

К ВОПРОСАМ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

А. Ю. Иванов, Ин. И. Линге

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 19 октября 2022 г.

В статье рассмотрены актуальные вопросы цифровизации процессов подготовки, проектирования и сопровождения работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии и обращения с радиоактивными отходами, а также формирования соответствующей системы управления знаниями.

Ключевые слова: радиоактивные отходы (РАО), захоронение радиоактивных отходов, информационное обеспечение, вывод из эксплуатации, цифровая информационная модель (ЦИМ), система управления знаниями.

Целью статьи является анализ опыта реализации информационных проектов в области управления знаниями по обращению с РАО и определение приоритетных проектов цифровизации.

Цифровизация как составляющая технологической революции в настоящее время активно прорабатывается во всех производственных практиках вне зависимости от сферы деятельности. Обращение с РАО не имеет признаков, которые позволили бы сделать вывод о неприемлемости предлагаемых подходов. Скорее наоборот, раннее понимание важности сохранения данных по РАО, выразившееся в существовании систем их учета и контроля, и законодательно закрепленное требование бессрочного хранения знаний о консервации РАО позволяют определить сферу обращения с РАО как приоритетную для цифровой трансформации.

Цифровизация в общем представлении рассматривается как использование электронных

технологий для изменения бизнес-модели и предоставления новых возможностей для получения доходов [1]. Она также характеризуется как переход к цифровому бизнесу, при этом процесс не является законченным, если не достигнут результат на уровне показателей организации. Это может быть сокращение времени производственных процессов или производственных издержек, ослабление технологической зависимости от подрядчика, повышение производительности труда или иные результаты.

Управление знаниями (knowledge management), согласно [1] — бизнес-процесс, который формализует управление и использование интеллектуальных активов предприятия. Ключевая идея подхода к менеджменту знаний заключается в разработке комплексной системы создания, сбора, распространения и использования информационных активов для обработки знаний, включая неявные, необработанные знания людей. Процессы управления знаниями активно

развиваются, в том числе в Госкорпорации «Росатом» [2], и, как правило, предусматривают три ключевых направления:

(i) система менеджмента знаний, Knowledge management system;

(ii) люди (сотрудники) и их компетенции (носители знаний, развитие их профессионализма, преемственность, проблемы так называемых скрытых знаний и их последующей обработки и осмысления человеком);

(iii) технологии представления и обработки знаний, в том числе с использованием искусственного интеллекта (в более общей терминологии понимаемые как «цифровые технологии»).

Эти направления отражены в Единой цифровой стратегии (ЕЦС) 4.0 Госкорпорации «Росатом» [3]: (i) ИТ-проекты, (ii) программа «Цифровые компетенции и культура», (iii) «Цифровые продукты» (включающей несколько программ: «Управление предприятием и производством», «Проектирование и строительство», «Наукоемкое моделирование и НИОКР», «Цифровая инфраструктура», «Информационная и физическая цифровая безопасность», «Цифровизация городских сервисов и процессов»).

В ЕЦС 2.0 [3] был отмечен ряд важных утверждений. Прокомментируем их:

а) основной фактор неудач цифровых трансформаций — создание цифровых компетенций исключительно за счет новых сотрудников. Это означает, что проекты должны быть проанализированы на предмет изменения как опыта сотрудников, непосредственно участвующих в процессах обращения с РАО, так и организаций, задействованных в выводе из эксплуатации (ВЭ), — в первую очередь ведущих деятельность по проектированию (разработке проектно-сметной документации (ПСД) на ВЭ и пункты хранения РАО). Затраты на реализацию программы переквалификации персонала в рамках цифровизации неизбежны.

б) в качестве диагностики текущего уровня компетенций Госкорпорации «Росатом» и приоритетных задач отмечались: низкий стартовый уровень цифровизации (индекс 1,9 из 5) и «нехватка систем сбора и анализа данных для поддержки принятия решений».

Отметим, что ЕЦС предусматривает различные уровни внедрения и развития, но в качестве первоочередной задачи рассматривается решение внутренних задач. Во многих случаях ЕЦС устанавливаются конкретные количественные показатели, как, например, 100%-й однократный ввод данных в системы или создание конкретных цифровых активов — «умный рудник» и др. Отметим также, что информационное

моделирование включено в ЕЦС, но только в программу «Реинжиниринг и цифровизация процессов сооружения АЭС» как наиболее крупное направление работ. Неизбежный рост объема работ по ВЭ делает ЕЦС сопоставимой с деятельностью по сооружению АЭС, а половину и более расходов на нее могут составлять траты на обращение с РАО. По этой причине в рамках данной статьи под обращением с РАО будем понимать обращение с накопленными РАО, полученными в процессе ВЭ и (в меньшей степени) РАО от эксплуатации.

Опыт информационного моделирования

Кратко рассмотрим состояние отечественных работ по информационному моделированию как предвестнику цифровизации в области обращения с РАО и ВЭ. При этом отметим, что в странах, где практические работы по выводу из эксплуатации и захоронению РАО стартовали на десятилетия раньше, опыт цифровизации многократно выше. При моделировании работ по ВЭ [4] рассматривались, в частности, три уровня: (1) учет хронологического порядка действий/работ по ВЭ любого объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), (2) построение модели исследования эксплуатации (OR) для сценариев «что, если» и (3) создание современной системы сбора знаний, которая позволит будущим поколениям учитывать опыт выполненных проектов вывода из эксплуатации (ВЭ).

Первый отечественный пример создания информационных систем (ИС) для задач ВЭ связан с реинжинирингом проектной документации по натурным данным и оцифровкой в виде цифровой модели объекта, подлежащего ВЭ. Среди объектов выступали реакторы РБМК с основной технологической цепочкой первого контура [5] по ряду блоков АЭС (ЛАЭС, КурАЭС) и промышленных сооружений. Обоснование создания информационного моделирования (ИМ) для задач ВЭ на тот момент складывалось из: (а) логики сохранения знаний по ВЭ объекту, (б) требований норм и правил (НП) по разработке базы данных ВЭ.

Необходимо отметить, что принципиальная потребность в передаче модели ОИАЭ со стадий проектирования и эксплуатации к ВЭ отмечалась уже несколько десятилетий назад [7] (США, 1979 г.) и нашла отражение в нормативном требовании о разработке базы данных по ВЭ [8].

До 2008 г. акцент на информационной наполненности создаваемых моделей практически отсутствовал. Согласно [5], информационные решения для базы данных (БД) ВЭ объекта

использования атомной энергии представляли собой систему совместной работы с инженерными данными, интегрирующей данные: (а) цифровой модели объекта, (б) архива проектно-сметной документации (оставшейся на момент ее создания), (в) информацию по составу инженерно-технологического оборудования и ключевых технологических элементов (например, схемы 1-го контура РБМК, перечни оборудования с атрибутивной информацией) и (г) документации по ВЭ (отчеты КИРО, программа ВЭ, акты экологической оценки (ЭО) и пр.). Для конечного пользователя ценность таких систем заключалась в: (i) сохранении данных по результатам оцифровки архива проектной документации; (ii) доступности для обработки и передачи современными техническими средствами исходных данных для создания проекта ВЭ всем заинтересованным участниками (переход на цифровые данные) и (iii) визуализации и моделировании объекта (сокращение времени как для эксплуатационного персонала, так и для заинтересованных участников при подготовке технических решений по демонтажу и техническому обслуживанию объекта).

Уже на этом этапе отмечался так называемый эффект «новых знаний» — визуализация объекта дала существенное сокращение времени и новые нюансы понимания объекта ВЭ. На сегодня такие модели уже представляют собой «исторические данные», подлежащие учету, сохранению и, возможно, использованию в рамках более современных систем.

С 2008—2010 гг. автоматизация задач ВЭ отмечена созданием информационных ресурсов, чаще локальных, на базе клиент-серверных архитектур. Так, на ФГУП «Маяк» развернута ИС ВЭ ПУТР (Маяк) [9], на АО «ОДЦ УГР» — ИС ВЭ ПУТР. Это ИТ-проекты межсистемной интеграции систем управления базами данных (СУБД), систем инженерно-технического документооборота (PDM) и систем автоматизированного проектирования (CAD), программного обеспечения для просмотра информационных моделей и систем, обеспечивающих техническую эксплуатацию (защиты и восстановления данных). В последующие годы развитие получили методы имитационного моделирования как на уровне проекта ВЭ, так и на уровне процесса демонтажа (резки) реактора [10]. Стоит отметить, что данные проекты имели высокую степень технологической готовности, оценочно на уровне 8—9 (учитывались признаки: ввод в эксплуатацию, наличие рабочей и эксплуатационной документации, использование верифицированного и сертифицированного программного обеспечения).

Отметим исследования последних лет по созданию уже цифровых информационных моделей объектов для задач прогнозирования образования РАО [11]. В их рамках информационные модели обеспечены новыми функциями: построение картограмм загрязнений на основе данных комплексного инженерного и радиационного обследования, создание спецификаций по материалам и расчет промышленных отходов и РАО, интеграция с функционалом по расчету стоимости и т. д. Реализовано применение технологии ND-моделирования (4D, 5D, и т. д., так называемые мульти-D) с визуализацией хода работ по демонтажу основного технологического оборудования, архитектурных элементов, металлоконструкций и покрытий (пластикат, плитка, штукатурка и пр.). С 2019 г. в работах по площадкам РХЗ АО «СХК» и сублиматному производству АО «АЭХК», РХЗ ФГУП «ГХК», выполненных ИБРАЭ [12], АО «ЦПТИ» и АО «Неолант», важен масштаб применения технологии наземного лазерного сканирования для сбора обмерных (инженерных) данных (lidar data) по объекту. Эта информация представлена в виде цифровой копии объекта — облака точек — и представляет собой детальную цифровую копию состояния объекта на момент сканирования, что очень существенно для проектирования ВЭ, поскольку в течение эксплуатации и подготовки к выводу из эксплуатации в конструктивные и технологические элементы объекта могли вноситься множественные изменения без отражения в технической документации. Точность представления данных (погрешность общей сшивки — до 2 мм) является достаточной для задач верификации проектных данных, моделирования образования РАО, проектирования работ по ВЭ, создания в последующем цифрового двойника объекта, подлежащего ВЭ ОИАЭ, и расчета образования эксплуатационных РАО.

Отметим, что в статье [12] применена классификация цифровых информационных моделей по уровням проработки, которые включают: 5D-модель (в привязке к плану-графику работ по ВЭ и их стоимости), информационную модель различных уровней детализации геометрии и атрибутивного состава; отдельно выделена цифровая модель первичных данных проведенного наземного лазерного сканирования объекта (т. н. модель «облака точек»). Получение такой модели может носить регулярный характер. Так, лазерное сканирование активно используется для мониторинга хода строительных работ, а также может стать регулярным процессом и при демонтаже технологического оборудования, зданий и сооружений площадки

объекта ядерного наследия, подлежащего выводу из эксплуатации, а данные цифровой модели («облака точек») — для контроля фактически выполненных работ.

Здесь стоит отметить, что развитие цифровых информационных моделей в дальнейшем не мыслимо без стандарта описания элементов объектов и атрибутивного состава информационной модели. Эта задача стандартизации лежит в зоне ответственности и интересов заказчика. Стоит упомянуть, что достаточно гибким является показатель «уровень информационной проработки» (LOI), представленный в виде перечня атрибутов для каждого элемента модели для каждого уровня (LOI 100–500). Тогда для задач ВЭ может быть определен стандарт описания цифровой информационной модели, в котором, в зависимости от сложности объекта, определен конкретный набор свойств для каждого элемента или системы. Помимо описания уровней проработки модели/геометрии/информации (LOD, LOG, LOI), частью отраслевого стандарта информационного моделирования (ИМ) работ по ВЭ должны стать правила цифрового проектирования и обмена данными цифрового проекта ВЭ, включающие разработку ПСД в цифровом виде и сопровождение проекта при его реализации.

Свое отражение информационное моделирование получило при проработке облика пункта глубинного захоронения РАО (ПГЗРО) и обосновании решений по консервации особых РАО [13].

К настоящему времени технологии сбора данных по объекту ядерного наследия (цифровое наземное лазерное сканирование, геотехнический мониторинг, методы инженерного обследования состояния зданий и сооружений и пр.), включая аппаратное обеспечение, получили широкое признание и стали основой для реализации процессов цифровизации. В отношении крупного информационного массива, связанного с данными комплексного инженерного и радиационного обследования ситуация более скромная. Уже очевидны преимущества интеграции всего набора получаемых данных с цифровой моделью объекта, в том числе возможности различного рода анализов данных радиационных измерений, что дает возможность оценки их неопределенностей и последующего учета в различных приложениях. Однако опыта проведения полноценного цифрового КИРО, то есть получения данных, формируемых в процессе его планирования и проведения, еще нет, главным образом из-за отсутствия сертифицированного для атомной отрасли парка измерительной аппаратуры, оснащенной средствами

геопозиционирования и передачи данных. Также неполон и недостаточно отработан, при имеющемся арсенале методов анализа пространственно-распределенных данных, набор методик и программ интерполяции и экстраполяции этих измерений. Однако еще большие возможности цифровизации в части управления знаниями пока находятся за рамками усилий специалистов в области обращения с РАО и ВЭ.

Новые задачи цифровизации

Рассмотрим некоторые новые задачи, которые до последнего времени не признавались значимыми.

Управление знаниями. Задача интеграции больших объемов знаний для целей управления и обоснования безопасности лучше всего решалась в отношении геологических объектов захоронения РАО. Российский опыт в этой сфере не стал исключением. Формирование ИМ, базы знаний и многокомпонентных моделей уже несколько лет сопровождает реализацию стратегии создания ПГЗРО [13]. В отношении многих других задач, в том числе, например, в создании отраслевой системы знаний по характеристикам реакторного графита для выработки технологий обращения с ним, ситуация характеризуется разобщенностью сведений в большом количестве эксплуатирующих и научных организаций. Аналогична ситуация и по многим иным, более примитивным аспектам — характеристикам технологического оборудования, особенностям его эксплуатации и т. д.

Наибольшее применение находят две модели классификации знаний — по компетенциям и по процессам (процессный подход). Последний вносит наибольший вклад в прозрачность системы управления крупного технологического производства, а следовательно, имеет большую практическую значимость при решении задач накопления и распространения знаний в организации. Приведенная к строгому формальному виду информация создается в ходе основных процессов управления и работ по ВЭ. Такие сведения можно разделить на группы (домены компетенций) согласно областям проектной деятельности: (i) процессы управления, процедура окончательного останова, включая удаление радиоактивных веществ (РВ), ядерных материалов (ЯМ), технологических сред и приемку объекта на завершающей стадии жизненного цикла (ЗЖЦ); (ii) проведение и анализ результатов КИРО; (iii) подготовка и реализация дезактивационных работ; (iv) моделирование (проектирование) работ по ВЭ; (v) выполнение демонтажа;

(vi) мероприятия по обращению с РАО от ВЭ. Как для технологической модели образования РАО, так и для ВЭ применим попроцессный подход обзора системы знаний проекта ВЭ объектов ядерного наследия. Система управления знаниями (СУЗ) проектной деятельности нацелена как на сохранение опыта проектной команды, так и на использование полученных данных, информации и знаний при реализации последующего проекта. Здесь стоит отметить важные для практического применения такие сущностные понятия, как «история ВЭ объекта ОИАЭ», «библиотека технологических решений», «реестр рисков работ по ВЭ», «база данных технологий дезактивации и демонтажа» и др. Они реализуются в СУЗ как конкретные информационные решения (база данных, электронный документ или распределенный реестр и пр.). Цифровизация управления знаниями заключается не только в создании инструментов сбора и учета формальных знаний, например о причинах наступивших рисков, но и в доступе и анализе проекта с позиции управления ими для текущей и будущих команд проектов ВЭ (например, при оценке возможности применения габаритного оборудования при демонтаже с учетом пространственных и конструктивных ограничений объекта).

Разумеется, система управления знаниями должна реализовываться по всей совокупности процессов деятельности ВЭ, включая не только обработку накопленных знаний о состоянии объекта и его характеристиках в составе цифровой информационной модели или цифрового проекта ВЭ, но и данные о ходе выполнения практических работ по ВЭ (работы по дезактивации или демонтажу) с применяемыми технологиями и оборудованием, а также данные по объему и категориям образующихся отходов.

Внедрение цифровых решений системы управления знаниями затрагивает изменение системы управления предприятия.

Менеджмент качества работ. Подготовка проекта в цифровом виде в составе информационной модели влечет проактивное управление планированием работ, включая возможности оценки реализуемости предложенных решений и обучение персонала.

Проведение КИРО, планирование и выполнение работ по ВЭ и решение проблем с накопленными РАО в большинстве случаев имеют характер сложной наукоемкой и уникальной задачи и все черты проектно-ориентированной деятельности, не связанной с постоянной эксплуатацией. Отсюда следует — требуется реализация частных, в т. ч. разовых, мероприятий по управлению качеством каждой задачи.

В составе внутренних процессов проекта ВЭ, а также консервации особых РАО должны присутствовать подготовка персонала эксплуатирующей организации и других команд внутри проекта (включая субподрядные организации, бригады рабочих), а также планирование работ. Суть таких процессов сводится к анализу реализуемости группы работ/операций, в т. ч. условия выполнения, управление рисками операции, охрана труда, оценка во времени необходимых запасов материалов и оборудования, мониторинг объемов образования отходов различных типов и категорий. В результате будут получены формализованные знания по фактически выполненным операциям, работе с оборудованием (машинами), по полкам, ремонту и обслуживанию техники (машин), по объемам образованных отходов и их характеристикам.

По итогам проектной деятельности формулируются основные формы знаний проекта: извлеченные уроки, опыт (в т. ч. отчеты по ошибкам и отклонениям от процедуры), оценки участников и план/факт анализ выполненных работ. В данном аспекте важно отметить, что интеграция системы проектного менеджмента с системой управления знаниями и непосредственно программно-инструментальными средствами является краеугольным камнем проблемы цифровизации, ключом к эффективному решению которой является организация управления в соответствии с лучшими практиками.

Цифровая трансформация. Существенным переходом, именуемым как трансформация, является реализация проекта целиком на цифровых технологиях. Это означает качественное изменение этапов жизненного цикла проекта ВЭ: проектирования (разработки проектно-сметной документации), реализации проекта — работ по выводу из эксплуатации, а также и последующих, т. н. процессов закрытия проекта (ВЭ, или консервации особых РАО, или закрытия пункта ПЗРО). Это специальные процессы управления проектом ВЭ, определяемые в рамках общей политики управления работами вывода из эксплуатации. В качестве примера можно привести формирование архива результатов проекта ВЭ — нормативных актов, отчетов КИРО, проектно-сметной документации, контрактов и договоров, включая сведения по образованию отходов различных типов и классов, а также бюджет. Очевидно, что структура такого архива проекта ВЭ соотносится с ключевыми областями управления: решения, бюджет проекта, описание содержания и фактического исполнения работ (проектно-сметная документация по выводу из эксплуатации, комплексное инженерное

и радиационное обследование), обращение с РАО, риски проекта, контракты и договора, сотрудники и их компетенции, НИОКР и пр. Система менеджмента знаний предполагает, что по каждой представленной области управления должны осуществляться действия по учету и извлечению знаний конкретных исполнителей по выполненным процессам проекта. По сути, необходимо сохранение данных по выполненному процессу и осуществление обратной связи между исполнителем и системой управления в целом.

Приведем несколько примеров. Показатели процессов выполнения работ по ВЭ — это временные сроки работы (плановое начало и окончание, фактическое начало и окончание), ресурсное обеспечение, трудозатраты, квалификация бригады и пр. (в зависимости от вида работ). Извлечение знаний конкретных исполнителей — это процесс, фиксирующий результаты обратной связи с бригадой рабочих по завершении работ (например, месячное интервью на статус-совещании по обсуждению хода демонтажа с обсуждением его рисков, правил охраны труда и безопасности, повышения эффективности работы и пр.).

Такие общие процессы извлечения знаний (получение обратной связи) и формирования активов накопленного опыта (библиотек выполненных работ/проектов) находят отражение во многих международных стандартах управления проектами и национальных методологических документах [14]. В качестве дополнительных примеров активов системы менеджмента знаний, важных в контексте задач обращения с РАО и ВЭ, можно привести: реестр выполненных работ по демонтажу, дезактивации, истории эксплуатации технологического оборудования, ведомость проведенных измерений радиационного контроля (журнал радиационного контроля), технологические риски, база данных технологий дезактивации, эксплуатационная база данных радиационного обследования по ОИАЭ и пр. Современный маркетинг в области «управления знаниями» продвигает такие технологические бренды как: «база данных накопленного опыта», «база знаний проекта», «портал знаний», «библиотека технических решений» и пр.

На сегодня одна из отраслевых тенденций в промышленной цифровизации заключается в создании на базе цифровой информационной модели промышленного объекта ядра системы менеджмента знаний (подчеркнем параллель между концепцией цифрового двойника, как актива с оцифрованными данными, и моделью эксплуатации промышленного объекта). В данном

случае основой для системы менеджмента знаний выступает система управления жизненным циклом продукции (PLM-системы) промышленного объекта, интегрированная с архивом исторической документации. Возможны также формы архитектуры системы управления знаниями с отдельной (локальной) информационной моделью и архивом инженерных данных.

Умное производство. В контексте обращения с РАО и ВЭ технологии данного направления являются перспективными в форме «умная площадка ВЭ» и «умный участок обращения с РАО». Для проекта ВЭ также важны общепромышленные технологии «умной стройки», в том числе: методы мониторинга и распознавания соблюдения правил общепромышленной безопасности, безопасность и охрана труда, контроль доступа и передвижения, мониторинг радиационной обстановки на объекте и площадке, сопряженный с ВЭ.

Выводы

В атомной отрасли накоплен значительный опыт создания цифровых моделей объектов обращения с РАО и ВЭ. В отличие от стандартных проектов автоматизации и внедрения программных решений, проекты цифровизации имеют качественно новые характеристики, такие как:

- а) сквозной характер интеграции в корпорации (потребителями результатов являются почти все ключевые подразделения организации);
- б) создание и обработка практически в режиме реального времени объема больших данных (создается массив цифровых данных);
- в) создание цифровых производственных активов — цифровых двойников объектов или технологических процессов (как в отношении основной — производственной, так и проектной деятельности организации);
- г) изменение цепочки взаимодействия с подрядчиками/ поставщиками/клиентами за счет перехода на новые цифровые решения, включающие практически 100%-ю цифровую обработку данных.

Отличительной особенностью цифровизации от автоматизации является увеличение капитализации компании именно за счет «цифры». В настоящее время общепризнана фундаментальная связь объема цифрового актива организации (цифровых данных, нематериальных активов, моделей и комплексов программ, ИТ-систем) с масштабом ее интеллектуального капитала. Примеры такой связи обычно описываются в обосновании финансирования

конкретного проекта цифровизации или цифрового продукта.

Важной особенностью данных процессов в области ВЭ и обращения с РАО является то, что ее проекты цифровизации не дают экономии на промежуточных этапах. Эффект достигается только на финише работы в форме уменьшения объемов и/или стоимости захоронения отходов и повышения долгосрочной безопасности за счет сохранения знаний.

Создание цифровых информационных моделей пока не затронуло порядка контрактного взаимодействия заказчика и проектных организаций для оказания услуг по проведению комплексного инженерного и радиационного обследования и разработке проектной документации на ВЭ объектов ядерного наследия, а также формированию корпоративных (отраслевых) требований к проекту ВЭ или информационному моделированию работ. Также подлежит изменению в рамках цифровизации и контур вопросов контрактного (управление закупками) и юридического сопровождения работ по информационному моделированию ВЭ.

Перспективен вариант раздельного contracting работ по созданию цифровой информационной модели и проведению комплексного инженерного и радиационного обследования и услуг по разработке проектов ВЭ, наличие цифровой информационной модели существенно упростит и объективизирует выбор конечного состояния, а следовательно, и требования к проекту ВЭ.

Сложившаяся на сегодня ситуация вызывает необходимость актуализации нормативной документации, разработки единых подходов и процедурных документов со стороны заказчика. Это предотвратит разрыв технологической зрелости заказчика от других участников.

Радикальное увеличение объемов цифровых данных делает обязательной оценку изменений, включая информационную безопасность, процессы коммуникации участников, финансирование разработок программного обеспечения, средства поддержки и визуализации цифровых информационных моделей, а также цифровых продуктов.

В контексте разработки нормативных документов рассматривается рациональным предложить отраслевые правила описания информационных моделей для объектов ядерного наследия (т. н. «Стандарт описания цифровых информационных моделей объектов, подлежащих выводу из эксплуатации»), аккумулирующие описание информационной модели: (а) требования к уровню проработки геометрии объекта (LOG) и проработку информационного наполнения

(LOI), визуализацию объектов; (б) описание структуры файлов и данных проекта ЦИМ; (в) представление данных КИРО; (г) результаты различных видов инженерного (геотехнического анализа, лазерного сканирования, натурального осмотра, фотографирования) и радиационного обследования объекта; (д) правила взаимодействия модели с различными программными средствами, аттестованными Ростехнадзором для оценок безопасности, так и процессы взаимодействия участников ВЭ в рамках цифровой среды общих данных.

Литература

1. Глоссарий Gartner, онлайн-ресурс в сети Интернет. — URL: <https://www.gartner.com/en/finance/glossary/digital-assets>, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/km-knowledge-management> (управление знаниями), <https://www.gartner.com/en/finance/glossary/digital-assets> (цифровой актив), <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/knowledge-base> (база знаний) (дата обращения 01.02.2021).
2. «Росатом» делится знаниями: knowledge management в высокотехнологичных компаниях/ Под ред. В. А. Першукова, Д. С. Медовникова. — Москва, НИУ ВШЭ, 2012. 152 с.
3. Публичный годовой отчет Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», раздел 1.9 «Цифровая трансформация», Источник в сети Интернет: <https://www.report.rosatom.ru>, Москва, 2021.
4. IAEA, TECDOC-1919, Application of Plant information models to manage Design Knowledge through the Nuclear Power Plant Life Cycle. IAEA, Vienna, 2020.
5. Тихоновский В. Л. Научно-методические и практические основы разработки и внедрения базы данных для вывода из эксплуатации блока АЭС с реакторной установкой РБМК-1000 : дисс.... канд. техн. наук. РНЦ «Курчатовский институт». — Москва, 2009. 136 с.
6. IAEA, Planning and Execution of Knowledge Management Assist Missions for Nuclear Organizations, IAEA-TECDOC-1586. IAEA, Vienna, 2008.
7. Ehrman C. S., Lilly C. D. The Use of Engineering Scale Models in Decommissioning Nuclear Facilities. In: Osterhout M. M. (eds). Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities. — Boston, Springer, 1980. Pp. 395—400. DOI: 10.1007/978-1-4684-3710-2_34.
8. НП 012-99. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. — Москва, Ростехнадзор, 1999.

9. Белкин Д. Ю., Ядрышников М. А., Боронин В. В., Цевелев М. П., Елагина В. Г., Тихоновский В. Л. Создание информационной системы вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов ФГУП «ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2012. № 2 (66). С. 60–65.
10. Чуйко Д. В. Применение имитационного моделирования для демонтажа реакторных установок первой очереди Белоярской АЭС : дисс... канд. техн. наук. — Москва, 2014. 136 с.
11. Александрова Т. А., Иванов А. Ю., Линге Ин. И., Лунов Д. М., Савельева Е. А., Самойлов А. А., Уткин В. Б. Оценка объемов образования РАО от вывода из эксплуатации с использованием информационных моделей // Радиоактивные отходы. 2020. № 3 (12). С. 19–31. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-19-31.
12. Линге Ин. И. Цифровые модели объектов вывода из эксплуатации: практический опыт и перспективные возможности // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях : Сборник материалов XI Российской научной конференции, Москва, 26–29 октября 2021 года. Т. 4. — Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2022. С. 137–147.
13. Кононов В. В., Тихоновский В. Л., Гуралев С. С., Бычкова И. А., Уткин С. С., Свительман В. С. Возможности технологии «Цифровой двойник» для подземной исследовательской лаборатории в Нижнеканском массиве // Радиоактивные отходы. 2020. № 2 (11). С. 99–108, DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-99-108.
14. ГОСТ Р 57127-2016/PAS 2001:2001. Менеджмент знаний. Руководство по наилучшей практике, Knowledge management. A guide to good practice.

Информация об авторах

Иванов Артем Юрьевич, и. о. заведующего отделением, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

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

Библиографическое описание статьи

Иванов А. Ю., Линге Ин. И. К вопросам цифровизации при обращении с радиоактивными отходами // Радиоактивные отходы. 2022. № 4 (21). С. 39–47. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-39-47.

ON DIGITALIZATION ISSUES IN RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Ivanov A. Yu., Linge In. I.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on October 19, 2022

The article considers some topical issues associated with the digitalization of preparatory, design development and support processes in nuclear decommissioning and radioactive waste management, as well as the development of an appropriate knowledge management system.

Keywords: radioactive waste (RW), radioactive waste disposal, information support, decommissioning, digital information model, knowledge management system.

References

1. Gartner Glossary, an online web-resource. URL: <https://www.gartner.com/en/finance/glossary/digital-assets> (DDA term), <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/knowledge-management> (knowledge management), <https://www.gartner.com/en/finance/glossary/digital-assets> (digital asset) <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/knowledge-management>

<https://www.gartner.com/en/finance/glossary/digital-assets> (digital asset) <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/knowledge-management>

knowledge-base (knowledge base) (accessed on 01.02.2021).

2. "Rosatom" delitsya znaniyami : knowledge management v vysokotekhnologichnykh kompaniyakh [Rosatom Shares Knowledge, Knowledge Management in High-tech Companies]. Eds. V. A. Pershukov, D. S. Medovnikov. Moscow, HSE University Publ., 2012. 152 p.

3. *Public Annual Report of the State Atomic Energy Corporation Rosatom*, Section 1.9 "Digital transformation", <https://www.report.rosatom.ru>, Moscow, 2021.

4. IAEA, TECDOC-1919, *Application of Plant information models to manage Design Knowledge through the Nuclear Power Plant Life Cycle*. IAEA, Vienna, 2020.

5. Tikhonovskiy V. L. *Nauchno-metodicheskiye i prakticheskiye osnovy razrabotki i vnedreniya bazy dannykh dlya vyvoda iz ekspluatatsii bloka AES s reaktornoy ustanovkoy RBMK-1000* [Scientific, methodological and practical basis for the development and implementation of a database for the decommissioning of a nuclear power plant unit of RBMK-1000 type]: diss... cand. techn. sciences. Moscow, 2009. 136 p.

6. IAEA, *Planning and Execution of Knowledge Management Assist Missions for Nuclear Organizations*, IAEA-TECDOC-1586. IAEA, Vienna, 2008.

7. Ehrman C. S., Lilly C. D. The Use of Engineering Scale Models in Decommissioning Nuclear Facilities. In: Osterhout M. M. (eds). *Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities*. — Boston, Springer, 1980. Pp. 395—400. DOI: 10.1007/978-1-4684-3710-2_34.

8. NP-012-99. *Pravila obespecheniya bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii bloka atomnoy stantsii* [Safety Rules for Nuclear Power Plant Unit Decommissioning]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 1999.

9. Belkin D. Yu., Yadryshnikov M. A., Boronin V. V., Tsevelev M. P., Elagina V. G., Tikhonovskii V. L. Sozdaniye informatsionnoy sistemy vyvoda iz ekspluatatsii promyshlennykh uran-grafitovykh reaktorov

FGUP "PO "MAYAK" [Development of an Information System for the Decommissioning of Industrial Uranium-Graphite Reactors of the Federal State Unitary Enterprise PA Mayak]. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti — Radiation Safety Issues*, 2012, no. 2 (66), pp. 60—65.

10. Chuiko D. V. *Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya demontazha reaktornykh ustanovok pervoy ocheredi beloyarskoy AES* [Application of Simulation Modeling in the Dismantlement of Reactor Plants Constituting to the First Stage of the Beloyarsk NPP]: diss... cand. techn. sciences. Moscow, 2014. 136 p.

11. Aleksandrova T. A., Ivanov A. Yu., Linge In. I., Lunov D. M., Saveleva E. A., Samoylov A. A., Utkin V. B. Otsenka ob'emov obrazovaniya RAO ot vyvoda iz ehkspluatatsii s ispol'zovaniem informatsionnykh modelei [RW Volumes from the Decommissioning Estimated Using Information Models]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 3 (12), pp. 19—31. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-19-31.

12. Linge In. I. *Tsifrovyye modeli ob'ektov vyvoda iz ehkspluatatsii: prakticheskii opyt i perspektivnyye vozmozhnosti* [Digital Models for Facility Decommissioning: Practical Experience and Promising Opportunities]. Proceedings of the 10th Russian Scientific Conference Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies. Moscow, October 26—29, 2021. — Moscow, NSI RAS Publ., 2022. Pp. 137—147.

13. Kononov V. V., Tikhonovskiy V. L., Guralev S. S., Bychkova I. A., Utkin S. S., Svitel'man V. S. Vozmozhnosti tekhnologii "Tsifrovoy dvoynik" dlya podzemnoi issledovatel'skoy laboratorii v Nizhnekanskom massive [Capabilities of the Digital Twin Technology Based on the Case Study of an Underground Research Facility in the Nizhnekanskiy Rock Mass]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 2 (11), pp. 99—108. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-2-99-108.

14. GOST R 57127-2016/PAS 2001:2001. *Menedzhment znanii. Rukovodstvo po nailuchshei praktike* [Knowledge management. A guide to good practice].

Information about the authors

Ivanov Artem Yurievich, Head of Department, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

Linge Innokentiy Igorevich, Senior specialist, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: iil@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Ivanov A. Yu., Linge In. I. On digitalization issues in radioactive waste management. *Radioactive Waste*, 2022, no. 4 (21), pp. 39—47. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-39-47. (In Russian).