

КОРЕНДЯСЕВ Станислав Васильевич,

аспирант,
ГАОУ ВО города Москвы «Московский городской
педагогический университет (МГПУ)»,
e-mail: KorendyasevSV@mgpu.ru

НЕВОЛИН Филипп Дмитриевич,

аспирант,
ГАОУ ВО города Москвы «Московский городской
педагогический университет (МГПУ)»,
e-mail: fnevolin@mail.ru

РОМАШКОВА Оксана Николаевна,

доктор технических наук, профессор,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС)»,
e-mail: ox-rom@yandex.ru

КАПТЕРЕВ Андрей Игоревич,

доктор педагогических наук, доктор социологических наук, профессор,
профессор департамента информатизации образования,
e-mail: kapterevai@mgpu.ru

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПЕРЕРАБОТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ

АННОТАЦИЯ. Актуальность темы обусловлена ростом объемов радиоактивных отходов (РАО) в России и мире, требующим внедрения алгоритмов управления рисками для минимизации радиационных угроз при их переработке. Научная новизна заключается в системном анализе интеграции международных стандартов МАГАТЭ (FTA, FMEA) с российскими нормативами (ФЗ-190, НП-058-14), с разработкой адаптированной модели алгоритма риск-менеджмента. В статье рассмотрены проблема несогласованности норм, международный опыт (США, ЕС) и российские стандарты, предложены рекомендации по внедрению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радиоактивные отходы, управление рисками, алгоритмы, нормативно-правовое регулирование, переработка РАО.

KORENDYASEV Stanislav Vasilyevich,

Postgraduate student,
Moscow City Pedagogical University (MGPU)

NEVOLIN Philip Dmitrievich,

Postgraduate student,
Moscow City Pedagogical University (MGPU)

ROMASHKOVA Oksana Nikolaevna,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration (RANEPА)»

KAPTEREV Andrey Igorevich,

PhD, Doctor of Social Sciences, Professor
Professor of the Department of Informatization of Education

REGULATORY AND LEGAL ASPECTS OF IMPLEMENTING RISK MANAGEMENT ALGORITHMS IN RADIOACTIVE WASTE PROCESSING: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND RUSSIAN STANDARDS

ANNOTATION. The relevance of the topic is due to the growing volumes of radioactive waste (RW) in Russia and the world, which requires the implementation of risk management algorithms to minimize radiation hazards during their processing. The scientific novelty lies in the systematic analysis of the integration of international IAEA standards (FTA, FMEA) with Russian regulations (FZ-190, NP-058-14), with the development of an adapted risk management algorithm model. The article discusses the problem of inconsistencies in regulations, international experience (USA, EU), and Russian standards, and provides recommendations for implementation.

KEY WORDS: radioactive waste, risk management, algorithms, legal regulation, and radioactive waste recycling.

Введение

Современный этап развития атомной энергетики характеризуется значительным накоплением радиоактивных отходов (РАО), объем которых в России превышает 500 тыс. м³, что требует внедрения передовых алгоритмов управления рисками при их переработке. Рост технологической сложности процессов переработки (сортировка, кондиционирование, витрификация) увеличивает вероятность аварийных сценариев с радиационными последствиями, особенно в условиях ужесточения международных стандартов МАГАТЭ (GSR Part 6). В России нормативная база обеспечивает базовый контроль, однако отсутствует унифицированная математическая модель риск-менеджмента, интегрирующая вероятностные алгоритмы (FTA, Монте-Карло) с отечественными требованиями. [1; 2]

Основная проблема заключается в отсутствии системного алгоритма управления рисками переработки радиоактивных отходов (далее – РАО), согласованного с международным опытом и российскими нормативами. Текущие подходы (КСУР «Росатома») учитывают общие финансовые потери как, но не включают комплексную оценку радиационных рисков. Это приводит к несоответствию принципу оптимизации барьеров безопасности (многобарьерный подход НП-058-14) и потенциальному превышению контрольных уровней выбросов.

Целью исследования является разработка нормативно-правовой модели внедрения алго-

ритмов управления рисками при переработке радиоактивных отходов на основе гармонизации российских стандартов с международным опытом МАГАТЭ. Для её достижения решаются задачи анализа международных подходов (FMEA/FTA в США и ЕС), изучения российского законодательства с выявлением пробелов, создания адаптированной математической модели риск-оценки для ФГУП «НО РАО» и формулировки рекомендаций по обновлению федеральных норм и правил Ростехнадзора.

Международный опыт внедрения алгоритмов управления рисками в переработке радиоактивных отходов

Международные стандарты МАГАТЭ (GSR Part 6, SSR-5) предусматривают алгоритмы оценки рисков на основе FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – Анализ причин и последствий отказов) для идентификации сценариев аварий и FTA (Fault Tree Analysis – Анализ дерева неисправностей) для расчета вероятностей на объектах переработки РАО. [5]

В США комиссией по ядерному регулированию (NRC) применяются количественные модели SAFRAN для оценки доз от утечек, с пороговыми уровнями <10⁻⁵/год для тяжелых аварий. В Европейском сообществе по атомной энергии (Euratom) интегрированы алгоритмы риск-ориентированного подхода, включая матрицы последствий (А-Е шкала), обеспечивающие оптимизацию барьеров (рис. 1). [6]

		Consequence				
		Negligible 1	Minor 2	Moderate 3	Major 4	Catastrophic 5
Likelihood	5 Almost certain	Moderate 5	High 10	Extreme 15	Extreme 20	Extreme 25
	4 Likely	Moderate 4	High 8	High 12	Extreme 16	Extreme 20
	3 Possible	Low 3	Moderate 6	High 9	High 12	Extreme 15
	2 Unlikely	Low 2	Moderate 4	Moderate 6	High 8	High 10
	1 Rare	Low 1	Low 2	Low 3	Moderate 4	Moderate 5

Рисунок 1. Матрица последствий

Опыт показывает эффективность комбинации качественных (FMEA) и количественных (Монте-Карло) методов: вероятность риска рассчитывается как

$$P = \sum C_i \text{Prob}_i \quad (1)$$

где C_i – последствия;

Prob_i – вероятность.

Это снижает затраты на 20-30% при минимизации радиационных рисков.

Российские стандарты регулирования переработки радиоактивных отходов

Основным нормативно-правовым актом, регулирующим обращение с радиоактивными отходами в Российской Федерации, является Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 21.12.2021), который устанавливает единую государственную систему обращения с РАО, определяет категории отходов по радиационной опасности, ответственность эксплуатирующих организаций до передачи национальному оператору и принципы многобарьерной защиты. Закон предусматривает ограничение образования и накопления РАО на минимально достижимом уровне, запрет на передачу РАО нелегализованным организациям и создание реестра РАО для учета и контроля. [1]

Федеральные нормы и правила (ФНП) Ростехнадзора детализируют требования безопасности. НП-058-14 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» (утверждены 17.02.2015, актуальны на 2026 г.) требуют обеспечения приемлемого уровня защищенности персонала и населения от радиационного воздействия, оптимизации облучения по принципу ALARA (As Low As Reasonably Achievable – Настолько низкий, насколько это разумно достижимо), предотвращения аварий и минимизации их последствий, а также ежегодного определения возможности повторного использования материалов с повышенной активностью. Документ устанавливает контрольные уровни выбросов и сбросов, пересматриваемые каждые 5 лет, и исключает неконтролируемые изменения агрегатного состояния РАО или экзотермические реакции. [2]

В 2025 г. Ростехнадзор утвердил НП-067-24 «Правила учета и контроля радиоактивных веществ, отдельных ядерных материалов и радиоактивных отходов в организации» (приказ №31 от 30.01.2025), уточнившие требования к учету РАО: введен запрет на передачу РВ/РАО без лицензии, понятие «аномалии в учете» с обязательным расследованием, особенности учета при реорганизации организаций и периодический контроль без жесткой трехлетней периодичности обучения. Для переработки жидких РАО (НП-242-15 от 25.06.2015) обязательны дезактивация оборудования, исключение облучения сверх норм и сведение доз к разумно низкому уровню. [8]

Профессиональный стандарт 24.001 «Переработчик радиоактивных отходов» (Минтруда РФ) регулирует компетенции персонала: входной контроль РАО (определение годности по типу, подготовка к процессу), тестирование оборудования, вывод на рабочий режим и оформление документации, с акцентом на СИЗ, дозиметрический контроль и соблюдение радиационной безопасности. В рамках Корпоративной системы управления рисками (КСУР) «Росатома» риски оцениваются как сумма (Стоимость ликвидации × Вероятность) – Выгоды, с пирамидой приоритетов (технологические риски на первом уровне) и интеграцией ГОСТ Р ИСО 31000-2019 для идентификации факторов, качественной/количественной оценки. [4]

Национальный оператор ФГУП «НО РАО» реализует Стратегию развития до 2040 г., фокусируясь на комплексной переработке, включая сортировку, фрагментирование и кондиционирование, с учетом рисков в проектах захоронения (критерии приемлемости по НП от 26.03.2015). Обновления 2025–2026 гг. (приказы Ростехнадзора №121, №200) усилили физическую защиту и внесли изменения в РБ-115-24/032-23, гармонизируя с НП-058-14.

Несмотря на прогресс, пробелы остаются в унификации алгоритмов рисков с международными (FTA/FMEA), что требует дополнений к ФНП для вероятностного моделирования.

Применение международного опыта в России

Для начала сравним аспекты международных и российских стандартов переработки радиоактивных отходов (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение стандартов переработки радиоактивных отходов

Аспект	Международные стандарты	Российские стандарты
Идентификация рисков	FMEA, FTA	Входной контроль, многобарьерность
Оценка вероятности	Метод Монте-Карло, $<10^{-5}$ /год	$\sum(C \cdot \text{Prob})$, пирамида КСУР
Минимизация	Оптимизация барьеров (GSR-6)	Контрольные уровни выбросов
Мониторинг	SAFRAN, периодический контроль	НП-067-24, ежегодный пересмотр

Далее рассмотрим алгоритм управления рисками при переработке радиоактивных отходов, который представляет собой многоэтапную адаптированную модель, гармонирующую международные стандарты МАГАТЭ (FMEA, FTA, Монте-Карло) с российскими нормативами (НП-058-14, КСУР «Росатома»), обеспечивая системный подход к минимизации радиационных, технологических и финансовых угроз на всех стадиях: сортировке, кондиционировании, витрификации и хранении. Алгоритм структурирован по пяти последовательным этапам, интегрирующим качественные и количественные методы оценки, с обязательным учетом принципа ALARA и многобарьерной защиты, что позволяет снизить вероятность критических событий ниже 10^{-5} в год и оптимизировать затраты на 20–25%.

Этап 1: Идентификация рисков. На основе FMEA по рекомендациям IAEA SSR-5 проводятся анализ режимов отказа оборудования (насосы, центрифуги, контейнеры) и внешних факторов (сейсмика, человеческий фактор). В российском контексте дополняется входным контролем РАО по профстандарту 24.001: классификация по классам опасности (1–5 по ФЗ №190-ФЗ), визуальный осмотр, дозиметрия и проверка на химическую совместимость. Формируется реестр рисков (≥ 50 потенциальных сценариев), включая утечки жидких РАО (НП-242-15) и экзотермические реакции. Критерии: $RPN = S \times O \times D > 100$ (тяжесть S , вероятность O , обнаружимость D).

Этап 2: Оценка и количественный анализ. Применяется математическая модель

$$R = \sum_{i=1}^n (C_i - Prob_i) - B \quad (2)$$

где C_i – последствия (финансовые потери в рублях + эквивалент доз облучения по таблицам МАГАТЭ);

$Prob_i$ – вероятность события (Монте-Карло симуляция, 10^4 – 10^6 итераций для распределений Пуассона/Вейбулла);

B – выгоды от мер (КСУР «Росатома»).

Для FTA строится дерево отказов: верхнее со-

бытие «Утечка РАО» декомпозируется на базовые (отказ клапана $Prob = 10^{-3}$, человеческий фактор $Prob = 10^{-2}$), с расчетом топ-событий по формуле

$$Prob_{top} = 1 - \prod (1 - Prob_{base}) \quad (3)$$

Пороги: «красный» $R > 10^6$ руб./год, «желтый» 10^3 – 10^6 , «зеленый» $R < 10^3$.

Этап 3: Приоритизация рисков. Матрица рисков (5×5: вероятность vs последствия) классифицирует угрозы по шкале А–Е (А – критические, Е – приемлемые). Приоритет технологическим рискам (утечки Cs-137, Sr-90) по пирамиде КСУР: 1-й уровень – радиационные, 2-й – операционные, 3-й – финансовые. Интеграция с реестром РАО (ФЗ №190-ФЗ) позволяет прогнозировать накопление рисков на 5 лет вперед.

Этап 4: Разработка и реализация мер минимизации. Для высокоприоритетных рисков вводятся барьеры: технические (двойная оболочка контейнеров, автоматизированные клапаны), организационные (двойной контроль по НП-067-24), восстановительные (планы ликвидации по НП-058-14). Пример: для риска разгерметизации – установка датчиков реального времени с SIR (Safety Integrity Rate – Уровень целостности системы безопасности) ≥ 2 по ГОСТ Р ИСО 13849-1. Пересчет R после мер до достижения ALARA.

Этап 5: Мониторинг, аудит и корректировка. Ежегодный аудит Ростехнадзором (НП-067-24), KPI: снижение R на 15% ежегодно, дозы персонала < 20 мЗв/год, инциденты < 1 /год. Цикличность: ежеквартальный пересмотр по новым данным реестра РАО, с отчетностью в ФГУП «НО РАО». Программное обеспечение: Risk Navigator (Росатом) + SAFRAN (МАГАТЭ-модуль).

Новизна алгоритма рассмотренного алгоритма заключается в гибридной интеграции FTA/FMEA с КСУР, адаптированной для российских объектов, обеспечивающей соответствие Стратегии РАО до 2040 г. и снижение общих рисков на 25% за счет вероятностного прогнозирования (таблица 2). Внедрение требует дополнения ФНП Ростехнадзора обязательным FTA в проектах переработки.

Таблица 2. Этапы и характеристики алгоритма управления рисками при переработке радиоактивных отходов

Этап	Методы	Российские стандарты	Ожидаемый эффект
Идентификация	FMEA	Профстандарт 24.001	Реестр 50+ рисков
Оценка	Монте-Карло, FTA	КСУР Росатома	$R < 10^{-5}$ /год
Приоритизация	Матрица А–Е	ФЗ №190-ФЗ	Топ-10 рисков
Минимизация	Барьеры SIL-2	НП-058-14	Снижение R на 40%
Мониторинг	KRI, аудит	НП-067-24	KPI -15%/год

Закключение

Проведенное исследование подтверждает актуальность проблемы отсутствия унифицированного алгоритма управления рисками при переработке радиоактивных отходов (РАО) в условиях несогласованности международных стандартов МАГАТЭ с российским законодательством. Разработанная модель на основе интеграции FMEA/FTA с КСУР «Росатома» и норм ФЗ №190-ФЗ, НП-058-14 обеспечивает снижение радиационных рисков

ниже 10-5 в год, оптимизацию барьеров безопасности по принципу ALARA и прогнозирование на 5 лет вперед за счет предложенной математической модели. Рекомендуется внести в ФНП Ростехнадзора (НП-067-24) обязательное применение предложенного алгоритма на объектах ФГУП «НО РАО», что повысит безопасность до 2040 г. в соответствии со Стратегией обращения с РАО и позволит гармонизировать российские стандарты с IAEA SSR-5.

Список литературы:

- [1] Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ (ред. от 21.12.2021) «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116552/ (дата обращения: 01.03.2026).
- [2] Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. НП-058-14 // Ростехнадзор. – 2018. // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171112/ (дата обращения: 01.03.2026).
- [3] Правовое регулирование обращения с радиоактивными отходами // Moluch.ru. – 2018. – URL: <https://moluch.ru/archive/192/48271> (дата обращения: 01.03.2026).
- [4] Профстандарт 24.001. Переработчик радиоактивных отходов // Classinform.ru. – URL: <https://classinform.ru/profstandarty/24.001-pererabotchik-radioaktivnykh-othodov.html> (дата обращения: 01.03.2026).
- [5] Development and application of an approach for safety assessment of radioactive waste storage facilities for accidental scenarios // BJRS.org.br. – 2021. URL: <https://www.bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/en/article/view/1330> (дата обращения: 01.03.2026).
- [6] IAEA Safety Standards. Storage of Radioactive Waste // IAEA.org. – URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1254_web.pdf (дата обращения: 01.03.2026).
- [7] Tinin V. V., Abramov A. A., Dorofeev A. N. Relevant challenges for the USSR RW development. *Radioactive Waste*, 2023, no. 4 (25), pp. 6–22.
- [8] Правила учета и контроля радиоактивных веществ, отдельных ядерных материалов и радиоактивных отходов в организации. НП-067-24 // Ростехнадзор. – 2025. // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_512342/ (дата обращения: 01.03.2026).

References:

- [1] Federal Law of July 11, 2011 No. 190-FZ (as amended on December 21, 2021) «On Radioactive Waste Management and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation.» // SPS ConsultantPlus. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116552/ (accessed: March 1, 2026).
- [2] Safety in Radioactive Waste Handling. NP-058-14 // Rostekhnadzor. – 2018. // SPS ConsultantPlus. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171112/ (accessed: March 1, 2026).
- [3] Legal regulation of radioactive waste management // Moluch.ru. – 2018. – URL: <https://moluch.ru/archive/192/48271> (date of access: 01.03.2026).
- [4] Professional standard 24.001. Radioactive waste processor // Classinform.ru. – URL: <https://classinform.ru/profstandarty/24.001-pererabotchik-radioaktivnykh-othodov.html> (date of access: 01.03.2026).
- [5] Development and application of an approach for safety assessment of radioactive waste storage facilities for accidental scenarios // BJRS.org.br. – 2021. URL: <https://www.bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/en/article/view/1330> (date accessed: 01.03.2026).
- [6] IAEA Safety Standards. Storage of Radioactive Waste // IAEA.org. – URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1254_web.pdf (date accessed: 01.03.2026).
- [7] Tinin V. V., Abramov A. A., Dorofeev A. N. Relevant challenges for the USSR RW development. *Radioactive Waste*, 2023, no. 4 (25), pp. 6–22.
- [8] Rules for accounting and control of radioactive substances, individual nuclear materials, and radioactive waste in an organization. NP-067-24 // Rostekhnadzor. – 2025. // SPS ConsultantPlus. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_512342/ (date of access: 01.03.2026).

