана эталонная величина  $2 \cdot 10^{-5}$  Зв/м<sup>3</sup>.

Для потока радиотоксичности из биосферы определение эталонных величин для естественных источников требовало выбора фиксированной дренажной площади. Выбрана величина в 200 м<sup>2</sup> по соображениям сравнения с площадью, влияющей на глубинное захоронение РАО. Эталонная величина K-40, Rb-87, Th-232, U-235 и U-238 была определена путем усреднения естественных потоков и найдена равной 60 Зв/год [3].

Для потока относительной активности из геосферы эталонные величины приведены для каждого нуклида вместо одной общей эталонной величины, которая просто принята за 1. В проекте SPIN они были взяты по данным STUK.

Для относительной активности концентрации в воде биосферы эти величины необходимы, но поскольку они не могли быть установлены, то, соответственно, не были определены и показатели.

**Оценка показателей безопасности**

Для оценки применимости и полезности показателей были определены некоторые критерии. Ос-

новые требования предъявлялись к каждому показателю безопасности, они в принципе уже использовались в ходе выбора и проверки рассмотрения процедур. Требования и критерии приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Требования и критерии оценки показателей безопасности

Категории	Определение меры безопасности полной системы
Основные требования	Определяют меру безопасности полной системы
	Необходимые эталонные величины, относящиеся к безопасности
	Необходимая взвешивающая система, относящаяся к безопасности
	Расчеты для использования эффективности оценки моделей
Критерии оценки	Легкость понимания
	Дополнительная величина
	Исключено прохождение в биосфере
	Исключено растворение в водном горизонте

Обзор результатов оценки показателей безопасности приведен в табл. 3. Пустые ячейки указывают, что единственный ответ не может быть получен. Ясно, что некоторые базовые данные отсутствуют или нет адекватного понятия для каждого выбранного показателя.

Таблица 3

## Обзор результатов оценки показателей безопасности

Показатели	Меры безопасности системы	Доступно		Доступно	относящаяся к безопасности	Расчетная для использования РА-моделей	Легкость понимания	Дополнительная величина	Исключено прохождение в биосфере	Исключено растворение в водном горизонте
		Эталонные значения	относящиеся к безопасности							
Мощность эффективной дозы	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Концентрация радиотоксичности в воде биосферы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Поток радиотоксичности из геосферы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Поток радиотоксичности, проинтегрированный по времени, из геосферы	+	+	-	+	+	+	-		+	+
Радиотоксичность вне геосферы	+	+	-	+	+	+	-		+	+
Концентрация относительной активности в воде биосферы	+	-		-		+	+		+	-
Поток относительной активности из геосферы	+	-		-		+	+		+	+

Из оценки можно сделать следующие выводы:

- Мощность эффективной дозы полезна для всего периода времени и наиболее эффективна для ранних периодов времени.
- Концентрация радиоактивности в воде биосферы полезна для всего периода времени и наиболее эффективна для малых и средних периодов времени.
- Поток радиотоксичности из геосферы полезен для всего периода времени, но наиболее - для поздних периодов времени.
- Радиотоксичность вне геосферы (поток радиотоксичности), проинтегрированный по времени из геосферы, не полезен, так как эталонные величины, относящиеся к безопасности, не могут быть установлены.
- Относительная концентрация в воде биосферы не применима, так как эталонные величины не найдены.
- Поток относительной активности из геосферы в основном не определен, так как эталонные величины не найдены. Данные получены для биосферы Финляндии и не могут быть исполь-



зованы в других условиях.

Результаты расчетов показателей радиотоксичности в частях пространства, потока радиотоксичности, проинтегрированного по времени, из частей пространства, а также время транспортирования через части пространства представлены на рис. 3 отдельно для каждой стадии. В то время, как первая показывает, как радиотоксичность меняется для каждого состояния, вторая показывает, как она проходит через барьеры системы. Третий показатель определяет количество радиотоксичности, которое окончательно достигает биосферы. Различия между значениями отдельных частей пространства показывают, что часть радиотоксичности распадается в процессе транспорта через барьер. Четвертый показатель представляет графически время транспорта через барьер (здесь буфер) в зависимости от периода полураспада. Он дает грубые представления, будет ли нуклид в основном распадаться в процессе транспортирования или не будет.

#### Оценка эффективных показателей

Требования к критериям эффективных показателей представлены в табл. 4. Они менее четкие, чем показатели безопасности. Детальная оценка здесь не дана. Показано, что каждый из показателей полезен для использования в специальных целях.

Таблица 4

#### Требования и критерии для эффективных показателей

Категории	Требования и критерии
Базовые требования	Меры эффективности систем и подсистем
	Сравнение между выборками и техническими показателями
	Доступная взвешивающая схема
	Расчеты для использования при оценке эффективных моделей
Критерии оценки	Легкость понимания
	Дополнительные величины

#### Список литературы

- [1] Becker, D.-A. et al.: Testing of Safety and Performance Indicators/ Final Report of SPIN project. EUR report, 2002 (in preparation).  
 [2] IAEA Tecdoc 767, Vienna, 1994.  
 [3] Miller B. Et al., Natural elemental concentrations and fluxes: their use as indicators of repository safety, QSL-6180-2 version 2, March 2002.

С.Цыпин

#### ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕРНЫХ АВАРИЙ

*First results of an NEA-sponsored experiment on mitigation of severe nuclear accidents.-Ed. Organisation for economic cooperation and development / Nuclear Energy Agency, Paris, Oct. 18, 2002, NEA/COM(2002)13, JT00133692, 1p.*

Ядерное Энергетическое Агентство (NEA/OECD) выступает спонсором проведения в 2002 – 2005 гг. серии экспериментов, направленных на уменьшение нежелательных последствий при тяжелых авариях ядерных реакторов с разрушением активной зоны. Проект стоимостью \$4,8 млн. по изучению возможности охлаждения расплава при его взаимодействии с бетоном - Project on Melt Coolability and Concrete Interaction (MCCI) предусматривает участие 13 стран под руководством NRC США. В ходе его реализации Аргонской национальной лабораторией (США) проведены два успешных испытания.

Цель испытаний - изучить механизм проникновения воды сквозь трещины и поры на корке расплава и вызываемую этим активизацию охлаждения, т. е. получение данных о длительном процессе отвода тепла от разрушенной активной зоны. Испытания проведены с различными композициями исходных материалов, но при идентичных условия эксперимента. Предварительные результаты испытаний показывают, что улучшение теплоотвода достигнуто в обоих случаях. Этим подтверждается, что ввод воды может быть одним из эффективных механизмов охлаждения. Результаты будут использованы для развития математической модели теплоотвода в сочетании с аналитическим кодом, а затем применяться при анализе безопасности как действующих, так и проектируемых реакторов. В итоге создана основа для эффективного выбора пути управления тяжелыми авариями путем затопления полости реактора в случае утечки расплава активной зоны за пределы корпуса реактора.

При аварии с расплавлением активной зоны, когда расплав не удается удержать внутри корпуса реактора, несмотря на принятые меры по смягчению тяжелых последствий, расплав перемещается внутри шахты реактора и неизбежно взаимодействует с ее бетонными конструкциями. Это может приводить к

выходу продуктов деления в окружающую среду. Поскольку это крайне нежелательное явление и его радиационные последствия могут быть весьма серьезными, необходима выработка стратегии, гарантирующей предотвращение таких утечек. Руководство по управлению тяжелыми авариями на находящемся в эксплуатации АЭС с легководными реакторами включает в себя как один из нескольких возможных путей затопление шахты реактора в случае выхода расплава активной зоны за пределы стального корпуса реактора. Проект МССИ имеет целью накопление экспериментальных данных об этом феномене.

В.Цукерник

**ПРОГРАММЫ МАГАТЭ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ  
МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ - ISAM И ASAM**

*ISAM NEWSLETTER, The International Atomic Energy Agency Programme on Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Waste Disposal Facilities – ISAM. No. 6, Vienna, Austria, December 2001, 9 p.*

*ASAM - The International Project on Application of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Radioactive Waste Disposal Facilities: Scope, Objectives, Content and Work Programme. Vienna, Austria, Version 1.0, June 2002, 29 p.*

Программа МАГАТЭ по совершенствованию методики оценки безопасности приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов (РАО) – ISAM (Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Waste Disposal Facilities), завершилась на 3-м координационном совещании, которое состоялось в сентябре 2000 г. в Вене (Австрия). Ранее проходили заседания координационной группы ISAM и следующих рабочих групп: разработка и обоснование сценариев, моделирование и повышение доверия к результатам, тестовые примеры (приповерхностные хранилища камерного типа, типа “Радон”, скважинного типа). Все встречи обеспечили участников программы необходимой информацией и позволили решить многочисленные вопросы, связанные с методиками оценки безопасности приповерхностных хранилищ.

Деятельность рабочей группы по разработке сценариев касалась решения следующих задач:

- определение терминологии;
- определение списка особенностей, событий и процессов (FEPs) при разработке сценариев.

Рабочая группа по моделированию затрагивала следующие вопросы:

- классификация отходов и систем захоронения;
- описание концептуальных (математических) моделей;
- обсуждение граничных условий при моделировании источника радионуклидов, геосферы и биосферы;
- отбор информации о компьютерных программах для оценки безопасности, а также параметров для проведения расчетов.

Ключевой аспект реализации программы ISAM – его практическое применение. Методика МАГАТЭ реализована рабочими группами на тестовых примерах хранилищ камерного и скважинного типа и хранилищ типа “Радон”. Оценка безопасности была проведена по следующим этапам:

- определение контекста оценки;
- описание системы захоронения;
- разработка и обоснование сценариев;
- разработка и реализация моделей;
- анализ результатов и повышение доверия к результатам.

Успешная реализация программы ISAM привела к обсуждению ее возможного продолжения. Предложения по плану будущей работы высказаны на 3-м совещании, которое прошло в сентябре 2000 г. В октябре 2001 г. координационная группа программы ISAM определила цели для новой программы МАГАТЭ “Применение методологий оценки безопасности приповерхностных хранилищ РАО” – ASAM (Application of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities):

- изучение практического применения методологии ISAM к различным видам приповерхностных хранилищ РАО при проектировании, повторной оценке безопасности и реконструкции существующих хранилищ;
- разработка практических подходов для помощи регулирующим органам, эксплуатирующим организациям и независимым экспертам, проводящим анализ безопасности.

В Вене (Австрия) с 11 по 15 ноября 2002 г. проведено 1-е координационное совещание по программе МАГАТЭ ASAM, в рамках которой сформированы следующие рабочие группы:

1. Повторная оценка безопасности приповерхностных хранилищ РАО.
2. РАО горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.
3. Источники ионизирующего излучения и гетерогенные РАО.
4. Экспертиза и аспекты регулирования.
5. Общие аспекты применения методики оценки безопасности.

В работе совещания приняли участие 73 человека из 34 стран мира. Каждый из них имел возможность участвовать в работе двух групп.

По сравнению с проектом ISAM в проекте ASAM появился новый объект исследований – РАО горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Имеются в виду все объекты добычи и перера-

ботки руд и сырья, на которых образуются РАО природного происхождения. Основные цели рабочей группы “РАО горнодобывающей и перерабатывающей промышленности”:

- изучение возможности применения методики ISAM, разработанной для оценки долговременной безопасности приповерхностных хранилищ РАО, хвостохранилищ горнодобывающей и перерабатывающей промышленности;
- определение особенностей, событий и процессов (FEPs), характерных для хвостохранилищ горнодобывающей и перерабатывающей промышленности;
- применение процедуры проведения экспертизы регулирующим органом, разработанной рабочей группой “Экспертиза и аспекты регулирования”, для оценки безопасности хвостохранилищ горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Основная цель рабочей группы “Экспертиза и аспекты регулирования” – разработка систематизированной процедуры анализа безопасности после закрытия приповерхностного хранилища РАО для помощи регулирующим органам, эксплуатирующим организациям, специалистам по оценке безопасности и независимым экспертам в следующих случаях:

- принятие решения об адекватности и приемлемости оценки безопасности;
- принятие решений о проведении мероприятий по совершенствованию приповерхностных хранилищ РАО;
- идентификация и решение вопросов безопасности приповерхностного хранилища РАО.

А. Сметник, Д. Мурлис

Раздел подготовил В. Цукерник