

**ВАЛИДАЦИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ
ПО СОЗДАНИЮ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Королев А.С.

*МИРЭА - Российский технологический университет
Российская Федерация, Москва, проспект Вернадского, дом 78
korolev@mirea.ru,*

Бурлаков А.И.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, д. 31
burlakov_ai@mail.ru*

Аннотация: Рассмотрены особенности создания сложных технических систем, являющихся источниками потенциальной радиационной опасности. Относительно таких систем продемонстрирована актуальность применения принципов и подходов системной инженерии, в частности, валидации на ранних стадиях жизненного цикла. Предложены методы и инструменты валидации архитектурных решений, позволяющие минимизировать риски реализации проектов с соблюдением требований к разрабатываемой системе.

Ключевые слова: валидация, архитектура, системная инженерия, радиоактивные отходы.

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации накоплено более 500 млн. м³ радиоактивных отходов (далее - РАО). Действующее законодательство в области использования атомной энергии и обращения с РАО обязывает собственников радиоактивных отходов, отнесенных к категории удаляемых, извлекать, перерабатывать, кондиционировать и захоранивать их [1].

Крупные предприятия, эксплуатирующие объекты использования атомной энергии, имеют на своих производственных площадках стационарные комплексы или установки по переработке РАО. Однако эти производства проектировались и введены в эксплуатацию значительно раньше вступления в силу Федерального закона № 190-ФЗ [1] и существующие технологические линии не обеспечивают полноценное соблюдение требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Небольшие предприятия и/или непрофильные организации, такие как научно-исследовательские институты, химические и металлургические производства, и собственники территорий, подвергшихся радиационному загрязнению, не располагают какими-либо производственными мощностями по обращению с РАО.

Перспективным направлением в развитии технологий переработки радиоактивных отходов является создание мобильных комплексов обращения с РАО. Основная функция комплексов – переработка РАО с целью снижения их объема и приведения к состоянию, пригодному для окончательной изоляции или вывоза с площадки объекта.

С учетом специфики жизненного цикла объектов по обращению с РАО и возникающих в связи с этим проблем на этапах приемки и эксплуатации, в последнее время все больше внимания уделяется применению принципов и подходов системной инженерии при создании таких объектов. В частности, актуальным стал процесс ранней валидации технических решений, позволяющий ликвидировать разрыв между этапом формирования задания на проектирование и этапом приемки уже воплощенного в натуре объекта, связанный с большими рисками в реализации проекта.

1 Специфика жизненного цикла объектов по обращению с РАО

Проектирование, изготовление (строительство), эксплуатация объектов использования атомной энергии, обращение с радиоактивными веществами и источниками ионизирующего излучения являются лицензируемыми видами деятельности. При выдаче лицензий на эксплуатацию Ростехнадзор фактически осуществляет валидацию проектных решений, зачастую уже воплощенных в натуре, на предмет соблюдения и исполнения требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. При отрицательном результате экспертизы внесение изменений в проектную документацию или изменение конструкции существующего физического объекта влечет за собой дополнительные временные и финансовые затраты, а зачастую они неисполнимы.

Исторически сложившаяся система проектирования и проведения оценок и экспертиз на основании массива документов усложняет исключение неверных или неполноценных технических решений, заложенных на начальных этапах разработки, т.е. при составлении задания на проектирование или технического задания на разработку проектной документации.

2 Разработка требований

Разработка задания на проектирования (далее - ЗНП) является отправной точкой реализации системы. В парадигме документо-ориентированной системной инженерии ЗНП представляет собой документ, который должен содержать требования и ограничения, предъявляемые к системе. Как правило, этот документ разрабатывается группой экспертов организации заказчика системы, реже с привлечением специалистов предприятия разработчика проектной документации. Информация, отраженная в ЗНП, основывается на предыдущем опыте экспертов (требования к системе) и глубины знаний нормативных документов (ограничения системы). Требования выражаются на естественном языке, зависят от стилистики автора и могут неоднозначно трактоваться другими стейкхолдерами. При этом полнота требований и их формулировки являются определяющим фактором создания успешной системы. Эти проблемы характерны и для зарубежных проектов в атомной энергетике [2].

Проектирование с применением подхода модели-ориентированной системной инженерии (MBSE) позволяет проводить анализ удовлетворения всех требований на протяжении всего жизненного цикла объекта [2, 3]. Системная инженерия на основе моделей обеспечивает представление системы различными описаниями, обращенными к определенным группам заинтересованных лиц. Это способствует обмену информацией с применением моделей, а не только документов, что исключает двойственность и несогласованность при принятии ключевых решений.

3 Валидация архитектурных решений

3.1 Обоснование метода анализа

Как было отмечено выше до начала основной стадии проектирования (разработки проектной документации) необходимо иметь концепцию разрабатываемой системы, согласованные ключевые технические решения и конкретные показатели функционирования. На ранних этапах жизненного цикла это возможно сделать с применением метода АТАМ (Architecture tradeoff analysis method – Метод анализа архитектурных компромиссов). Данный метод широко применяется при проектировании программных средств и информационных систем [4] т.к. является модифицированной и улучшенной версией SAAM (Software architecture analysis method), однако, ограничений на его использование при разработке социотехнических систем не выявлено [5]. АТАМ может применяться в рамках общего подхода MBSE в совокупности с языком SysML и поддержке открытого программного инструмента Polarsys Capella или схожего с ним. Актуальность применения метода в сочетании с подобным инструментарием обусловлена задачей формирования системной архитектуры при реализации проектов в атомной отрасли [3, 6].

Метод АТАМ состоит из двух фаз. Реализация первой фазы дает представление заинтересованным сторонам о бизнес-драйверах, атрибутах качества и функциональных требованиях к системе, на основании которых принимаются первичные архитектурные подходы (решения). Вторая фаза требует непосредственного участия стейкхолдеров в проработке сценариев, которые должны быть реализованы в системе. В случае выявления неучтенных при проработке первой фазы сценариев происходит их сопоставление с предложенными архитектурными подходами (на этом шаге возможно возвращение к первой фазе работ). Результатом всего процесса является задокументированные архитектурные подходы и решения для реализации системы.

3.2 Применение метода к предметной области

В рамках действующего законодательства услуги по переработке РАО, их перевозке и временному хранению могут оказывать специализированные организации [1]. Именно они будут эксплуатировать и являться собственниками систем.

Для рассматриваемых систем бизнес-драйверами являются:

- мобильность (возможность передислокации и размещения на территории эксплуатирующих организаций) и автономность (работа без подключения к существующим инженерным коммуникациям);
- осуществление технологических операций, позволяющих изменить форму и снизить активность исходных РАО.

Заинтересованные стороны (укрупненно): собственник системы, надзорные органы и предприятия заказчики услуги по переработке РАО. Собственник системы преследует следующие бизнес-цели: минимизация транспортных издержек и затрат на хранение за счет уменьшения объема отходов, расширение спектра оказываемых услуг, сокращение временных интервалов проведения работ, улучшение радиационной безопасности.

Из анализа функциональных и нефункциональных требований к системе наиболее предпочтительным вариантом реализации выбрана модульная компоновка [7]. Каждый модуль выполняет ограниченный набор простых функций (операций). Модуль представляет собой комплект технологического оборудования, размещенного в стандартном транспортном контейнере (20-, 40-футовом) оснащенном обеспечивающими системами.

Это решение позволит обеспечить:

- повышение радиационной безопасности. При возникновении нештатной ситуации авария будет локализована в одном модуле, что не потребует дезактивации больших площадей рабочих зон и остановки работ на других технологических участках, и, кроме того, не приведет к дополнительному облучению персонала, задействованного на других работах (вне данного модуля);
- выбор оптимального набора модулей под конкретные задачи.

Для проведения полного комплекса операций по переработке РАО система должна состоять из: модуля приемки, сортировки и фрагментации исходных твердых отходов, модуля дезактивации, модуля сушки, модуля компактирования, модуля омоноличивания, модуля обеспечения энергетическими средами, лабораторного модуля, санитарно-бытового модуля и комплекта грузоподъемных механизмов и транспортных средств для перемещения упаковок с РАО между модулями.

Разработка дерева полезностей по методу АТАМ для выявленных атрибутов качества позволила обосновать выбор технологического наполнения модулей. Проведена оценка рисков точек

чувствительности и компромиссов. Это позволило на предпроектной стадии исключить такие решения как жидкостная дезактивация РАО, использование газового или плазменного оборудования при фрагментации и омоноличивание на основе вторичных жидких радиоактивных отходов.

Заключение

Пошаговое применение метода АТАМ при разработке концепции мобильных комплексов по переработке РАО позволило получить обоснованные архитектурные решения создаваемой системы. Основной сложностью использования АТАМ применительно к конкретной предметной области является учет требований надзорных органов. На практике не представляется возможным получение обратной связи или вовлечение в процесс валидации архитектурных решений представителей данной категории стейкхолдеров. Учет их требований проводится на основании нормативных документов, количество которых более 50 единиц. Решение данной проблемы было найдено в применении MBSE и соответствующих инструментов для документирования требований и прослеживаемости их воплощения в различных представлениях моделей системы.

Литература

1. Федеральный закон от 11.07.2011 N 190-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
2. *Lemazurier L., Chapurlat V., Grossetête A.* An MBSE Approach to Pass from Requirements to Functional Architecture // IFAC-PapersOnLine Volume 50, Issue 1, July 2017. – P.7260-7265.
3. *Anton S. Korolev, Alexander Yu. Shamanin.* The Use of Formal Methods of Verification and Validation in NPP Design // 2018 Eleventh International Conference "Management of large-scale system development".
4. *Zalewski A., Kijas S.* Beyond ATAM: Early architecture evaluation method for large-scale distributed systems // Journal of Systems and Software Volume 86, Issue 3, March 2013. – P.683-697.
5. *Sazonov B., Korolev A., Fomina T.*, Validation of architectural solutions during permanent design of sociotechnical systems // 2017 CEUR Workshop Proceedings Vol-1989. – P.78-83.
6. *Juan Navas, Philippe Tannery, Stephane Bonnet, Jean-Luc Voirin.* Bridging the Gap Between Model-Based Systems Engineering Methodologies and Their Effective Practice – A Case Study on Nuclear Power Plants Systems Engineering // INCOSE INSIGHT, March 2018 Volume 21/Issue 1. – P.17-20.
7. *Fiorineschia L., Frillicia F., Rissonea P., Cascinib G.* Product Architecture Definition: Evaluating the Potentiality of TRIZ Tools // 2015 Procedia Engineering Volume 131. – P.359-371.