

УДК 621.039

Ващенко В.Н., Злочевский В.В. (Украина, Киев),  
Хадж Фараджаллах Даббах А., Скалозубов К.В. (Украина, Одесса)

## О ПЕРСПЕКТИВАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Деятельность при обращении с радиоактивными отходами (РАО), включая размещение радиоактивных отходов в объекте, предназначенном для обращения с РАО без намерения их использования (захоронение РАО); размещение РАО в объектах, в которых обеспечивается изоляция от окружающей природной среды, физическая защита и радиационный мониторинг с возможностью последующего изъятия, переработки и перевозки (хранение РАО); иммобилизация РАО (перевод РАО в различные фазовые состояния); дезактивация, сбор, сортировка РАО; систематизация сведений по состоянию объектов захоронения/хранения РАО; операции по подготовке РАО для перевозки, хранения и захоронения; переработку и обеспечение безопасности, регулируется законами Украины [1-8].

Согласно действующему законодательству под РАО подразумеваются материальные объекты и субстанции, активность радионуклидов или радиоактивное загрязнение которых превышает пределы, установленные действующими нормами, при условии, что использование этих объектов и субстанций не предусматривается; а под объектом, предназначенным для обращения с РАО – сооружение, помещение или оборудование, предназначенное для сбора, перевозки, переработки, хранения или захоронения радиоактивных отходов.

Экологическая безопасность при обращении с РАО заключается в обеспечении не превышения допустимых пределов радиационного воздействия на персонал, население и окружающую природную среду.

Для глубинного захоронения РАО реализуется многобарьерная концепция обеспечения безопасности, основанная на естественных барьерах (окружающая геосфера и вмещающая порода) и искусственных барьерах (конструкции хранилища, засыпки, контейнеры).

Основными принципами радиационной защиты являются: принцип оправданности; принцип не превышения; принцип оптимизации.

С точки зрения повышения уровня экологической безопасности определяющими являются два последних, т.е. принцип не превышения и принцип оптимизации. При этом если принцип не превышения можно считать реализованным при соблюдении основных дозовых пределов, то реализация принципа оптимизации находится в области показателей радиационной безопасности ниже допустимых уровней и практически не ограничена по этим показателям снизу. Принцип оптимизации (в международной практике принцип ALARA (“As Low As Reasonably Achievable”)) является как раз тем инструментом, при помощи которого эксплуатирующая организация может снижать дозовые нагрузки на персонал и население в рамках имеющихся ресурсов.

Нормами [7,8] определен следующий перечень детерминистски установленных допустимых уровней поступления радионуклидов для разных групп населения и персонала: допустимое поступление радионуклидов через органы дыхания; допустимая концентрация радионуклида в воздухе рабочей зоны; допустимая плотность потока частиц; допустимая мощность дозы внешнего облучения; допустимое радиоактивное загрязнение кожи, спецодежды и рабочих поверхностей и допустимый сброс/выброс радиоактивных веществ (РВ).

Основной предел эффективной дозы для населения Украины – 1 мЗв/год.

Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ) детерминистски установлены следующие дозовые квоты для предприятий по переработке и хранению радиоактивных отходов: для выбросов в атмосферу (за счет всех путей формирования дозы): 0,04 мЗв/год; для сбросов в водные объекты (за счет критического вида водопользования): 0,01 мЗв/год.



Рис. 1. Зоны регулирования в сфере экологической безопасности

НРБУ определяет также вероятностные критерии экологической безопасности как риск летальных исходов для населения и персонала, связанного с объектами РАО. Так, для персонала риск является приемлемым, если вероятность смерти не превышает  $10^{-4}$ . Однако, в силу ограниченных возможностей диагностики объективных причин летальных исходов использование такого вероятностного критерия экологической безопасности является достаточно проблематичным.

Госатомрегулирование Украины определяет три зоны регулирования по отношению к нормативно определенным допустимым уровням радиационного влияния:

**Зона жесткого регулирования** (верхняя) – это зона, где проведение деятельности является абсолютно недопустимым.

**Зона обсуждения** (средняя) – это зона, размер которой согласовывается с регулирующим органом, после чего проведение деятельности в этой зоне возможно только с его разрешения.

**Зона оптимизации** (нижняя) – это зона, в которой эксплуатирующая организация должна за счет деятельности специализированных групп предприятия (групп ALARA) проводить оптимизацию радиационной защиты (в рамках существующих ресурсов или при привлечении дополнительных).

Таким образом, использование в настоящее время норм является недостаточным для регулирования экологической безопасности. Развитие и применение вероятностных (риск-ориентированных) критериев позволит решать следующие актуальные вопросы регулирования экологической безопасности объектов с РАО:

1) оценить и сопоставлять уровни безопасности и радиационной защиты отдельных объектов;

2) выявлять критические (значимые) для безопасности системы/оборудование;

3) определить доминантные для безопасности вероятные пути развития аварийных процессов (аварийные последовательности) и другие.

Внедрение риск-ориентированных критериев регулирования экологической безопасности позволит также обоснованно разрабатывать организационно-технические мероприятия по управлению возможными радиационными авариями и модернизации/замене критических для безопасности систем/оборудования объектов с РАО.

Известные недостатки вероятностных показателей безопасности, связанные в ряде случаев с их недостаточной обоснованностью и представительностью для объективной оценки ядерной и радиационной безопасности (см., например, [10-12]) в конечном итоге определяют необходимость комплексного подхода регулирования экологической безопасности объектов с РАО как вероятностными, так и детерминистскими критериями/показателями.

В ядерной энергетике Украины вероятностные показатели безопасности (частота повреждения активной зоны – ЧПАЗ, частота предельного аварийного выброса – ЧПАВ) нашли широкое применение как в регулирующей, так и в эксплуатационной деятельности. Нормирование вероятностных критериев ЧПАЗ, ЧПАВ позволило лицензировать по условиям безопасности эксплуатацию действующих и строящихся энергоблоков АЭС, а также обосновывать возможность продления эксплуатации энергоблоков в сверхпроектных сроках (см.табл. 1).

**Таблица 1 – Вероятностные критерии безопасности АЭС**

Критерий безопасности	Действующие АЭС, 1/(реактор.год)	Проектируемые АЭС, 1/(реактор.год)	Целевые показатели, 1/(реактор.год)
Частота тяжелого повреждения активной зоны реактора	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-5} - 5 \cdot 10^{-6}$
Частота граничного (предельного) аварийного выброса РВ в окружающую среду	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-7}$

По аналогии с риск-ориентированными подходами оценки вероятностных показателей безопасности объектов ядерной энергетики (в т.ч. хранилищ отработанного ядерного топлива) в качестве вероятностного показателя экологической безопасности объектов по хранению РАО можно предложить частоту предельного аварийного выброса/сброса радиоактивных продуктов в окружающую среду:

$$\text{ЧПАВ} = \sum_{i=1}^k I_i \sum_{j=1}^n P_{ij}$$

где  $I_i$  – частота (вероятность) возникновения  $i$ -того потенциально опасного исходного аварийного события (внешние и внутренние экстремальные воздействия: землетрясения, наводнения, падение самолетов на хранилища РАО, пожары, падения контейнеров с РАО при транспортировке и загрузке и т.п.);

$P_{ij}$  – вероятность отказа (показатель надежности) барьеров/систем радиационной защиты в  $j$ -той аварийной последовательности  $i$ -того исходного аварийного события.

В качестве вероятностного критерия экологической безопасности объектов хранения РАО можно (также по аналогии с объектами ядерной энергетики) предложить целевое значение ЧПАВ= $10^{-6}$  1/(объект.год).

Дальнейшее развитие рассмотренных в статье вопросов будет направлено на внедрение вероятностного критерия экологической безопасности объектов с РАО в нормативную документацию и на разработку соответствующего методического обеспечения.

#### СПИСОК ЛИТРАТУРЫ

1. Закон Украины «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности».
2. Закон Украины «Об обращении с радиоактивными отходами».
3. Закон Украины «Об отходах».
4. Положение о государственном реестре радиоактивных отходов.
5. Положение о государственном кадастре хранилищ и мест временного хранения радиоактивных отходов

6. ДГН 6.6.1. – 6.5.001-98. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97).
7. ДГН 6.6.1. – 6.5.061-2000. Нормы радиационной безопасности Украины, Приложение: Радиационная защита от источников потенциального облучения (НРБУ-97/Д-2000).
8. ДСП 6.074.120-01. Основные санитарные правила противорадиационной защиты Украины (ОСПУ).
9. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки АС (ОПБУ-2008)
10. Основы управления запроектными авариями на АЭС с ВВЭР/Скалозубов В.И., Ключников А.А., Колыханов В.Н. – ИПБ АЭС НАНУ. – Чернобыль. – 2010г. – 400 с.
11. Борисенко В.И., Ключников А.А., Пампура В.И. Обоснование показателей безопасности АЭС / Проблемы безопасности АЭС и Чернобыля. – Вып. 15. – 2011.
12. Бурдаков Н.С., Русинов Н.Я. К вопросу безопасности ядерных реакторов. Озерск. ВРБ-2005г. – 42с.

УДК 621.039

**Скалозубов В.И., Скалозубов К.В. (Украина, Одесса),  
Ващенко В.Н., Злочевский В.В., Яровой С.С. (Украина, Киев)**

### **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ БАРЬЕРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНИЛИЩ С ВЫСОКОРАДИОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ С ПОМОЩЬЮ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ**

**Актуальность вопроса.** Под объектами с высокорadioактивными источниками излучений в данной работе подразумеваются ядерные энергоустановки (ЯЭУ); включая бассейн перегрузки ядерного топлива, хранилища высокорadioактивных отходов (ВАО); а защитными барьерами их безопасности – оболочки тепловыделяющих элементов, корпус реактора, система гермооболочки (контаймент) ЯЭУ, конструкции хранилищ ВАО и др.

Последние события, связанные с тяжелой аварией на АЭС Фукусима (Япония), определили целый ряд актуальных вопросов перед мировыми ядерными державами. Одним из них является переоценка безопасности АЭС при внешних и внутренних экстремальных событиях (ВВЭС – землетрясения, затопления, ураганы, катастрофические динамические воздействия и т.п.).

В разработанных ГП НАЭК «Энергоатом» согласованных с регулирующим органом Отчетах по анализу безопасности (ОАБ) энергоблоков АЭС Украины с ВВЭР вопросы безопасности АЭС при ВВЭС изучены недостаточно по следующим основным причинам:

1). Основное внимание в ОАБ и при разработке инструкций/руководств по управлению запроектными авариями (РУЗА) уделяется наиболее доминантным для безопасности проектов ВВЭР группам исходных аварийных событий (ИСА) с течами теплоносителя (в т.ч. межконтурные течи).

2). Отсутствует до настоящего времени расчетно-методическое и экспериментальное обеспечение инструкций/руководств по управлению тяжелыми авариями (РУТА), в т.ч. при ИСА с ВВЭС. Более того, используемые в ОАБ подходы исключают из рассмотрения относительно маловероятные события и аварийные последовательности запроектных аварий (см., например, [1]), которые фактически имели место на АЭС Фукусима.

3). В качестве основного внешнего экстремального события (как наиболее вероятного для АЭС Украины) определены сейсмические воздействия. При этом, оборудование систем важных для безопасности (СВБ) по проекту ВВЭР квалифицировано на проектное землетрясение (ПЗ) в 5 баллов по шкале MSK (вероятность возникновения 1 раз в 100 лет) и на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) – 6 баллов по шкале MSK (вероятность возникновения 1 раз в 10 тыс. лет). Последние исследования по сейсмичности площадок АЭС Украины показали (в частности, для Запорожской АЭС), что вероятность МРЗ составляет  $10^{-3}$ /(реактор.год), а вероятность землетрясения в 7 баллов – 1 раз в 5000 лет (см, например, [2]).

4). В методических обеспечениях ОАБ АЭС Украины вероятность отказа/разрушения защитных барьеров безопасности (оболочки тепловыделяющих элементов, корпуса реактора, гермооболочки реакторной установки) определяются на основе детерминистского анализа достижения критических значений соответствующих температур и давлений. При этом, фактически не учитывается вероятность разрушения/нарушения герметичности защитных барьеров безопасности (ЗББ) по причине остаточной дефектности материалов, вызванная качеством изготовления и условиями эксплуатации.

Таким образом, необходимо дальнейшее развитие и совершенствование риск-ориентированных методов анализа надежности и безопасности ЗББ как для вероятностных оценок ИСА, так и для оценок вероятности разрушения защитных барьеров безопасности.

**Основные положения.** Перспективным направлением совершенствования вероятностных оценок разрушения ЗББ являются применение риск-ориентированных подходов, основанных на вероятностных методах теории надежности по остаточной дефектности (см., например, [3]).

Основные положения этого подхода заключаются в следующем:

1). В процессе изготовления и эксплуатации под действием внешних воздействий и различных механизмов деградации в материале возникают и развиваются дефекты.

В зависимости от размера несплошности (дефекты) можно разделить на три группы: субмикроскопические (сравнимые с размерами атомов), микроскопические (сравнимые с размерами зерен в металле) и