

УДК: 621.039

DOI: 10.26277/SECNRS.2023.107.1.003

© 2023. Все права защищены.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Бриллиантов Б. Д.* (brilliantov@secnrs.ru), Бочкарёв В. В.* (bochkarev@secnrs.ru),
Терешкин В. И.*, канд. физ.-мат. наук (tereshkin@secnrs.ru),
Крянев А. В.**, д-р физ.-мат. наук (avkryanev@mephi.ru)

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2023 г.

Аннотация

Проведен анализ современного состояния деятельности по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), оценена необходимость принятия управленческих решений, связанных с планированием, подготовкой и осуществлением вывода из эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла ОИАЭ. Рассмотрены возможные ограничения и трудности на этом пути.

Представлена информация о комплексе программных средств «СППОР» (система поддержки принятия оптимальных решений), предназначенном для информационной поддержки принятия управленческих решений при осуществлении деятельности по подготовке к выводу из эксплуатации и по выводу из эксплуатации ОИАЭ. Комплекс «СППОР» разработан на основе математического обеспечения, полученного в результате выполненных в ФБУ «НТЦ ЯРБ» исследований.

Представлены следующие элементы комплекса «СППОР»:

- база данных, содержащая библиотеки моделей типовых элементов ОИАЭ и типовых технологических операций, осуществляемых при выводе из эксплуатации, а также требования нормативной правовой базы по выводу из эксплуатации ОИАЭ;
- инструментальные средства моделирования ОИАЭ и процессов вывода из эксплуатации, формирования возможных решений;
- программные модули, обеспечивающие оценку и сопоставление возможных решений по выводу из эксплуатации и обоснованный выбор из них оптимального решения с учетом неопределенности исходных данных об ОИАЭ, а также предпочтений лица, принимающего решение.

Полученные результаты демонстрируют возможные подходы к оценке эффективности принятых решений, связанных с подготовкой к выводу и выводом из эксплуатации ОИАЭ.

Проведен анализ полезности применения комплекса «СППОР» для задач, связанных с выводом из эксплуатации ОИАЭ, а также для систем поддержки принятия решений.

► **Ключевые слова:** «СППОР», вывод из эксплуатации, ОИАЭ, многокритериальный выбор, частные показатели, комплексный показатель, ядерная и радиационная безопасность, функциональная структура, моделирование, формирование сценариев.

* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

** Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия.

DEVELOPMENT SPECIFICS FOR A SYSTEM OF MODELING AND SUPPORT OF DECISION-MAKING FOR NUCLEAR FACILITIES DECOMMISSIONING

Brilliantov B. D.*,
Bochkarev V. V.*,
Tereshkin V. I.*, Ph. D.,
Kryanev A. V.**, D. Sc.

Article is received on February 10, 2023.

Abstract

The current status of nuclear facilities' decommissioning activities was analyzed along with evaluation of the necessity of making management decisions related to planning, preparation and conduct of decommissioning at all stages of a nuclear facility lifecycle. Potential constraints and difficulties on this way were also considered.

The article presents information about the "SPPOR" (optimal decision-making support system) software package intended for information support to management decision-making in implementation of activities for preparation to and conduct of a nuclear facility decommissioning. The "SPPOR" software package was developed on the basis of mathware obtained as a result of researches performed by SEC NRS.

The article presents the following elements of the "SPPOR" software package:

- *a database containing libraries of models of nuclear facilities' standard elements and processes to be carried out at decommissioning, as well as the requirements of the legal and regulatory framework for decommissioning of nuclear facilities;*
- *software tools for modeling of nuclear facilities and decommissioning processes, and for creation of possible solutions;*
- *software modules supporting evaluation and comparison of potential decommissioning solutions and justified choice of the optimal solution among them with the consideration of the uncertainty of input data about the nuclear facility, as well as the preferences of a person, who takes the decision.*

The obtained results demonstrate possible approaches to evaluation of the efficiency of the decisions made with regard to preparation to and decommissioning of a nuclear facility.

The "SPPOR" package was analyzed for feasibility of use for challenges related to nuclear facilities' decommissioning, as well as for decision-making supporting systems.

► **Keywords:** "SPPOR", decommissioning, nuclear facility, multi-criteria selection, particular indicators, complex indicators, nuclear and radiation safety, functional structure, modeling, creation of scenarios.

* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

** National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia.

Введение

В ближайшие десятилетия предприятиям атомной отрасли как в Российской Федерации, так и во всем мире предстоит выполнить большой объем работ по подготовке к выводу из эксплуатации (ВЭ) и ВЭ множества объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) различных категорий (блоков АС, исследовательских реакторов, объектов ядерного топливного цикла и др.), нормативный или проектный срок эксплуатации которых истек или истекает в связи с исчерпанием ресурса их систем (элементов) либо по иным причинам.

Согласно положениям Федерального закона № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» [1] ВЭ является одним из видов деятельности в области использования атомной энергии. Работы по ВЭ подлежат лицензированию и должны выполняться в строгом соответствии с требованиями безопасности, содержащимися в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии (ФНП).

Особенности вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии

Подготовка к ВЭ и ВЭ ОИАЭ различных категорий может состоять из широкого разнообразия видов технологических операций, выполняющихся, в том числе, с использованием дорогостоящей техники, в условиях их взаимного влияния друг на друга. Такое влияние может проявляться как в виде взаимных ограничений на условия проведения работ (в случае дефицита техники или персонала), так и прямого изменения характеристик отдельных операций (завершение операции по дезактивации помещения влияет на характеристики остальных операций в данном помещении), а также в ряде других случаев, в зависимости возможности начала выполнения одних операций от завершения других. Отдельно необходимо отметить особенность ВЭ ОИАЭ, заключающуюся в том, что значительная часть работ (например, по дезактивации и демонтажу загрязненного оборудования, а также по обращению с радиоактивными отходами (РАО), в том числе образующимися в процессе ВЭ), наряду с высокой трудоемкостью и значительными затратами материально-технических и финансовых ресурсов на их проведение, сопряжена с радиационными опасностями для окружающей среды, населения и выполняющего работы персонала.

При этом управленческие решения, связанные с планированием, подготовкой и осуществлением ВЭ, приходится принимать на всех стадиях жизненного цикла ОИАЭ. Например, на стадиях, предшествующих его эксплуатации, это:

- технические решения, направленные на обеспечение безопасности работ по ВЭ, включаемые в проект ОИАЭ;
- выбор варианта ВЭ и соответствующего ему конечного состояния, определение мер по обращению с РАО, образующимися при ВЭ, включаемых в концепцию ВЭ и играющих роль в первоначальном плане ВЭ.

На стадии эксплуатации ОИАЭ концепция ВЭ подлежит систематическому пересмотру и актуализации, а при подготовке к ВЭ на ее основе вырабатываются и принимаются решения по перечню, последовательности и срокам выполнения мероприятий по ВЭ, включаемых в программу ВЭ. После проведения комплексного инженерного радиационного обследования и уточнения характеристик текущего состояния ОИАЭ положения программы ВЭ актуализируются, а также принимаются решения по конкретным видам работ и порядку их проведения, применяемым технологиям и техническим средствам, которые ложатся в основу проектной документации ВЭ.

В случае если в качестве ОИАЭ рассматривается энергоблок АС, также следует отметить необходимость принятия решений по управлению эксплуатационной конфигурацией для обеспечения безопасной эксплуатации энергоблока АС, остановленного для ВЭ. В этот период опасность энергоблока снижается, потребность в эксплуатации ряда систем и элементов отпадает, становятся возможными, при условии обоснования безопасности, их ВЭ, демонтаж и соответствующее снижение затрат на эксплуатацию (техническое обслуживание и ремонт).

Обобщая сказанное, смысл данного подхода к планированию и подготовке к ВЭ заключается в систематическом уточнении и детализации принимаемых управленческих решений по мере приближения ОИАЭ к заключительным стадиям его жизненного цикла (завершения его эксплуатации и начала работ по ВЭ) для снижения уровня неопределенности как сведений о состоянии ОИАЭ на данный момент, так и других факторов, влияющих на ВЭ. Такой подход позволяет обеспечить актуальность планов, оптимальность принятых решений по ВЭ и продемонстрировать их реализуемость в любой момент времени на протяжении всего периода эксплуатации ОИАЭ по его функциональному предназначению.

Таким образом, деятельность по ВЭ ОИАЭ можно рассматривать как задачу по оптимизации комплекса организационных и технических мероприятий, целью которой является минимизация затрат материально-технических и финансовых ресурсов, с одной стороны, и радиационного воздействия на персонал и население и образования РАО при ВЭ, с другой.

Следует отметить, что даже на стадии ВЭ в ходе реализации решений, принятых в программе ВЭ, может возникнуть необходимость их корректировки. Возможными причинами этого могут быть как неточность и неполнота информации об ОИАЭ при разработке концепции и программы ВЭ, так и накапливаемый эффект от отклонений от программы ВЭ, происходящих при выполнении предусмотренных в рамках ВЭ работ.

Источники потенциальной опасности, которые необходимо учитывать при выборе решений при ВЭ:

- активность отработавшего ядерного топлива;
- наведенная активность и загрязнение радионуклидами конструкционных материалов, оборудования и помещений ОИАЭ;
- наличие токсичных, пожароопасных и химически-активных веществ в технологических узлах и оборудовании ОИАЭ;
- техническое состояние оборудования, зданий и сооружений на площадке ОИАЭ к моменту начала работ по его ВЭ.

К ограничениям, напрямую не являющимися следствием из свойств и состояния ОИАЭ, но также требующим учета при выработке и принятии управленческих решений по подготовке к ВЭ и ВЭ, следует отнести:

- финансовые ограничения;
- требования законов и ФНП, которым должны соответствовать все принимаемые решения;
- предполагаемый уровень развития и внедрения технологий по ВЭ на момент начала работ;
- недостаточность накопленного опыта выполнения аналогичных проектов ВЭ;
- недостаточность в обеспечении проекта ВЭ персоналом, обладающим требуемыми компетенциями;
- социально-экономические условия (нестабильность экономической ситуации во время планирования и проведения ВЭ).

Дополнительные трудности в процесс планирования и оценки материально-технических и финансовых затрат вносят:

- неполнота и недостоверность исходной информации, используемой для выработки и при-

нятия решений (характерно для объектов наследия, которые были созданы до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности);

- трудности интерпретации, анализа и обработки больших объемов информации экспертами и согласования экспертных оценок в разных предметных областях.

Ошибки в оценках в таких условиях могут приводить, в том числе, к незапланированному увеличению затрат на ВЭ и срыву плановых сроков его завершения.

Разработка системы поддержки принятия решений при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии

Основные требования к системе поддержки принятия решений при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии

Согласно Федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» [2] объемы работ по ВЭ ОИАЭ со временем будут только нарастать. Учитывая это, а также всю комплексность ВЭ ОИАЭ, появляется необходимость в разработке новых, более эффективных схем, в том числе с применением вычислительной техники, для принятия оптимальных управленческих решений на всех этапах процесса ВЭ любого ОИАЭ.

Комплексная система (совокупность схем по принятию оптимальных решений, реализованная в виде программного обеспечения), предназначенная для решения задач поддержки деятельности по ВЭ ОИАЭ и обращению с образующимися при выполнении этой деятельности РАО, должна обеспечивать:

- анализ состояния ОИАЭ, подлежащего ВЭ, имеющихся ограничений, которые могут повлиять на ВЭ, их идентификацию и формализацию;
- учет неопределенности в оценках характеристик ОИАЭ;
- выявление и ранжирование приоритетов, учет предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР);
- генерацию множества вариантов возможных решений (формирование списка альтернатив, исключение заведомо неприменимых);
- оценку возможных решений с учетом предпочтений ЛПР и внешних ограничений;
- оценку технико-экономических показателей принимаемых решений;

▪ выбор оптимального, с точки зрения ЛПР, варианта.

Подход к формализации и решению перечисленных задач основан на определении любого возможного решения при ВЭ (совокупности операций на элементах ОИАЭ) как набора численных значений частных показателей, отражающих его особенности и по своему смыслу являющихся показателями эффективности проектного управления.

С учетом специфики рассматриваемой предметной деятельности (выполнении радиационно опасных работ) такими показателями в первую очередь являются:

- стоимость реализации решения;
- длительность реализации решения;
- дозовая нагрузка на персонал, реализующий данное решение;
- дозовая нагрузка на окружающую среду.

Сопоставление наборов значений частных показателей, найденных для множества различных возможных решений в рамках проекта ВЭ, является, в свою очередь, основой для решения задачи многокритериального выбора на конечном множестве альтернатив.

Функциональная структура системы поддержки принятия решений и алгоритм ее применения

Основными подсистемами разрабатываемой системы поддержки принятия оптимальных решений («СППОР») являются (рис. 1):

- а) база данных (БД) «СППОР»;

б) подсистема моделирования ОИАЭ и сценариев ВЭ;

в) подсистема анализа и обработки.

Типовой алгоритм пользователя «СППОР» включает следующие основные процедуры:

- 1) создание структуры модели ОИАЭ;
- 2) задание численных значений параметров модели ОИАЭ;
- 3) формирование сценариев (последовательностей выполнения операций);
- 4) добавление ЛПР показателей к сформированным сценариям, если это необходимо;
- 5) задание предпочтений ЛПР (ранжирование показателей);
- б) предварительное предложение оптимального варианта решения.

Если решение в ходе исследования на устойчивость оказывается устойчивым, то «СППОР» рекомендует ЛПР оптимальный в заданных условиях вариант ВЭ. В случае когда из-за неопределенностей в значениях характеристик объекта оптимальное решение выбрано быть не может, формируется перечень характеристик, значения которых необходимо уточнить.

На рис. 2 представлена более подробная схема работы «СППОР».

Моделирование объектов использования атомной энергии

Разработка началась с создания БД для блока «Моделирование» ОИАЭ (рис. 2).



Рис. 1. Функциональная структура «СППОР» по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии [Fig. 1. Functional structure of “SPPOR” for decommissioning of a nuclear facility]

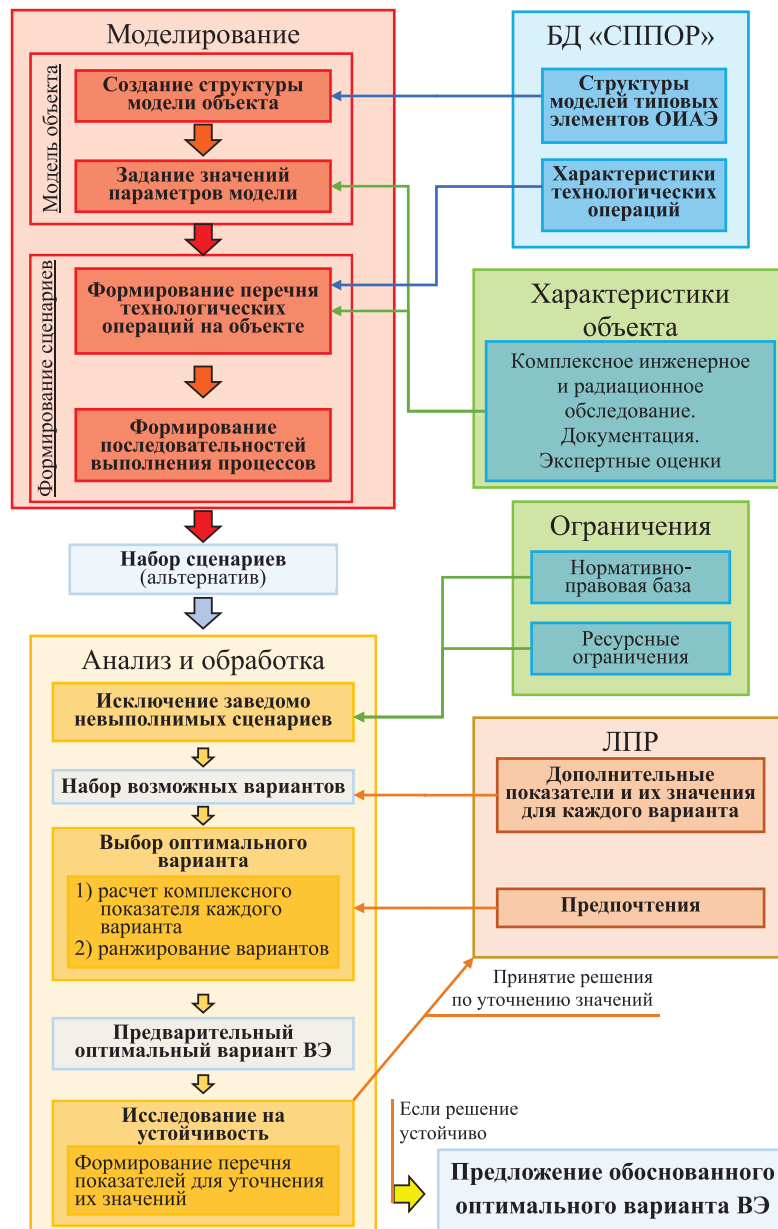


Рис. 2. Порядок применения «СППОР»
 [Fig. 2. The procedure for applying the “SPPOR”]

Разрабатываемая БД должна была позволять сохранять и работать с созданными моделями (в том числе на основе уже имеющихся типовых) конкретных ОИАЭ любой сложности и детальности. Необходимо было учесть, что количество параметров различных элементов ОИАЭ могло сильно отличаться друг от друга как в силу разной природы данных элементов, так и из-за возможной неполноты или недостоверности исходных данных. Возможность учета значений параметров элементов объекта, полученных из различных экспертных оценок, также необходимо было реализовать. Кроме того, была задача создать функционал, позволяющий «связать» любой смоделированный элемент с электронными копиями документов, в которых есть описание его параметров.

Для реализации всех этих задач была выбрана в качестве основной системы управления БД документоориентированная, нереляционная БД. В отличие от реляционных БД, где существует четко описанная структура таблицы, в таком подходе не обязательно сохранять один и тот же набор «ключей» для разных «документов» (записи в БД) в «коллекции» (совокупность таких записей). Таким образом, «коллекции» могут содержать самые разные объекты, имеющие различную структуру и набор свойств [3]. Структура БД приведена на рис. 3.

Такой подход позволяет моделировать объект любой сложности и уровня вложенности составляющих его элементов без изменения структуры БД под каждый уникальный случай. Пример модели неоднородной структуры и вложенности приведен

на рис. 4. По такой же схеме был реализован раздел для сохранения и описания типовых моделей технологических операций, осуществляемых при ВЭ ОИАЭ.

Чтобы снизить трудоемкость моделирования конкретных ОИАЭ со сложной структурой был описан набор шаблонов типовых ОИАЭ различных категорий. Использование такого набора позволяет создавать модель конкретного объекта на основе шаблона подходящей категории вместо добавления элементов в модель по одному.

Формирование сценариев по выводу из эксплуатации

Модель сценария [4], то есть последовательность выполнения технологических операций на элементах ОИАЭ (процессов) и учет их характеристик, представлена на рис. 5.

Характеристики каждого такого процесса напрямую зависят от характеристик выбранной технологической операции (стоимости и времени на размерную единицу объекта, необходимого и максимально возможного количества привлекаемых специалистов и безвозвратно расходуемых материалов и средств) и от характеристик элемента, в том числе такой, как степень загрязнения. Таким образом, все неточности исходных данных, описывающих элементы объекта, учитываются в сформированном процессе.

Для каждого процесса формируется список «предшествующих процессов», которые должны быть завершены, прежде чем можно будет приступить к выполнению данного процесса. По мере выполнения расчета проектные указатели на завершённые процессы удаляются из списков «предшествующих процессов». Если такой список оказывается пустым, то для системы это означает, что для начала выполнения этого процесса завершены все подготовительные работы.

Далее дополнительно ставится ограничение по использованию нерасходуемых уникальных инструментов и средств: если в двух различных технологических операциях по плану используется одно и то же оборудование, то данные работы не могут выполняться одновременно. Аналогичное ограничение может быть задано и по персоналу. Проведение работ «параллельно» позволяет сокращать время выполнения всего решения, но может и привести к увеличению финансовых затрат на приобретение и эксплуатацию дополнительных экземпляров задействованного оборудования.

Таким образом, меняя количество доступного оборудования, задействованного персонала (в том числе уникальных специалистов) и состав технологических операций, из одного решения формируется набор альтернативных решений с разными итоговыми значениями показателей стоимости, длительности и дозовых нагрузок.

Выбор оптимального решения

После получения значений стоимости, времени и дозовых нагрузок (или значений по любым другим отслеживаемым параметрам) происходит выбор оптимального варианта.

Рассматривается N ($i = 1, \dots, N$) вариантов выбора ВЭ ОИАЭ, каждый из которых характеризуется M показателями, где $F_{ij}, j = 1, \dots, m$, большие значения которых вносят больший вклад в решение о ВЭ ОИАЭ, и n показателями $F_{ij}, j = m + 1, \dots, m + n$, меньшие значения которых вносят больший вклад в решение о ВЭ ОИАЭ.

Произведем нормирование показателей для их объединения в один комплексный показатель по каждому варианту ВЭ ОИАЭ:

$$F_{ij}^H = \frac{(F_{ij} - F_{minj})}{(F_{maxj} - F_{minj})}, \quad (1)$$

$$i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, m;$$

$$F_{ij}^H = \frac{(F_{maxj} - F_{ij})}{(F_{maxj} - F_{minj})}, \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N, j = m + 1, \dots, m + n,$$

где F_{minj} – минимальное значение j -ого показателя среди N вариантов;

F_{maxj} – минимальное значение j -ого показателя среди N вариантов.

Значения нормализованных комплексных показателей $K_i, i = 1, \dots, N$ для каждого варианта ВЭ подсчитываются по формуле:

$$K_i = \sum_{j=1}^{m+n} w_j \cdot F_{ij}^H, \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где $w_j \geq 0, j = 1, \dots, m + n, \sum_{j=1}^{m+n} w_j = 1$ – коэффициенты значимости показателей $j = 1, \dots, m + n$.

Коэффициенты значимости показателей w_j напрямую зависят от ЛПР, и алгоритм получения их значений подробно описан в статье [5]. Представленный в ней метод является усовершенствованным методом из РБ-153-18 [6].



Рис. 3. Структура хранения данных
[Fig. 3. Data storage structure]

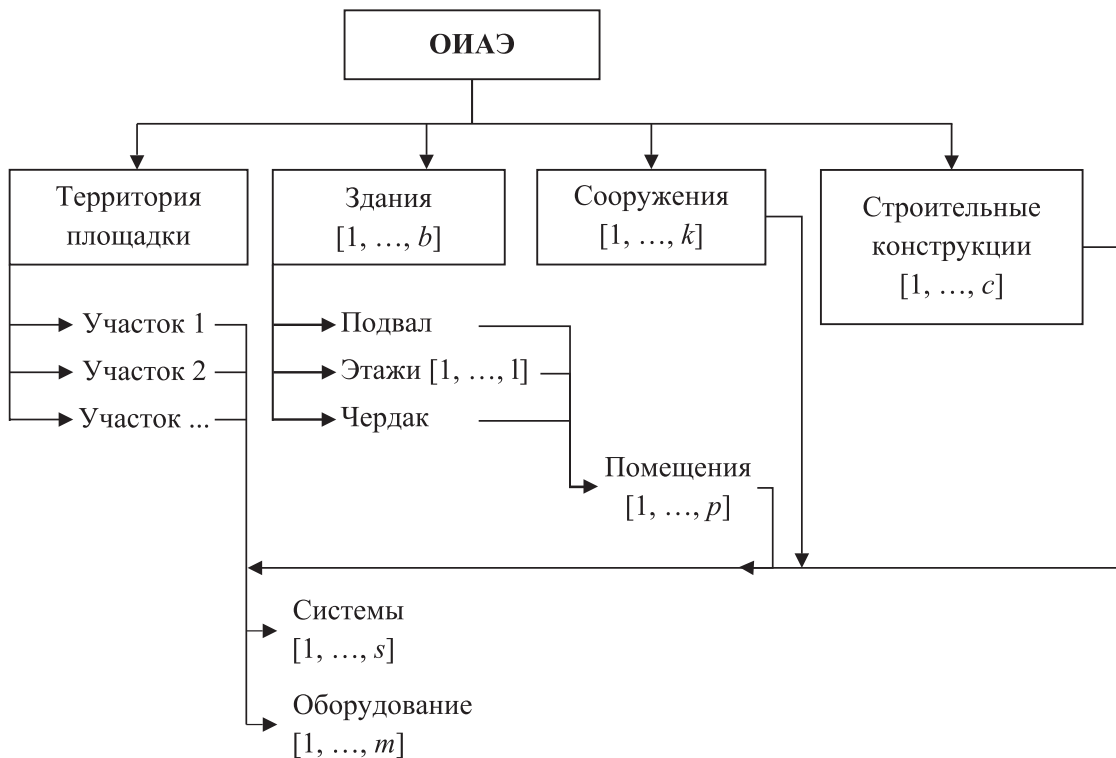


Рис. 4. Модель объекта с неоднородной структурой
[Fig. 4. Model of an object with heterogeneous structure]

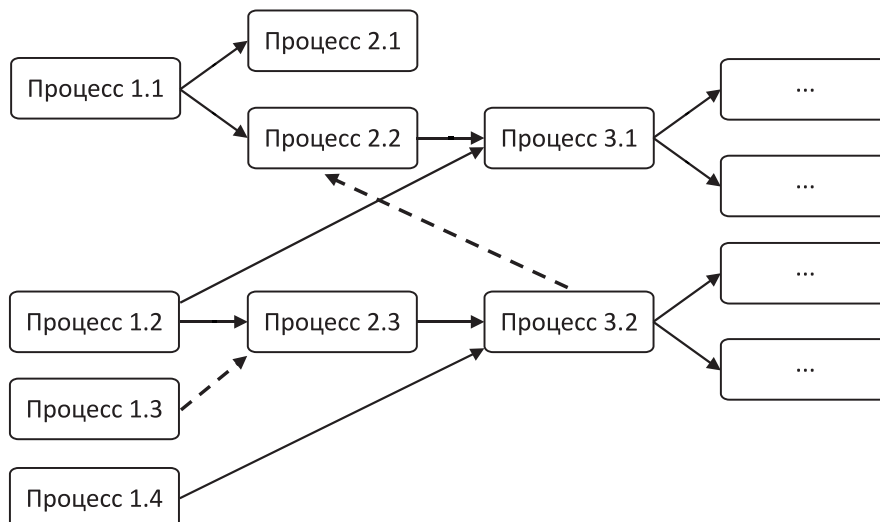


Рис. 5. Сетевой график модели сценария с обозначением взаимного влияния выполняемых процессов
[Fig. 5. Network diagram of the scenario model indicating the mutual influence of the executed processes]

Суть алгоритма состоит в том, что ЛПР либо расставляет показатели в порядке приоритета по своему усмотрению, либо сравнивает значимость всех показателей попарно, выставляя коэффициент приоритета одного показателя над другим. На основе такого сравнения составляется квадратная матрица V размерностью n (число показателей, отображенных для сопоставления вариантов):

$$V = \begin{pmatrix} 1 & V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1n} \\ 1/V_{12} & 1 & V_{23} & \dots & V_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/V_{1n} & 1/V_{2n} & 1/V_{3n} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для определения значений коэффициентов приоритета w_j решается задача на максимальное собственное значение матрицы Саати V :

$$V \vec{x}_{max} = \lambda_{max} \cdot \vec{x}_{max}, \quad (5)$$

где $\vec{x}_{max} = (x_{1max}, \dots, x_{nmax})^T$ – собственный вектор, соответствующий максимальному собственному значению матрицы V .

Известно, что все компоненты вектора \vec{x}_{max} – положительные, а $\lambda_{max} \geq n$ [7].

Искомые коэффициенты приоритета $W_p, i = 1, \dots, N$ определяются после операции нормирования:

$$W_i = \frac{x_{imax}}{\sum_{i=1}^n x_{jmax}}, i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

В итоге сценарий с наибольшим значением K_i оценивается как наиболее эффективный при данных предпочтениях ЛПР.

Реализация учета нормативно-правовой базы по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии в системе моделирования и принятия решений

Все работы по планированию и подготовке к ВЭ, как и непосредственно ВЭ, должны проводиться в соответствии с действующей нормативно-правовой базой. Система информационного моделирования и принятия оптимальных решений для ВЭ ОИАЭ должна включать в себя проверку сценариев ВЭ на соответствие требованиям действующей нормативно-правовой базы.

Система нормативных правовых актов Российской Федерации в области использования атомной энергии имеет иерархическую структуру и подразделяется на следующие уровни:

1. Законодательные акты и международные договоры;
2. Нормативные правовые акты Президента и Правительства Российской Федерации;
3. ФНП;

4. Нормативные документы органов государственного регулирования ядерной безопасности;

5. Нормативные документы органов управления использованием атомной энергии, стандарты, строительные нормы и правила.

Непосредственно на ВЭ ОИАЭ распространяются требования двух федеральных законов (№ 170-ФЗ [1], № 190-ФЗ [8]) и более десяти ФНП.

В настоящее время все нормативные требования записываются в текстовых документах на естественном языке для чтения людьми. Для учета системой данных требований при моделировании и принятии оптимальных решений их необходимо внести в систему и, помимо сохранения текста в оригинальном виде, дополнительно перевести его в формат правил, пригодный для автоматического интерпретирования компьютером.

БД разрабатываемой системы поддержки хранит актуальные версии требований нормативно-правовой базы и позволяет выставлять в соответствие им (для указания области действия требований) различные типы ОИАЭ, стадии жизненного цикла объектов, классы систем и элементов подобъектов.

Заключение

В результате исследований, выполненных к настоящему времени, разработано математическое обеспечение, реализованное в виде комплекса программных средств «СППОР», предназначенного для информационной поддержки принятия управленческих решений при осуществлении деятельности по подготовке к ВЭ и ВЭ ОИАЭ. В состав комплекса входят:

- БД, содержащая библиотеки моделей типовых элементов ОИАЭ и типовых технологических операций, осуществляемых при ВЭ, а также требования нормативно-правовой базы по ВЭ ОИАЭ;
- инструментальные средства моделирования ОИАЭ и процессов ВЭ, формирования возможных решений по ВЭ;
- программные модули, обеспечивающие оценку и сопоставление возможных решений по ВЭ и обоснованный выбор из них оптимального решения с учетом неопределенности исходных данных об ОИАЭ, а также предпочтений ЛПР.

Разработанная система может применяться для обеспечения поддержки принятия управленческих решений по планированию, подготовке к ВЭ и ВЭ на всех стадиях жизненного цикла ОИАЭ, оптимизированных по затратам финансовых, материально-технических и временных ресурсов и при условии соблюдения норм и требований ядерной и радиационной безопасности.

Литература

1. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
2. О федеральной целевой программе «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года»: Постановление Правительства Российской Федерации от 19.11.2015 № 1248.
3. METANIT.COM. Сайт о программировании [Электронный ресурс]. Введение в MongoDB. Что такое MongoDB // Официальный сайт. URL: <https://metanit.com/nosql/mongodb/1.1.php> (дата обращения: 02.03.2023).
4. Бацулин А. А., Бочкарёв В. В., Бриллиантов Б. Д., Климанов С. Г., Крянев А. В., Терешкин В. И. Математическое моделирование сетевого графика выполнения работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии / VII Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз-2021: сб. научных трудов. Ч. 1. – М.: НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 118–119.
5. Бочкарёв В. В., Бриллиантов Б. Д., Крянев А. В. Применение математических методов при выборе оптимального варианта обращения с РАО // Ядерная и радиационная безопасность. 2020. № 4 (98). С. 35–46. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.004.
6. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по обоснованию выбора варианта вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии. РБ-153-18: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29.12.2018 № 666.
7. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
8. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ.

References

1. Feder. zakon No. 170-FZ “Ob ispol'zovanii atomnoi ehnergii” [Federal law No. 170-FZ “On the use of atomic energy”]. 1995.
2. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii No. 1248 “O federal'noi tselevoi programme “Obespechenie yadernoi i radiatsionnoi bezopasnosti na 2016–2020 gody i na period do 2030 goda” [Decree No. 1248 of the Government of the Russian Federation “On the federal target program “Ensuring nuclear and radiation safety for 2016–2020 and for the period up to 2030”]. 2015.
3. METANIT.COM. Website about programming [Electronic resource]. Introduction to MongoDB. What is MongoDB // Ofic. website. URL: <https://metanit.com/nosql/mongodb/1.1.php> (reference date: 02.03.2023).
4. Batsulin A. A., Bochkarev V. V., Brilliantov B. D., Klimanov S. G., Kryanev A. V., Tereshkin V. I. (2021). Matematicheskoe modelirovanie setevogo grafika vypolneniya rabot po vyvodu iz ehkspluatatsii ob"ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii [Mathematical modeling of the network schedule for the decommissioning of nuclear power]. VII Mezhdunarodnaya konferentsiya “Lazernye, plazmennye issledovaniya i tekhnologii” (LaPlaz-2021) – The VII International Conference on “Laser & Plasma research and technologies” (LaPlas-2021): proceedings (part 1, pp. 118–119). Moscow: NRU MEPhI. [in Russian].
5. Bochkarev V. V., Brilliantov B. D., Kryanev A. V. (2020). Primenenie matematicheskikh metodov pri vybere optimal'nogo varianta obrashcheniya s RAO [Application of mathematical methods in choosing the optimal option for handling RW]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 4 (98), pp. 35–46. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2020.98.4.004.
6. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomendatsii po obosnovaniyu vybora varianta vyvoda iz ehkspluatatsii ob"ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii” (RB-153-18) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations on the justification of the choice of the option of decommissioning of nuclear energy facilities” (RB-153-18)]. 2018.
7. Saati T. L. (1993). Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii [Decision-making. Method of hierarchy analysis]. Moscow: Radio and Communications. [in Russian].
8. Federal'nyi zakon No. 190-FZ “Ob obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii” [Federal law No. 190-FZ “On the management of radioactive waste and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation”]. 2011.

Сведения об авторах

Бриллиантов Борис Дмитриевич, научный сотрудник отдела радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Бочкарёв Валерий Вячеславович, начальник отдела радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Терешкин Владимир Иванович, начальник лаборатории отдела радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Крянев Александр Витальевич, профессор кафедры прикладной математики «МИФИ», Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (115409, Москва, Каширское ш., д. 31).

Authors credentials

Brilliantov Boris Dmitrievich, Researcher of Radiation Safety Division, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: brilliantov@secnrs.ru.

Bochkarev Valeriy Vyacheslavovich, Head of Radiation Safety Division, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: bochkarev@secnrs.ru.

Tereshkin Vladimir Ivanovich, Head of Laboratory of Radiation Safety Division, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: tereshkin@secnrs.ru.

Kryanev Alexander Vitalievich, Professor of Applied Mathematics at MEPHI, National Research Nuclear University MEPHI (31, Kashirskoe hwy, Moscow, 115409), e-mail: avkryanev@mephi.ru.

Для цитирования

Бриллиантов Б. Д., Бочкарёв В. В., Терешкин В. И., Крянев А. В. Особенности разработки системы моделирования и поддержки принятия решений при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2023. № 1 (107). С. 28–38. DOI: 10.26277/SECNRS.2023.107.1.003.

For citation

Brilliantov B. D., Bochkarev V. V., Tereshkin V. I., Kryanev A. V. Development specifics for a system of modeling and support of decision-making for nuclear facilities decommissioning. Nuclear and Radiation Safety Journal, 2023, No. 1 (107), pp. 28–38. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2023.107.1.003.

