

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОГО ПГЗРО

**В. С. Свительман¹, Е. А. Савельева¹, Р. А. Бутов¹, Ин. И. Линге¹,
А. Н. Дорофеев², В. Л. Тихоновский³**

¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

²Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

³Группа компаний «НЕОЛАНТ», Москва

Статья поступила в редакцию 05 июня 2018 г.

В статье рассматриваются вопросы управления знаниями в проекте создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) и описывается информационная платформа, разрабатываемая с целью накопления и систематизации данных и знаний, а впоследствии их использования в процессе обоснования и демонстрации долговременной безопасности. Рассматриваются как текущее состояние составляющих информационной платформы, так и потенциал их развития и интеграции в концепции цифровой модели подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) с учетом потребностей заинтересованных сторон и современных технологических возможностей.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, пункт глубинного захоронения, цифровая подземная исследовательская лаборатория, оценка и обоснование безопасности, управление знаниями.

Предпосылки

В международной практике обоснования долговременной безопасности ПГЗРО вопросы управления знаниями, включая сохранность и доступность информации, относятся к числу приоритетных направлений [1–4].

Соответствующие исследования [5] и мероприятия предусмотрены «Стратегией создания ПГЗРО» [6] на всех фазах реализации проекта (направления «Система управления и кадры», «Исследования и разработки по обоснованию безопасности», «Взаимодействие с заинтересованными сторонами»).

В документах МАГАТЭ ([7–9]) неоднократно подчеркивается необходимость:

- доступности всей информации, отражающей этапы жизненного цикла ПГЗРО, в том

числе и для будущих поколений (см., например, п. 6.21 [9], п. 6.83 [8]);

- прослеживаемость, т. е. четкое и полное документирование цепочки принятых решений и допущений, нормативно-правовой базы, аргументов безопасности, расчетных моделей, параметров и данных, экспертных оценок и т. д. (см. пп. 4.98, 5.20, 7.16 [9]).

В качестве примера соответствующего подхода на рис. 1 приведена структура отчетов и документации различного уровня, используемая Национальным агентством Франции по обращению с РАО (ANDRA) для обоснования безопасности и технической осуществимости проекта геологического захоронения РАО в глиняных формациях [10].

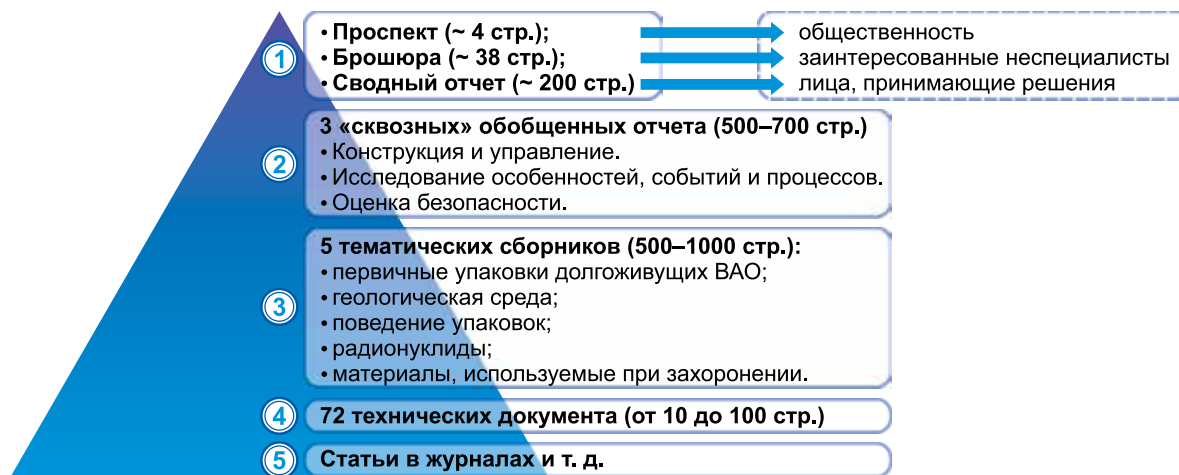


Рис. 1. Структура документации ANDRA по проекту геологического захоронения РАО



Рис. 2. Основные элементы проекта PULSE

Данная статья посвящена описанию информационно-аналитической платформы, предназначенной для поддержки процесса обоснования долговременной безопасности российского ПГЗРО — PULSE (Project of Underground Laboratory Scientific Escort, Проект научной поддержки ПИЛ). Центральным и связующим элементом проекта PULSE является база знаний.

PULSE должна объединить в себе базу знаний, расчетные коды, обеспечивающие реализацию интегральной модели долговременной эволюции, а также трехмерную информационно-аналитическую модель ПГЗРО (рис. 2).

База знаний

В свете требований к доступности информации, отражающей этапы жизненного цикла ПГЗРО, основой базы знаний PULSE является файловый архив, содержащий все накопленные

документы по предметной области, используемые в процессе обоснования безопасности:

- научно-технические отчеты и в целом документация по проекту, подготовленные за время его реализации (с середины 1980-х гг.);
- вся релевантная ссылочная документация, объем которой на порядки превышает количество самих отчетов;
- отчеты по зарубежным проектам ПГЗРО;
- подборки новых научных публикаций по различным аспектам захоронения РАО.

Следует отметить, что в силу актуальности проблем сохранения знаний в крупномасштабных проектах [4], причем не только в проектах захоронения радиоактивных отходов, в настоящее время существуют международные общедоступные информационные системы, например, библиотека документов, охватывающих все области деятельности МАГАТЭ [11]. Перед разработчиками PULSE не стоит цели их

дублирования. В файловый архив постепенно добавляются все те документы, которые так или иначе используются в обосновании безопасности — в качестве аргументации, источника данных для каких-либо исследований или другой информации.

Следующий шаг — переход от структурированного хранилища информации к базе знаний, что предполагает реализацию инструментов для использования информации при принятии решений на разных этапах реализации Стратегии создания ПГЗРО. Эти средства должны позволять обрабатывать накопленную информацию, а также поступающую в оперативном режиме при выполнении мероприятий, проведении исследований. Кроме того, должна быть реализована возможность учитывать и анализировать различные мнения экспертов.

На данном этапе развития в базе знаний PULSE отражены инструменты для следующих задач:

- систематизация и анализ степени реализации требований к ПГЗРО, исходящих из различных источников (раздел «ОДБ и требования»);
- обоснование наиболее вероятных и альтернативных сценариев эволюции системы захоронения, включая связи с необходимыми исследованиями (раздел «ОДБ и требования»);
- структурирование уже проведенных и планируемых в будущем исследований, включая связи между ними (раздел «Программа исследований»);
- анализ изученности системы захоронения в терминах Особенности, Событий и Процессов (раздел «Особенности, События, Процессы») [12];
- документирование работы экспертов в рамках аргументации безопасности и сопровождения Проекта (раздел «Сопровождение Проекта»).

База знаний PULSE разрабатывается в виде веб-интерфейса к базе данных на основе СУБД Oracle [13]. Интерфейс обеспечивает варианты представления информации в виде различных структурированных форм и графиков для организации удобной работы по анализу и модификации данных. При необходимости доступ к определенным инструментам может быть разрешен или запрещен отдельным пользователям или группам пользователей.

Так, например, в разделе «ОДБ и требования» документы МАГАТЭ, декомпозированные на систему отдельных требований и рекомендаций [5], можно просматривать в виде отчета с возможностями поиска и группировки, а также ссылками на полный текст. Аналогичная структура предусмотрена и для нормативных требований, регламентирующих различные этапы жизненного цикла ПГЗРО.

В отличие от нормативных, технические требования к составляющим системы захоронения формируются в процессе работы над обоснованием безопасности конкретного объекта.

Поэтому пользователю-эксперту предоставляется возможность в интерактивном режиме добавлять и редактировать такого рода требования в разрезе элементов системы захоронения, выполняемых ими функций и необходимых для этого характеристик. Данный подход наиболее полным образом описан в совместном отчете финской компании Posiva и шведской компании SKB [14].

В разделе «Особенности, События, Процессы», как и для требований, есть неизменная внешняя информация и та, которая видоизменяется и развивается в итеративном процессе обоснования безопасности. Так, категории ОСП, базирующиеся на международном списке влияющих на безопасность факторов [12], а также факторы, которые рассматривались в рамках этих категорий в различных зарубежных проектах [5, 15], «зафиксированы», а для анализа отдельных факторов ОСП, влияющих на проектируемый объект, реализована специальная форма.

Формирование программы необходимых для обоснования долговременной безопасности научно-исследовательских работ [5] отражено в разделе «Программа исследований». На рис. 3 приведена высокоуровневая матрица исследований, в которой они были сгруппированы по соответствующим им элементам системы захоронения и направлениям деятельности. Цвет ячейки на пересечении элемента и направления деятельности показывает количество связанных исследований, через «/» указано количество исследований в подземной исследовательской лаборатории.

Для каждой НИР в Программе должен быть заполнен паспорт исследования, включающий в том числе следующие данные: исследуемый элемент системы захоронения; направление исследования; условный код (шифр) работы;

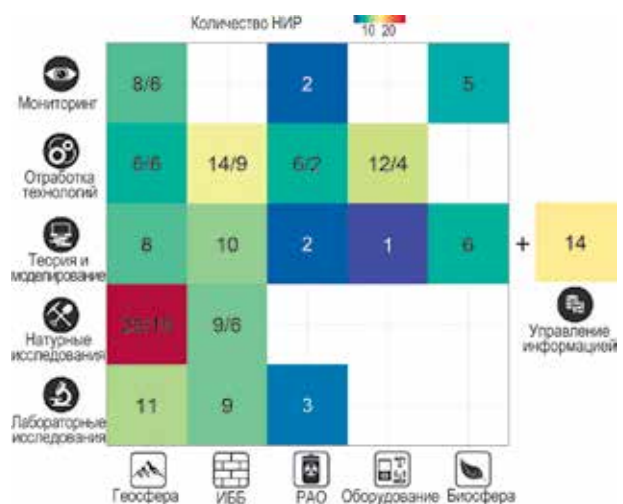


Рис. 3. Предварительное количество НИР и НИОКР в Программе исследований по соответствующим им элементам системы захоронения (горизонтальная ось) и направлениям деятельности (вертикальная ось)

название и цель; предполагаемые сроки начала; основания для реализации; результаты предшествующих исследований; используемое оборудование и методы, необходимые для проведения анализа; предполагаемый результат и указание на его дальнейшее использование. Для исследований в ПИЛ предусмотрены поля: измеряемые характеристики, для обоснования какой концепции захоронения эксперимент проводится, требования к локализации и длительности, материалам и оборудованию. По

мере эксплуатации и развития системы PULSE возможности описания НИР будут дополняться и модернизироваться.

По мере появления отчетов о проведении исследований они, как и результаты работы экспертов с требованиями и ОСП, систематизируются в специальном разделе базы знаний, задающем структуру обоснования долговременной безопасности, соответствующую рекомендациям МАГАТЭ [9] и лучшим зарубежным практикам [16, 17] (рис. 4).

Структура ОДБ

- ▼ ОДБ
 - ▼ Итоговый отчет
 - Описание концепции безопасности
 - Определение функций безопасности, соответствующих показателей и критериев их оценки
 - Подтверждение выполнения функций безопасности по результатам исследований в ПИЛ
 - ▼ Набор основных документов
 - ▼ Серия отчетов, характеризующих начальное состояние (отчеты о входных данных)
 - Состояние площадки
 - Состояние системы ИББ
 - Состав и характеристики РАО
 - ▼ Серия отчетов о внутренних процессах
 - Отчет о процессах в РАО и матрице
 - Отчет о процессах в канистре
 - Отчет о процессах в буфере
 - Отчет о процессах в бетоне
 - Отчет о процессах во вмещающей горной породе (включая зону нарушений)
 - ▼ Серия отчетов о внешних процессах
 - Отчет о климате
 - Отчет о геосфере
 - Отчет по ОСП
 - Итоговый отчет о формировании сценариев
 - Отчет по используемым моделям
 - Отчет о переносе радионуклидов
 - Отчет о результатах моделирования долгосрочных сценариев
 - Отчет о последствиях эксплуатации
 - ▼ Дополнительная информация
 - Конструкторская документация
 - Описание площадки
 - Результаты НИОКР, в т.ч. более ранних исследований
 - Базы данных ОСП

Рис. 4. Предварительная структура обоснования долговременной безопасности

Расчетные коды в составе интегральной модели для обоснования долговременной безопасности

При обосновании безопасности пункта глубинного захоронения РАО ключевую роль играют результаты моделирования эволюции его влияния на человека и окружающую среду в долгосрочной перспективе (см. раздел 5 [9]). Частные модели отдельных элементов системы захоронения [18–21], а также интегральная модель долговременной эволюции объекта в целом должны отражать достигнутый уровень изученности и охватывать все основные аспекты обеспечения долговременной безопасности ПГЗРО, включая характеристики источников ионизирующих излучений и создаваемых ими радиационных полей, особенности выщелачивания разных нуклидов из разных типов РАО, взаимодействие различных форм радионуклидов с инженерными барьерами и их перенос в ближней зоне, особенности взаимодействия и перенос загрязнителя в геологической среде, перенос радионуклидов в биосфере и прогнозные оценки радиационного воздействия ПГЗРО на население и биоту, и целый комплекс вспомогательных аргументов, необходимых для повышения обоснованности расчетов и уровня доверия к проекту в целом [9].

Обмен информацией между расчетными кодами осуществляется путем формирования и передачи сценариев изменения свойств материалов и процессов — наборов значений параметров, привязанных к временному периоду расчетного процесса. Также важны оценки чувствительности и неопределенности [22] — они могут быть одним из количественных критериев выбора и определения приоритетности дальнейших исследований, результаты которых критичны для проектных решений, обеспечивающих долговременную безопасность ПГЗРО.

Информационно-аналитическая модель ПГЗРО

Трехмерная информационно-аналитическая модель на базе платформы Неосинтез (Neosyntez) [23] реализует требование к техническому описанию концептуальной модели ПГЗРО, включая сведения об используемых материалах и элементах системы захоронения (п. II.27 [8]).

Данный подход к описанию и демонстрации проектных решений широко используется в строительстве в виде BIM (Building Information Modelling) и включает в себя генерацию и управление цифровыми представлениями физических и функциональных характеристик реальных объектов. Системы ранжируются по степени полноты представления по измерениям (Dimensions):

- 3D – трехмерная модель объекта;

- 4D = 3D + время (производственное расписание, проверка проектных решений в динамике);
- 5D = 4D + стоимость (повышение экономичности, контроль расходов);
- 6D = 5D + устойчивость (устойчивость развития, энергоэффективность);
- 7D = 6D + управление (оптимизации работы объекта на протяжении всего жизненного цикла).

Задачи информационно-аналитической модели на текущий момент — проверка и демонстрация реализуемости проектно-технологических решений, что представляет собой уровень 4D BIM модели, но в будущем при проектировании ПГЗРО потребуется реализация более высоких измерений.

Одним из активно развивающихся направлений 4D-моделирования является использование совместных ТНМВС (тепловых, гидродинамических, механических, биологических и химических) расчетов. Результаты этих и других расчетов будут проверяться при проведении экспериментальных исследований в ПИЛ и определять характеристики компоновки объекта, конструкции и материалов его элементов, а также параметры технологических процессов.

В качестве примера 4D-процесса на рис. 5 показано анимационное представление технологических операций с РАО класса 1. Такое представление наглядно отображает процесс и выявляет возможные трудности еще на стадии проектирования, так как все элементы будущего объекта представлены в 3D-модели. Если проведение динамического процесса в 4D оказывается невозможным, вносятся изменения либо в 3D-модель (например, увеличивается площадь поперечного сечения скважины для размещения в ней контейнера), либо в процесс (рассматриваются более современные способы загрузки).

Возможности интеграции и направления развития

На текущем этапе стратегическая цель выполняющихся работ и вектор развития информационной платформы исследовательской программы ПГЗРО — это постепенная интеграция расчетно-программных комплексов, накопленного массива данных, проектных решений и современных технологий в структуру цифровой ПИЛ.

Назначение и потенциал цифровой ПИЛ — предоставление специалистам адекватного инструмента для изучения протекающих в создаваемом ПГЗРО процессах с использованием численных моделей, в которые заложены параметры конкретного объекта, и доступ к накопленной информации. Соответствующее программное обеспечение должно позволять, с одной стороны, анализировать и наглядно визуализировать протекающие в экспериментальных установках подземной лаборатории процессы, а с другой стороны — эффективно планировать

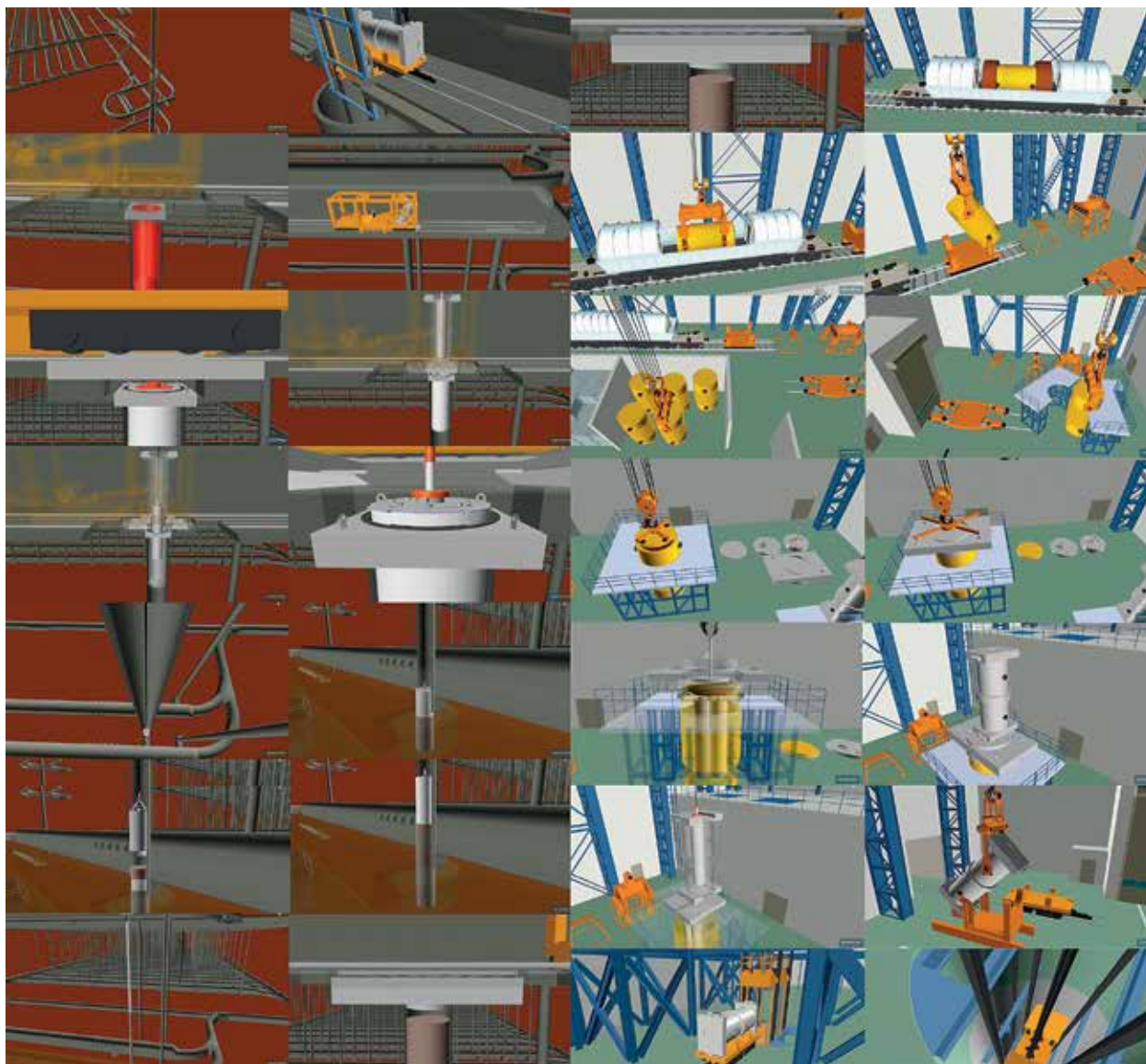


Рис. 5. Анимационное представление технологических операций с РАО класса 1

и контролировать конструктивное исполнение системы захоронения в геологических структурах. Наглядная визуализация результатов цифрового моделирования системы захоронения должна помочь в работе специалистов, а также в задачах демонстрации безопасности и взаимодействию с заинтересованными сторонами.

Результаты работы расчетных кодов, т. е. количественные и качественные аргументы безопасности и осуществимости, основывающиеся на результатах математического моделирования (п. II.10 [8]), естественно, найдут свое место в структуре обоснования долговременной безопасности, но на этом возможности интеграции не исчерпываются. Полноценная интеграция расчетных комплексов с базой данных PULSE предоставит возможности использовать актуальные экспериментальные или натурные данные, а также планировать численные эксперименты, необходимые для подтверждения отдельных аргументов безопасности.

Интеграция программных комплексов с информационно-аналитической моделью позволит получать дополнительную информацию об объектах 3D-модели. Отражение изменений этой информации с течением времени составит уровень 4D подхода BIM. Кроме того, анализ зарубежного опыта показывает, что такая модель может стать полноценным интерфейсом базы знаний Проекта. Так, например, в немецком проекте VIRTUS [24] реализуется «виртуальная подземная исследовательская лаборатория», в которой можно, «перемещаясь» по трехмерной модели ПГЗРО, получить как историческую информацию из базы знаний, так и запланировать, а затем провести численные исследования.

Интерфейс цифровой подземной лаборатории будет включать технологии виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR). VR — это компьютерная трехмерная модель, в которую погружается пользователь, AR — это компьютерные модели, которые видны

пользователю в реальном мире. На данный момент рынок VR и AR активно развивается, предоставляя пользователям множество технологий, которые в том числе могут быть применены в составе исследовательской программы ПГЗРО.

В случае VR-технологии — это приложения для обучения персонала ПИЛ и отработки им операционных действий (направление «Практические работы на площадке» Стратегии создания ПГЗРО [6]), а также реализация виртуальных экскурсий по подземной лаборатории. Кроме того, такое приложение может быть использовано для удаленной оценки текущего состояния работ внешними экспертами. Вариант применения AR-технологии — это информационное сопровождение (получение дополнительной информации об элементах и подсистемах ПИЛ, навигация по объекту). Также AR предоставляет возможность демонстрации при помощи только одного смартфона 3D-модели с экспериментальными и расчетными данными на специальном маркере или на любой плоской поверхности (стол, стенд и т. д.). Такие возможности VR и AR-технологий могут быть как инструментом реализации рекомендаций МАГАТЭ по демонстрации безопасности, так и инструментом коммуникации с заинтересованной общественностью.

Литература

1. International Mechanisms to Support Records, Knowledge and Memory Preservation Over the Short and Medium Term, NEA/RWM/R(2015)2. — Paris, France: OECD, 2015. — URL: <http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2015/rwm-r2015-2.pdf>. —
2. Vision Document for the Radioactive Waste Repository Metadata Management (RepMet) Project, NEA/RWM(2014)2. — Paris, France: OECD, 2014. — URL: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/47/032/47032433.pdf.
3. Sourcebook of International Activities Related to the Development of Safety Cases for Deep Geological Repositories, NEA/RWM/R(2013) : NEA Report No. 7341. — Paris, France: OECD, 2017. — URL: <https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2017/7341-sourcebook-safety-cases.pdf>. —
4. Comparative analysis of methods and tools for nuclear knowledge preservation: Technical report No. NG-T-6.7, IAEA Nuclear Energy Series. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011.
5. Дорофеев А. Н., Большов Л. А., Линге И. И., Уткин С. С., Савельева Е. А. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 32—41.
6. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 114—120.
7. Захоронение радиоактивных отходов. Конкретные требования безопасности № SSR-5: Нормы МАГАТЭ по безопасности. — МАГАТЭ, Вена, 2011.
8. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-14 : IAEA Safety Standards. — IAEA, Vienna, 2011.
9. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Guide No SSG-23 : IAEA Safety Standards. — International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2012.
10. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО / Н. С. Цебаковская и др.; под ред. И.И. Линге, Ю.Д. Полякова — М.: Изд-во «Комтехпринт», 2015. — 208 с.
11. International Nuclear Information System. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.iaea.org/INIS/>.
12. A New Approach for Feature, Event, and Process (FEP) Analysis of UNF/HLW Disposal / G. Freeze, S. D. Sevougian, C. Leigh, M. Gross, J. Wolf, J. Mönig, and D. Buhmann// Proceedings of the WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona USA.
13. Oracle Database Help Center — URL: <http://docs.oracle.com/en/database/> (дата обращения: 17.08.2016).
14. Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository: Conclusions and recommendations from a joint SKB and Posiva working group. — Posiva Oy & Svensk Kärnbränslehantering, 2017. — Posiva SKB Report 01.
15. Miller B., Marcos N. Process report—FEPs and scenarios for a spent fuel repository at Olkiluoto: Posiva report No. 2007-12. — 282 p.
16. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark : SKB report TR-11-01. — Svensk Kärnbränslehantering AB, 2011.
17. TURVA-2012 Synthesis Report. Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto.— PosivaOy, 2012. — Posiva 2012-12.
18. Дробышевский Н. И., Моисеенко Е. В., Бутов Р. А., Токарев Ю. Н. Трёхмерное численное моделирование теплового состояния пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов в Нижнеканском массиве горных пород // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 64—73.
19. Блохин П. А., Блохин А. И., Ванев Ю. Е., Сипачев И. В., Кизуб П. А. Программный комплекс КОРИ-ДА для прогнозирования характеристик источников ионизирующих излучений и создаваемых ими радиационных полей: Препринт № ИБРАЕ-2018-06 / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН. — М.: ИБРАЭ РАН, 2018. — 16 с.
20. Болдырев К. А., Крючков Д. В., Мартынов К. В., Нурный А. С., Сускин В. В. Разработка расчетных методов оценки миграции радионуклидов за пределы ИББ с учетом их эволюции: Препринт № ИБРАЕ-2017-11 / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН. — М.: ИБРАЭ РАН, 2017. — 23 с.
21. Отчет о верификации и обосновании программного средства «Программа для трёхмерного геофильтрационного и геомиграционного

моделирования» (GeRa/V1), Москва, 2017. Капырин И. В., Григорьев Ф. В., Расторгуев А. В. Расчетный код для трехмерного геофильтрационного и геомиграционного моделирования. Учебная версия. GeRa/E1.0. — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, 2017. — 108 с.

22. Савельева Е. А. Концепция программного комплекса для оценки неопределенности при

обосновании безопасности пунктов захоронения РАО // Ядерная и радиационная безопасность. 2016. № 4 (82).

23. NEOSYNTEZ platform. URL: <http://neolant.ru/neosyntez/>.

24. The virtual underground research laboratory / Wiczorek K. et al. // Nuclear Engineering International. 2013. Vol. 58. №. 708. P. 22–25.

Информация об авторах

Свительман Валентина Семеновна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: svitelman@ibrae.ac.ru.

Савельева Елена Александровна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, и. о. заведующего лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: esav@ibrae.ac.ru.

Бутов Роман Александрович, инженер, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: bra@ibrae.ac.ru.

Линге Иннокентий Игоревич, главный специалист, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: iil@ibrae.ac.ru.

Дорофеев Александр Николаевич, кандидат технических наук, руководитель проектного офиса «Формирование единой государственной системы обращения с РАО», Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д. 24), e-mail: ANDorofeev@rosatom.ru.

Тихоновский Владислав Леонидович, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора, группа компаний «НЕОЛАНТ» (105062, Москва, ул. Покровка, д. 47 А), e-mail: info@neolant.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Свительман В. С., Савельева Е. А., Бутов Р. А., Линге Ин. И., Дорофеев А. Н., Тихоновский В. Л. Информационно-аналитическая платформа программы исследований по обоснованию долговременной безопасности российского ПГЗРО // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 2(3). — С. 79–87.

INFORMATIONAL AND SOFTWARE ENVIRONMENT OF THE RUSSIAN DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY RESEARCH PROGRAM

Svitelman V. S.¹, Saveleva E. A.¹, Butov R. A.¹, Linge I. I.¹, Dorofeev A. N.², Tikhonovsky V. L.³

¹Nuclear Safety Institute, Moscow, Russia

²State Corporation Rosatom, Moscow, Russia

³Group of companies “NEOLANT”, Moscow, Russia

Article received 05 June 2018

The subject of this paper is knowledge management issues of the Russian Deep Geological Repository Project. The paper depicts the software environment being developed for the purposes of knowledge accumulation and systematization and subsequent application in the safety case and safety demonstration. The current state of software environment components is considered as far as their prospects and the integration capabilities into the digital underground research laboratory concept within the context of stakeholders' requirements and modern technology opportunities.

Keywords: radioactive waste, deep geological repository, digital underground laboratory, safety case and safety assessment, knowledge management

References

1. *International Mechanisms to Support Records, Knowledge and Memory Preservation Over the Short and Medium Term*. NEA/RWM/R(2015)2, Paris, France: OECD, 2015. Available at: <http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2015/rwm-r2015-2.pdf>. –

2. *Vision Document for the Radioactive Waste Repository Metadata Management (RepMet) Project*. NEA/

RWM(2014)2, Paris, France: OECD, 2014. Available at: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/47/032/47032433.pdf>. –

3. *Sourcebook of International Activities Related to the Development of Safety Cases for Deep Geological Repositories*. NEA Report No. 7341, NEA/RWM/R(2013), Paris, France: OECD, 2017. Available at: <https://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2017/7341-sourcebook-safety-cases.pdf>. –

4. *Comparative analysis of methods and tools for nuclear knowledge preservation*. Technical report no. NG-T-6.7, IAEA Nuclear Energy Series. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011.
5. Dorofeev A. N., Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S., Saveleva E. A. Strategic Master Plan for R&D Demonstrating the Safety of Construction, Operation and Closure of a Deep Geological Disposal Facility for Radioactive Waste. *Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 32–41. (In Russian).
6. Strategija sozdaniya punkta glubinnogo zahoroneniya radioaktivnyh othodov. *Radioactive Waste*, 2018, no. 2(3), pp. __-__.
7. *Disposal of radioactive waste*. Specific Safety Requirements No SSR-5, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011
8. *Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste*. Specific Safety Guide No SSG-14, IAEA Safety Standards, IAEA, Vienna, 2011.
9. *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste*. Specific Safety Guide No SSG-23, IAEA Safety Standards. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2012.
10. Cebakovskaja N. S. et al. *Obzor zarubezhnyh praktik zahoroneniya OYAT i RAO*. Ed. by I. I. Linge, Ju. D. Poljakov. Moscow, "Komtehprint" Publ., 2015. 208 p.
11. *International Nuclear Information System*. Available at: <https://www.iaea.org/INIS/>.
12. Freeze G., Sevougian S. D., Leigh C., Gross M., Wolf J., Mönig J., and Buhmann D. A New Approach for Feature, Event, and Process (FEP) Analysis of UNF/HLW Disposal., *Proceedings of the WM2014 Conference*, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona USA.
13. *Oracle Database Help Center*. Available at: <http://docs.oracle.com/en/database/> (Accessed 17 August 2016).
14. *Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository*. Conclusions and recommendations from a joint SKB and Posiva working group. — Posiva Oy & Svensk Kärnbränslehantering, 2017. — Posiva SKB Report 01.
15. Miller B., Marcos N. *Process report—FEPs and scenarios for a spent fuel repository at Olkiluoto*. Posiva report No. 2007-12. — 282 p.
16. *Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark*. SKB report TR-11-01. — Svensk Kärnbränslehantering AB, 2011.
17. TURVA-2012 Synthesis Report. *Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto*. PosivaOy, 2012, Posiva 2012-12.
18. Drobyshevsky N. I., Moiseenko E. V., Butov R. A., Tokarev Yu. N. Three-dimensional numerical modeling of the thermal state of the deep radioactive waste disposal facility in the Nizhnekansk granitoid massif. *Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 64–73. (In Russian).
19. Blohin P.A., Blohin A.I., Vaneev Ju.E., Sipachev I.V., Kizub P.A. Programmnyj kompleks KORIDA dlja prognozirovaniya karakteristik istochnikov ionizirujushhijh izluchenij i sozdavaemyh imi radiacionnyh polej. *Preprint no. IBRAE-2018-06*, In-t problem bezopas. razvitija atom. energetiki RAN, Moscow, IBRAE RAN Publ., 2018. 16 p.
20. Boldyrev K. A., Krjuchkov D. V., Martynov K. V., Nuzhnyj A. S., Suskin V. V. Razrabotka raschetnyh metodov ocenki migracii radionuklidov za predely IBB s uchetom ih jevoljucii. *Preprint no. IBRAE-2017-11*, In-t problem bezopas. razvitija atom. energetiki RAN, – Moscow, IBRAJe RAN Publ., 2017. 23 p.
21. Otchet o verifikacii i obosnovanii programmno sredstva «Programma dlja trehmernogo geofiltracionnogo i geomigracionnogo modelirovaniya» (GeRa/V1), Moscow, 2017.
22. Saveleva E. A. Koncepcija programmno kompleksa dlja ocenki neopredelennosti pri obosnovanii bezopasnosti punktov zahoroneniya RAO. *Jadernaja i radiacionnaja bezopasnost*, 2016, no. 4 (82).
23. NEOSYNTEZ platform. Available at: <http://neolant.ru/neosynte/>.
24. Wiczorek K. et al. The virtual underground research laboratory. / *Nuclear Engineering International*, 2013, vol. 58, no. 708, pp. 22–25.

Information about authors

Svitelman Valentina Semenovna, PhD, Research associate, Nuclear Safety Institute (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: svitelman@ibrae.ac.ru.

Saveleva Elena Aleksandrovna, PhD, Head of Laboratory, Nuclear Safety Institute (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: esav@ibrae.ac.ru.

Butov Roman Aleksandrovich, Engineer, Nuclear Safety Institute (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: bra@ibrae.ac.ru.

Linge Innokentiy Igorevich, Senior specialist, Nuclear Safety Institute (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: iil@ibrae.ac.ru.

Dorofeev Aleksandr Nikolaevich, PhD, Head of the Project Office on the Development of a Unified Radioactive Waste Management System, State Corporation Rosatom (24, Bolshaya Ordynka St., Moscow, 119017, Russia), e-mail: ANDorofeev@rosatom.ru.

Tikhonovsky Vladislav Leonidovich, PhD, First Deputy Director General, Group of companies «NEOLANT» (47A, Pokrovka St., Moscow, 105062, Russia), e-mail: info@neolant.ru.

Bibliographic description

Svitelman V. S., Saveleva E. A., Butov R. A., Linge In. I., Dorofeev A. N., Tikhonovsky V. L. Informational and Software Environment of the Russian Deep Geological Repository Research Program. *Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 79–87. (In Russian).