

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАГРУЗКИ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Д. Н. Бахчеван^{*}, Ю. А. Комаров, В. Ю. Кочнева, В. И. Скалзубов

^{} Одесский государственный межобластной спецкомбинат УГО «Радон»
Одесский филиал ГП «Государственный научно-технический центр ядерной и радиационной
безопасности»*

Представлены основы метода вероятностного анализа безопасности объектов с радиоактивными отходами и результаты расчетных обоснований на примере системы загрузки приповерхностного захоронения.

Актуальность вопроса

В соответствии с нормативными документами Украины [1–3] в отчетах по анализу безопасности объектов с радиоактивными отходами (РАО) оценки безопасности должны учитывать возможную опасность, связанную с эксплуатацией хранилищ РАО, исходя из анализа возможных (гипотетических) аварийных ситуаций, последствий их развития, а также обоснованность выбранных методов контроля обеспечения условий нормальной эксплуатации и способов уменьшения последствий аварии. При этом в отчете по анализу безопасности в рамках анализа эксплуатации должен быть отдельно представлен анализ обращения с РАО на площадке хранилища РАО (п. 3.4.2 НП 306.3.02/3.038 [1]). В данном разделе отчета по анализу безопасности необходимо представить информацию о предусмотренной схеме обращения с РАО на площадке хранилища РАО от момента принятия РАО до их захоронения (временного хранения), в том числе:

- способы обращения с упаковками РАО;
- оборудование для перегрузки и транспортировки РАО на площадке хранилища РАО;
- соответствие оборудования требованиям радиационной защиты персонала;
- системы защиты персонала при проведении соответствующих операций по контролю за РАО при временном хранении.

Известные в настоящее время методы оценки безопасности хранилищ РАО (например, [5,6]) ориентированы в основном на определение коллективных эффективных доз облучения персонала и населения на различных этапах эксплуатации объектов. Гипотетические аварии на хранилищах РАО и их возможные последствия анализировались недостаточно (например, [7,8]).

Оценка **степени** безопасности осуществления операций от момента приема РАО до момента их захоронения (временного хранения) возможна при помощи вероятностных методов моделирования, что, в частности, соответствует положениям НРБУ-97 [4]. Наибольшее развитие вероятностный анализ безопасности (ВАБ) объектов с источниками ионизирующих излучений (ИИИ) получил в ядерной энергетике при оценках аварий с разрушением активной зоны реактора и сверхнормативными выбросами радиоактивных продуктов. Однако прямое применение методологии ВАБ ядерных энергоустановок ограничено технологией производства и структурой оборудования АЭС, гипотетическим развитием аварийных последовательностей и конечных состояний.

В связи с изложенным актуальным является развитие методологии ВАБ для хранилищ РАО. Эти вопросы на примере загрузки приповерхностного захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) рассмотрены в данной статье.

Основные положения методики

Процедура проведения ВАБ хранилищ РАО включает:

- 1) констатацию области, для которой проводится ВАБ – анализ эксплуатации ПЗРО¹ в части проведения загрузки хранилищ РАО;
- 2) разработку перечня аварийных событий, влияющих на сформулированный вероятностный критерий безопасности – падение плиты перекрытия в бункер с упаковками РАО хранилища РАО для твердых радиоактивных отходов (ТРО) и застревание и/или выпадение ампулированного ИИИ при загрузке высокорadioактивных отходов (ВРО);
- 3) оценку частот возникновения транспортно-технологических операций (ТТО) по загрузке хранилищ ТРО и ВРО;
- 4) проведение качественного анализа оборудования для ТТО с точки зрения его влияния на вероятностный критерий безопасности;
- 5) оценку вероятности возникновения аварии при проведении ТТО по загрузке хранилищ ТРО и ВРО;
- 6) сравнение вероятностных оценок с критериальным значением, проведение анализа значимости, выработку рекомендаций по повышению безопасности.

В соответствии с международной практикой считается, что риск пренебрежимо мал, если вероятность смерти за год менее 10^{-6} , риск приемлем для персонала, если вероятность смерти за год не выше 10^{-4} (приложение 9 НРБУ-97 [4]).

Граница индивидуального риска для облучения лиц из персонала принимается равной 10^{-3} в год.

На основании анализа компонентов и режимов работы ПЗРО ОГМСК можно сформулировать следующий **вероятностный** критерий безопасности: ПЗРО имеет приемлемую степень безопасности, если выполняется неравенство:

$$N_k > \sum_{j=1}^n I_j P_{kj}, \quad (1)$$

где N_k – k -я нормативная величина; I_j – количество аварийных событий за год, инициирующих возможность j -го исходного события, приводящего к реализации различного рода негативных последствий; P_{kj} – вероятность реализации k -го негативного последствия при появлении j -го исходного события; n – общее количество возможных исходных событий, при которых возможны различного рода негативные последствия; k – номер негативного последствия: $k = 1$ – смертельные случаи (фатальные и нефатальные раки, тяжелые наследственные дефекты у потомков), $N_1 = 10^{-4}$; $k = 2$ – случаи предельного допустимого облучения персонала, $N_2 = 10^{-3}$.

Эксплуатация ПЗРО ОГМСК в части проведения загрузки хранилищ РАО считается безопасной, если выполняется неравенство

$$N_1 > I_1 P_1 + I_2 P_2, \quad (2)$$

где I_1, I_2 – частота аварийных событий, возникающих при загрузке хранилища с ТРО и хранилища ИИИ соответственно; P_1, P_2 – вероятность смертного случая по причине облучения в результате аварийных ситуаций при загрузке ТРО и ИИИ соответственно.

Следует отметить, что другие источники РАО, такие как жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) и радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ), не рассмотрены, так как в настоящее время хранилище ЖРО законсервировано, и новые загрузки не производятся. Аппараты РИТЭГ не подвергаются специальным процедурам загрузки – устанавливаются на территории ПЗРО (под навесом) в собственных транспортных установках типа УУК-3.

Коэффициент вероятности стохастических эффектов (фатальные и нефатальные раки, тяжелые наследственные дефекты у потомков) при облучении взрослых работающих составляет $5,6 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$ (приложение 9 НРБУ-97 [4]). Тогда вероятность смертного случая по причине облучения составит

¹ На примере Одесского государственного межобластного спецкомбината (ОГМСК).

$$P_j = 1 - \exp(-KD_j), \quad (3)$$

где K – коэффициент вероятности стохастических эффектов, $K = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$; D_j – максимально возможная доза облучения при аварии на j -м типе хранилища РАО.

Для ТРО анализ будет проводиться на основании аварийного события – падения плиты перекрытия в траншею с контейнерами ТРО во время загрузки хранилища. При такой аварии максимальный выход радиоактивности будет наблюдаться для траншеи с максимальной экспозиционной дозой, каковой является хранилище № 11 в ангаре (табл. 4.3 Отчета НТР КОРО [9]). Максимальная экспозиционная доза по одному хранилищу ТРО (хранилище № 11) составляет 1,35 Р/ч (табл. 4.3 Отчета НТР КОРО [9]). Тогда по гамма-излучению максимально возможная доза облучения при аварии составит $D_1 = 1,35/104 \cdot 10 = 1,3 \cdot 10^{-1} \text{ Зв}$, а вероятность смертного случая при возникновении аварии на ТРО составит (верхняя граница) $P_1 = 7,25 \cdot 10^{-3}$.

Для хранилища ИИИ будет проведен анализ, связанный с падением защитного контейнера и/или заклиниванием ИИИ в защитном контейнере типа УКТІВ-80. Поэтому максимально возможная доза облучения D_2 в этом случае отсчитывается не от накопленного уровня радиоактивности (как для ТРО), а по максимально возможной дозе ИИИ, которые транспортируются в контейнере и загружаются в ВРО. Максимальная допустимая загрузка упаковочных комплектов, определяемая мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения составляет $1,224 \cdot 10^{-2} \text{ Р/с}$ (п. 3.2 ТООИЭ УКТІВ-80 [11]), $1,224 \cdot 10^{-2} \text{ Р/с} = 0,7344 \text{ Р/ч} = 7,062 \cdot 10^{-3} \text{ Зв/ч}$.

Время устранения аварии на ВРО консервативно полагаем 1 ч. Тогда, $D_2 = 7,062 \cdot 10^{-3} \times 1 = 7,062 \cdot 10^{-3} \text{ Зв}$. Подставив D_2 в формулу (3), получим, что вероятность смертного случая при возникновении аварии на ВРО составит (верхняя граница) $P_2 = 3,95 \cdot 10^{-4}$.

Подставив нормативные и рассчитанные значения в формулу (2), окончательно сформируем вероятностный критерий безопасности: эксплуатация ПЗРО ОГМСК в части проведения загрузки хранилищ ТРО и ВРО считается безопасной, если выполняется неравенство

$$7,25 \cdot 10^{-3} I_1 + 3,95 \cdot 10^{-4} I_2 < 10^{-4}, \quad (4)$$

где I_1 – частота аварийных событий, возникающих при загрузке ТРО; I_2 – частота аварийных событий, возникающих при загрузке ВРО.

В свою очередь частоты аварийных событий I_j определяются из выражения

$$I_j = L_j P_{Tj}, \quad (5)$$

где L_j – частота возникновения ТТО по загрузке j -го хранилища; P_{Tj} – вероятность возникновения аварии при проведении ТТО по загрузке j -го хранилища.

Частота возникновения ТТО по загрузке j -го хранилища L_j определяется по статистике на основании данных по журналу получения РАО за последние три года (интервал с 1 января 2003 г. по 31 декабря 2005 г.). Вероятности возникновения аварии при ТТО по загрузке j -го хранилища определяются на основании качественного анализа надежности, прочностных расчетов и теории отказов, представленных в [12,13].

Для оценки частот аварийных событий был проведен анализ технической и эксплуатационной документации ПЗРО ОГМСК [9–11,14–18], в результате которого установлено:

1. При заполнении хранилищ № 7 - 11, 14, 18, которые находятся в бункере хранения, авария, приводящая к возможному превышению допустимых значений годовых доз облучения персонала (20 мЗв/год – Закон Украины «О защите человека от воздействия ионизирующего излучения») возможна только при падении плиты перекрытия внутрь хранилищ № 7 - 11. Именно эти хранилища накрыты железобетонными плитами (массой около 500 кг) и вскрываются с помощью специального устройства механизации – кран-балки. Остальные возможные инциденты, такие как падение контейнера с РАО на бетонный пол в бункере хранения, падение контейнера с РАО внутрь хранилища и другие нарушения ТТО, не могут привести к превышению допустимых значений годовых доз облучения персонала (рисунок).

2. При заполнении хранилища № 13 – хранилища ампулированных ИИИ – анализируются случаи застревания ИИИ в контейнере УКТІВ-80 (и его невыпадения в хранилище), а также выпадения ИИИ из контейнера вне хранилища, что может привести к превышению допустимых значений годовых доз облучения.

3. Хранилище ЖРО в настоящее время законсервировано, прием ЖРО не осуществляется.

4. Площадка РИТЭГов (№ 15) находится вне ангара, сами РИТЭГи хранятся в тех же контейнерах, в которых были доставлены (контейнеры УУК-3).

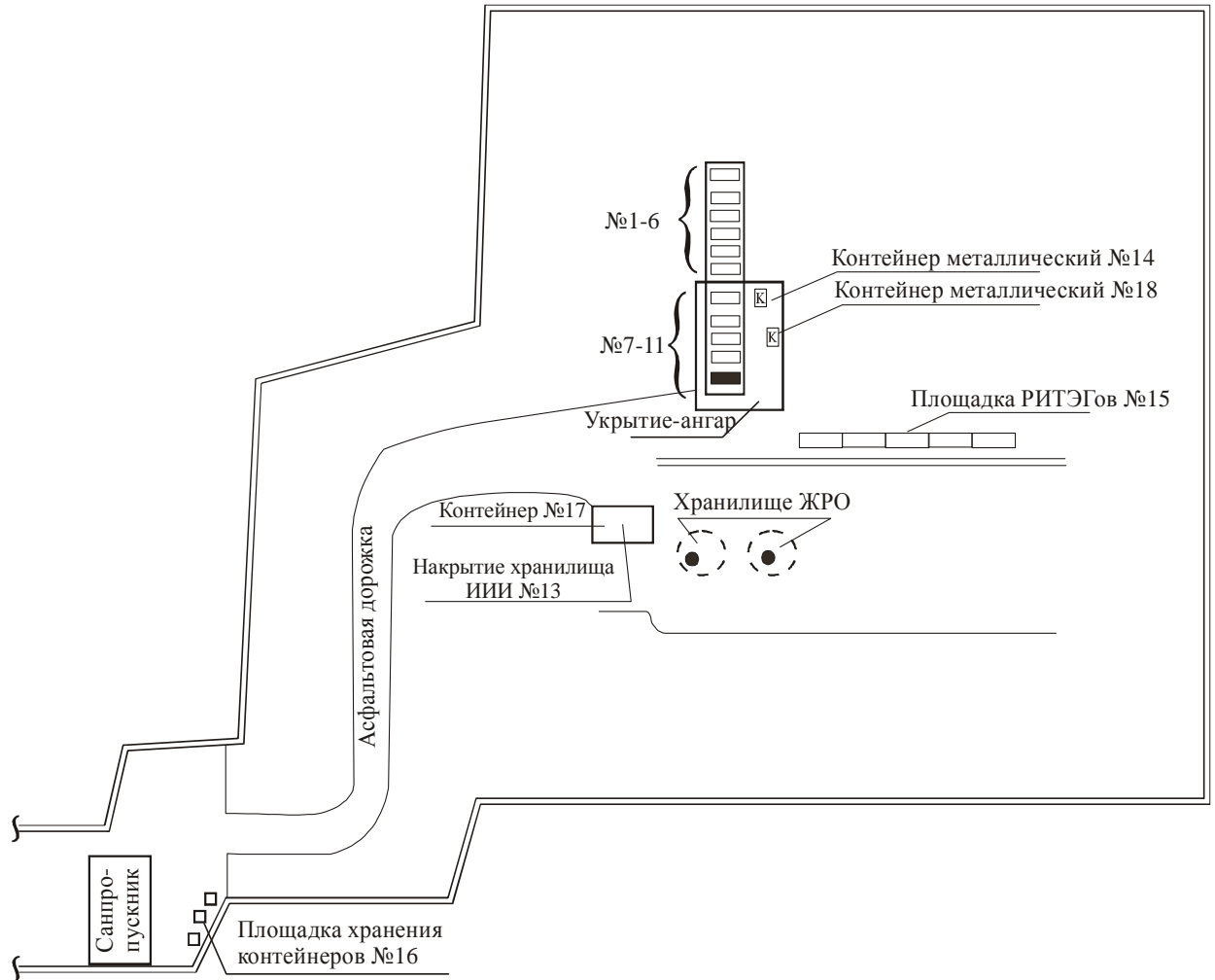


Схема условно грязной зоны ПЗРО ОГМСК.

Тогда частота возникновения ТТО по загрузке j-го хранилища составит

$$L_j = \frac{n_j}{M_j T_j}, \tag{6}$$

где n_j – общее количество фактов загрузки по j-му компоненту хранилища; M_j – количество хранилищ, входящих в один j-й компонент; T_j – период наблюдения, в течение которого было реализовано n_j фактов загрузки.

Результаты расчета по формуле (6) сведены в табл. 1.

Вероятность отказа через функции (плотности) распределения случайных величин напряжения и прочности выражается следующей общей зависимостью [13]:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} (1 - F_s(S)) f_s(S) dS, \tag{7}$$

где $F_x(x)$ - функция распределения напряжения s ; $f_s(x)$ - плотность распределения прочности S .

Таблица 1. Расчет частот возникновения ТТО по загрузке хранилищ РАО

j	Номера хранилищ	n_j	M_j	T_j	L_j
1	7-11	39	5	3	2,6
2	13	12	1	3	4

На основании проведенного анализа (литературных источников, вариационных расчетов, физической приемлемости) установлено, что приемлемым является использование следующих видов распределений случайных величин:

распределение Вейбулла для описания величин прочности металла компонентов оборудования;

логарифмически нормальное распределение для описания таких прочностных характеристик, как грузоподъемность или прочности фабрично выполненных сборочных единиц, таких как опоры-ступицы колеса;

логарифмически нормальное распределение для описания напряжения, которое стремится вызвать разрушение материала компонентов оборудования.

Подставив в формулу (7) выражения для функции логнормального распределения напряжения и плотности распределения Вейбулла для прочности, получим

$$P = 1 - \int_0^{\infty} \frac{1}{sx\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2s^2} - cx^\alpha\right) dx, \quad (8)$$

где μ, s – параметры логнормального распределения для напряжения; α, c – параметры распределения Вейбулла для прочности.

Исходя из физических характеристик (например, на основании прочностных расчетов и/или обработки статистических данных) определяют максимальное и минимальное значение случайной величины, по которым определяют среднее значение и отклонение, затем методом моментов оценивают параметры соответствующего распределения.

Вычисление значения интеграла в формулах (7) и (8) проводится численными методами.

Вероятность возникновения аварии при проведении ТТО по загрузке хранилищ № 7 - 11 с помощью кран-балки в общем случае составит

$$P_{Т1} = P_a \cdot P_b \cdot P_c, \quad (9)$$

где P_a – вероятность отказа кран-балки, приводящая к падению плиты перекрытия; P_b – вероятность попадания плиты перекрытия в бункер хранения ТРО; P_c – вероятность разрушения упаковок ТРО в случае падения на них плиты перекрытия.

Поскольку упаковки ТРО не испытываются на нагрузку от падения на них плиты массой 400 кг, то консервативно полагаем $P_c = 1$. Также консервативно полагаем $P_b = 1$.

Тогда

$$P_{Т1} = P_a = 1 - (1 - P_{эл})(1 - P_{стой})^4(1 - P_{оп})^2(1 - P_{бол})^2(1 - P_{2т})(1 - P_{ступ})^4, \quad (10)$$

где $P_{эл}$ – вероятность отказа электротельфера; $P_{стой}$ – вероятность отказа одной боковой стойки (всего 4 шт.); $P_{оп}$ – вероятность отказа опорной планки (всего 2 шт.); $P_{бол}$ – вероятность отказа одного болтового крепления (всего 2 шт.); $P_{2т}$ – вероятность отказа двугавровой балки; $P_{ступ}$ – вероятность отказа одной опоры-ступицы колеса (всего 4 шт.).

Оценка вероятности отказа проводится на основании прочностных расчетов с использованием известных методов, представленных в [19,20].

Используя результаты анализа надежности оборудования ПЗРО [16], получим $P_{Т1} = 4,08 \cdot 10^{-4}$.

Вероятность возникновения аварии при проведении ТТО по загрузке хранилища № 13

(хранилище ИИИ) равна вероятности возникновения деформации защитного контейнера УКТІВ-80 [16], поэтому $P_{T2} = P_{\text{конт}} = 2,05 \cdot 10^{-3}$.

Оценка частоты аварийных событий выполняется по формуле (5) с учетом значений P_{T1} и P_{T2} . В результате получим:

$I_1 = 1,06 \cdot 10^{-3}$ 1/год – частота аварийных событий, возникающих при загрузке хранилища с ТРО;

$I_2 = 8,19 \cdot 10^{-3}$ 1/год – частота аварийных событий, возникающих при загрузке хранилища ИИИ.

Суммарная частота аварийных событий, приводящих к возможному превышению допустимых значений годовых доз облучения персонала, составит $I_1 + I_2 = 9,25 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Анализ результатов

Первым результатом количественного анализа безопасности является оценка частот аварийных событий при эксплуатации ПЗРО ОГМСК. Получено, что превышение допустимых значений годовых доз облучения персонала при проведении загрузки хранилищ ТРО и ИИИ можно ожидать не чаще, чем один раз в 100 лет.

Следующим результатом является сравнение с вероятностным критерием безопасности (сформулированным выше) частоты смертных случаев (фатальные и нефатальные раки, тяжелые наследственные дефекты у потомков) по причине облучения при проведении ТТО по загрузке ТРО и ИИИ на ПЗРО ОГМСК – риск:

$$R = 7,25 \cdot 10^{-3} I_1 + 3,95 \cdot 10^{-3} I_2 = 1,09 \cdot 10^{-5} < 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (11)$$

Из приведенных сравнительных оценок следует, что потенциально более опасными являются операции по загрузке ТРО – по сравнению с загрузкой ИИИ. Объясняется это главным образом тем, что авария на хранилище ТРО может затронуть большие объемы РАО с общей максимальной экспозиционной дозой до 1,35 Р/ч. В то время как при загрузке ИИИ не могут быть затронуты РАО, находящиеся внутри хранилища колодезного типа, и опасность связана только с непосредственно загружаемым источником, мощность экспозиционной дозы которого не превышает 0,73 Р/ч.

Результаты анализа значимости по показателю снижения риска приведены в табл. 2.

Таблица 2. Анализ значимости по показателю снижения риска

Элемент ТТО	P_i	R, при $P_i = 0$	$\frac{R - R(0)}{R(0)} \cdot 100 \%$
Электротельфер	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$6,749 \cdot 10^{-6}$	61,861
Боковая стойка (4 шт.)	$2,57 \cdot 10^{-13}$	$1,092 \cdot 10^{-5}$	$1,775 \cdot 10^{-7}$
Опорная планка (2 шт.)	$6,67 \cdot 10^{-8}$	$1,092 \cdot 10^{-5}$	0,051
Болтовое крепление (2 шт.)	$1,48 \cdot 10^{-7}$	$1,092 \cdot 10^{-5}$	0,023
Двухавровая балка	$1,73 \cdot 10^{-4}$	$7,662 \cdot 10^{-6}$	42,573
Опора-ступица колеса (4 шт.)	$2,74 \cdot 10^{-6}$	$1,068 \cdot 10^{-5}$	2,271
Защитный контейнер	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$7,688 \cdot 10^{-6}$	42,083

Из анализа следует, что максимальный эффект от повышения надежности будет для электротельфера. В настоящее время электротельфер работает при нагрузках, близких к предельным. Грузоподъемность электротельфера 500 кг, масса поднимаемой плиты перекрытия 420 кг. Поэтому вероятность отказа электротельфера относительно большая ($2,22 \cdot 10^{-4}$). При замене электротельфера на другой, с грузоподъемностью в 1,5 раза больше (750 кг) можно снизить вероятность его отказа практически до 0, что снизит общий риск на 62 %.

В качестве путей дальнейшего расширения и уточнения вероятностных оценок безопасности хранилищ РАО следует отметить:

расширение ВАБ на операции по транспортированию РАО от производителя РАО до места захоронения;

определение оптимальной периодичности проверок/осмотров хранилищ на основании минимизации вероятности превышения выхода радиоактивности выше нормы – Р. Слишком частое вскрытие хранилищ приводит к росту Р из-за возможности уронить крышку на контейнеры и т.д. Слишком редкое вскрытие не дает возможности обнаружить возможное разрушение стенок хранилища, контейнеров и т.д., что также приводит к росту Р. Для такого анализа дополнительно разработанной выше модели нужна модель для расчета вероятности разрушения контейнера и/или хранилища с выходом радиоактивности выше нормы в процессе хранения на ПЗРО;

для уточнения вероятностных характеристик по отдельным элементам необходимо собрать статистику по отказам данного типа оборудования в условиях работы спецкомбинатов РАДОН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *НП 306.3.02/3.038–2000*. Вимоги щодо структури та змісту звіту з аналізу безпеки приповерхневих сховищ РАВ.
2. *НП 306.3.02/3.043–2001*. Вимоги щодо структури та змісту звіту з аналізу безпеки установки для переробки РАВ.
3. *НД 306.607–95*. Вимоги до поводження з радіоактивними відходами до їх захоронення. Загальні положення.
4. *ДГН 6.6.1.–6.5.001–98*. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ–97).
5. *Корчагин П.А., Замостьян П.В., Шестопалов В.М.* Обращение с РАО в Украине. – К., 2000. – 178 с.
6. Долговременное хранение и захоронение отработанных ИИИ в Украине. – К.: ВЦ «ДрУк», 2001. – 128 с.
7. *Саенко С.Ю., Неклюдов И.М., Холомеев Г.А. и др.* Математическое моделирование тепло- и массопереноса в геологическом защитном барьере после захоронения отработавшего ядерного топлива // Ядерная и радиационная безопасность.– 2000.– № 4.– С. 66–73.
8. *Федоров А.Л., Дорожжкин А.И., Сорокин В.Т.* Оценка безопасности хранилища с отвержденными радиоактивными отходами, упакованными в бетонные контейнеры // Атомная энергетика.– 1996.– Т.81, вып.1.– С. 40–47.
9. *Изучение хранилищ ВАО, ТРО, ЖРО на предмет оценки их эксплуатационных характеристик: (Отчет о НИР) / НТР КОРО. А-1078-3.* – Желтые Воды, 2005.
10. *Програма поводження з радіоактивними відходами на Одеському державному міжобласному спецкомбінаті.* – УкрДО „Радон”. – Одеса, 2005. – 25 с.
11. *Комплекты упаковочные транспортные УКТІВ.* Техническое описание и инструкция по эксплуатации. еН4.160.006.ГО. – 1991.
12. *Диллон Б., Сингх Ч.* Инженерные методы обеспечения надежности систем.. – М.: Мир, 1984.
13. *Капур К., Ламберсон Л.* Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980.
14. *Інструкція по діям персоналу у випадку радіаційної аварії ОДМСК УкрДО “Радон”.* – Одеса, 2004.
15. *Програма радіаційного контролю на ОДМСК Укр ДО „Радон”.* – Одеса, 2004. – 27 с.
16. *Экспертная оценка безопасности и технического состояния Одесского государственного межобластного спецкомбината (ПЗРО): (Заключит. отчет о НИР) / ОФ ГНТЦ ЯРБ.* – Одесса, 2006.
17. *Устройство механизации погрузочно-разгрузочных работ при захоронении ТРО на ПЗРО Одесского ОМСК.* Паспорт, инструкция по монтажу и эксплуатации. – Государственный межобластной спецкомбинат УкрГО «Радон». – Одесса, 1999.
18. *Эскизный проект устройства механизации захоронения ТРО на ПЗРО.* – Государственный межобластной спецкомбинат УкрГО «Радон». – Одесса, 1999.
19. *Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, А.В. Матвеев.* – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.
20. *Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.* Расчет на прочность деталей машин: Справочник. М., Машиностроение, 1993. – 640 с.

Поступила в редакцию 15.06.06

**23 ІМОВІРНІСНІ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПРИПОВЕРХНЕВОГО ПОХОВАННЯ
РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

Д. М. Бахчеван, Ю. О. Комаров, В. Ю. Кочнєва, В. І. Скалозубов

Представлено основи методу ймовірнісного аналізу безпеки об'єктів з радіоактивними відходами й результати розрахункових обґрунтувань на прикладі системи завантаження приповерхневого поховання.

**23 PROBABILISTIC ASSESSMENTS OF SAFETY OF NEAR-SURFACE RADIOACTIVE WASTE
DISPOSAL CHARGE**

D.N. Bahchevan, Yu.A. Komarov, V.Yu. Kochnyeva, V.I. Skalozubov

The bases of a method of the probabilistic analysis of safety of objects with radioactive waste products and results of calculated substantiations are submitted by the example of a charge system of near-surface radioactive waste disposal.