

Реинжиниринг процессов и автоматизация, как база для сокращения отставания от директивных сроков ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС в РФ

С.Л. Литвин, М.Г. Жабицкий, А. А. Хан

Аннотация - В данной статье рассматривается проблематика отставания от директивных сроков окончания предпусковых наладочных работ на энергоблоке АЭС в составе стадии ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС [1]. Формирование проблемы постепенно произрастает от сложного гармонизированного управления ключевыми объектами, которые являются сущностями различных процессов, до недостаточности инструментов при попытке объединить все объекты в единый процесс управления директивными сроками окончания предпусковых наладочных работ на энергоблоке АЭС. Сформированная проблематика сказывается на возможности автоматизации, что, в свою очередь, вытекает в своевременно непринятые управленческие решения. В результате научно-исследовательской работы должна быть предложена гипотеза процесса управления директивными сроками окончания предпусковых наладочных работ на энергоблоке АЭС, а также логическая модель автоматизации процесса.

Ключевые слова - ПНР, процесс, сроки, отставания, жизненный цикл, энергоблок, АЭС.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с моделью зрелости BPM, предложенной Gartner, переход к автоматизации процессов возможен лишь после формирования базового уровня зрелости - «осведомлённости о процессах», предполагающего их идентификацию и формализованное описание, а автоматизация процесса осуществляется на заключительном уровне зрелости процесса [1-3].

Подэтапы этапа предпусковых наладочных работ (ПНР) стадии ввода энергоблока АЭС в эксплуатацию реализуются посредством множества процессов. Этап ПНР уникален тем, что по своей значимости является мостом, соединяющим два состояния энергоблока, где первое состояние связано с преобразованием песка, руды, щебня и прочих природных ресурсов в комплекс технических сооружений, а второе состояние с запуском управляемой цепной реакции, когда смонтированные и настроенные системы, оборудование начинают функционировать как единый технологический контур, обеспечивая безопасную и эффективную генерацию электроэнергии.

Краеугольным камнем в ситуации с ПНР становятся сроки, так как именно на этап ПНР приходится наибольшее отставание от директивных сроков. Средняя

длительность отставания от директивного срока окончания работ по вводу в промышленную эксплуатацию энергоблока АЭС в РФ за период 2007-2017 гг. составил ~168 суток (в границах этапов А-1 – Г2) из которых 98 суток (или ~60%) пришлось на подэтапы этапа ПНР А-1-А-4 стадии ввода энергоблока АЭС [4,5].

По действующим стратегическим ориентирам, рост доли атомной генерации в России до 2042 года планируют увеличить с 18,9% в 2023 году до примерно 25% к 2042 году, что потребует ввода ориентировочно ~38 энергоблоков ОИАЭ (в т.ч. с учетом вывода из эксплуатации энергоблоков, которые выработали свой ресурс) [6]. С учетом оценки, что потери от недовыработки электроэнергии энергоблока АЭС в течение 1 суток могут составлять порядка ~1 млн. евро [4], можно утверждать, что придание новых свойств процессам на подэтапах этапа ПНР и их автоматизация, позволяющие в комплексе снизить на 10% отставание от директивы сроков окончания ПНР, могут во много раз превышать совокупные затраты, необходимые на реинжиниринг процессов [7] ПНР и их автоматизацию.

Необходимость реинжиниринга процессов обусловлено тем обстоятельством, что внутри уже сформированных и реализуемых процессах этапа ПНР заложены скрытые резервы, которые при должном изменении могут быть преобразованы в определенное сокращение, но не целевое.

В целом, выдерживание плановых сроков и/или их сокращение по стадиям сооружения и ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС позволяет российской атомной промышленности быть конкурентоспособной на мировом рынке по стоимости производства одного киловатт-часа (кВт·ч) электроэнергии [8]. Удельные показатели конкурентоспособности находятся в диапазоне от 2 410 до 8 620 долларов США/кВтэ [9], которые возможно достигать только в условиях постоянно совершенствования процессов и оптимизации затрат на их исполнение к примеру, с помощью автоматизации.

I. ФАКТОРЫ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ДИРЕКТИВНЫМИ СРОКАМИ ОКОНЧАНИЯ НА ЭТАПЕ ПНР

Основываясь на интегрированные в российское законодательство и нормы, рекомендации международного агентства, с ключевыми компонентами подэтапов этапа ПНР [10,11] следует отождествлять:

- Перечень систем и оборудования энергоблока АЭС;
- 4-х уровневой системе планирования;
- Иерархическая структура коллегиальных органов;
- Классифицированные виды отклонения, являющиеся ключевыми драйверами увеличения отставания от директивных сроков;
- Содержание программ испытаний.

В целом, ничего относительно нового если смотреть на ключевые компоненты подэтапов этапа ПНР с точки зрения относительно стандартного перечня бизнес-процессов [3] или как еще называют - процессной моделью юридического лица, который в нашем случае является субъектом, управляющим проектом по вводу энергоблока АЭС в эксплуатацию.

В рамках процессной модели группы основных (операционных) процессов [12] осуществляется управление производственно-технологическими операциями, где со стадии сооружения осуществляется передача и приемка зданий, сооружений и основного оборудования, которые формируют собой функциональные системы энергоблока АЭС [13]. В рамках этой же группы процессов разрабатываются программы [13] испытаний функциональных систем энергоблока АЭС.

Группа основных процессов поддерживается вспомогательными процессами такими как управление сроками и управление качеством. Процесс управления сроками ввода энергоблока АЭС в эксплуатацию строится на 4-х уровневой системе планирования [4,5].

Ключевым документом, определяющим плановые директивные сроки начала-окончания работ на отрезке жизненного цикла энергоблока АЭС от работ на подготовительном периоде до получения разрешения на ввод в эксплуатацию энергоблока АЭС, является директивный график верхнего уровня (ДГВУ). ДГВУ декомпозируется на три уровня глубже. ДГВУ проекта сооружения АЭС утверждается самым высоким руководством атомной отрасли. Процесс управления качеством позволяет выполнять последовательный набор операций при выявлении в ходе реализации программ испытаний таких классифицированных отклонений как дефекты и несоответствия. Дефекта это форма отклонения, которую возможно устранить минимально доступными ресурсами. Те же отклонения, которые требуют привлечения дополнительного финансирования и связанные с такими работами как внесение изменений в проектную документацию, ремонт оборудования, ремонт на заводе-изготовителе, дополнительная поставка или перепоставка оборудования, или разработка организационных мероприятий, классифицируются уже как несоответствия.

Процессы группы организационного развития ориентированы на эффективность принимаемых решений. В целом вся организационная структура стадии ввода в промышленную эксплуатацию энергоблока АЭС имеет жесткую организационную структуру коллегиальных органов (в т.ч. включающие представителей государственного надзорного органа) с иерархически-распределенной структурой ответственности [5], которая представлена на Рисунке 1.



Рисунок 1. Иерархическая структура коллегиальных органов на этапе предпусковых наладочных работ энергоблока АЭС

Но вся продуманная структура и управляемость как этапа ПНР в частности, так и всей стадии ввода в

промышленную эксплуатацию энергоблока АЭС имеет определенные процессные недостатки, которые не позволяют ей быть более эффективной. Эти недостатки являются более прослеживаемыми в условиях, когда мы имеем возможность объединить протекание всех процессов этапа ПНР в единый, для наблюдения за тем как выходы одних процессов являются входами для других процессов и так далее. Для такого межпроцессного объединения можно использовать цикл PDCA Деминга-Шухарта [12], который покажет такие недостатки, связанные с циклами, проверкой (check) и действии (act). В первом случае будут отсутствовать такие важные процессные операции как анализ, выявление и оценка фактических отклонений. А во втором случае мы столкнемся с отсутствием эквивалента по управлению изменениями, которые будут выражаться в невыполнении корректировок планов по программам испытаний и пересмотре ДГВУ в тех ситуациях, когда выполнение программ испытаний на подэтапах этапа ПНР сталкивается с несоответствиями, которые по своей технологичности могут существенно сдвигать вправо сроки от директивных. Такая ситуация возможно из-за того, что основные цели МАГАТЭ связаны с безопасностью, а экономические аспекты, стоимости генерации электроэнергии, являются второстепенными. Поэтому в текущий процесс необходима интеграция инструментов, которые позволят наделить процесс

необходимыми свойствами такими как оперативность и предвиденье. Новые свойства процесса позволят на регулярной основе предвидеть возможное отклонение, что позволит предпринимать необходимые управленческие решения, а вместе с этим способствовать сокращению нарастания отставания от директивных сроков окончания работ.

II. ИНСТРУМЕНТЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ НЕОБХОДИМЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДИРЕКТИВНЫМИ СРОКАМИ ОКОНЧАНИЯ НА ЭТАПЕ ПНР

А. Повышение предсказуемости процесса управления директивными сроками окончания ПНР на энергоблоке АЭС с использованием метода план-фактного анализа

Исторически и ввиду высокой степени техногенности энергоблока АЭС все стадии жизненного цикла АЭС имеют глубокий уровень нормирования, что не прошло и мимо стадии ввода АЭС в эксплуатацию. Утвержденное в далеком 1985 году ОСТ 34-37-800-85 [14] задало состав и требования к содержанию пусконаладочных работ для всех программ испытаний на стадии ввода в эксплуатацию АЭС. Структура, содержание ОСТ 34-37-800-85 с детализацией алгоритма выполнения операций представлена на рисунке 2.

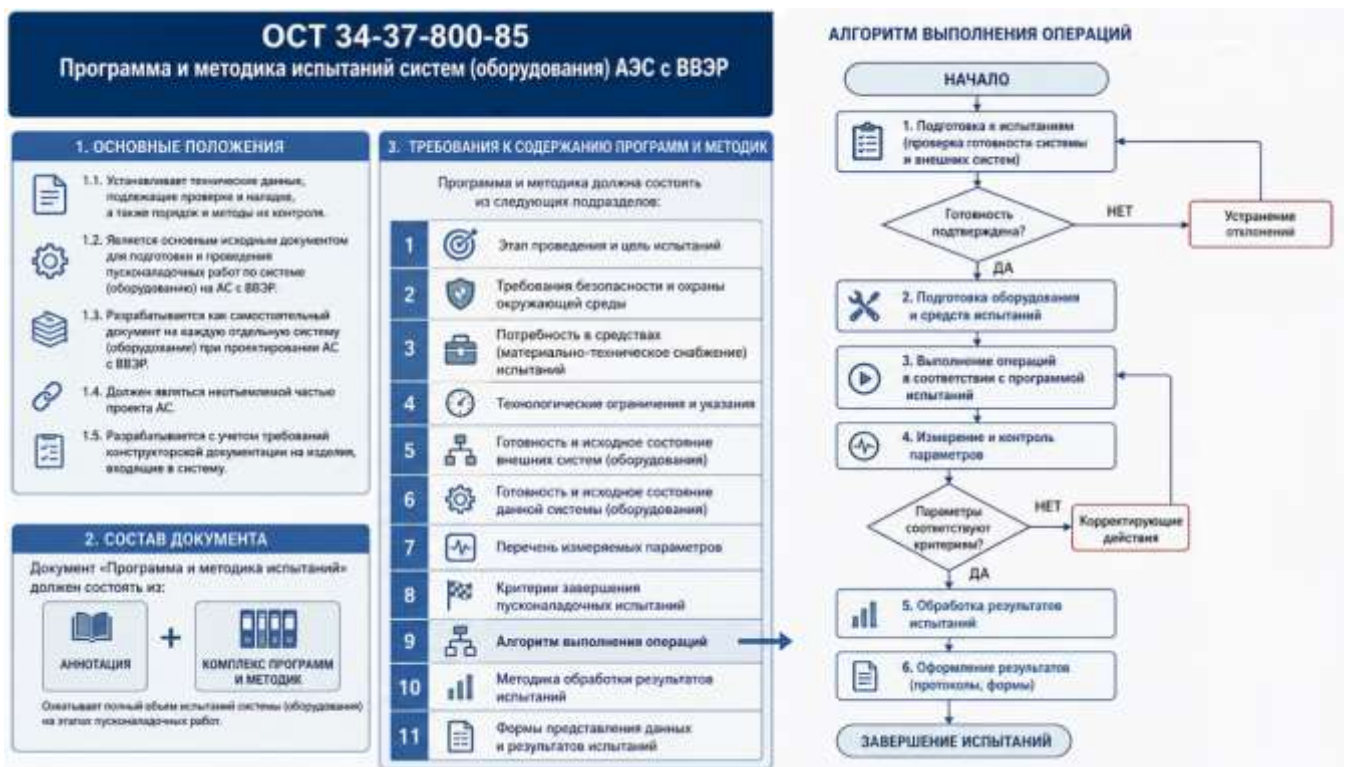


Рисунок 2. Структура, содержание ОСТ 34-37-800-85 с детализацией алгоритма выполнения операций

Принимая во внимание, что каждый подэтап этапа ПНР, это ничто иное как десятки программ испытаний в форме работ, которые в свою очередь декомпозируются на технологически-последовательные операции (шаги). И учитывая современный уровень развития проектного управления, благодаря которому нам известно о

иерархической структуре работ (или структурной декомпозиции работ) [15], то каждый из таких шагов (операций) по испытанию системы (оборудования) энергоблока АЭС, как минимум, должен содержать такие атрибуты: содержание (выполняемое действие в шаге), начало-окончание, длительность или

продолжительность, исполнителя и информацию о фактическом завершении работ, и документах или материалах, подтверждающие выполнение. В соответствии с логикой предполагаемого атрибутивно состава шага (операции) по программе испытаний (работ) на системе (оборудовании) энергоблока АЭС датой начала может быть к примеру, стартовый шаг (операция) связанный с оформлением наряд-допуска, получением разрешения или проведением мероприятий по инструктажу. И соответственно, датой окончания

шага (операции) будет являться запись в журнале инструктажа, реквизиты дата выдачи и уникальный номер наряд-допуска.

Иллюстрация положительного использования простого, общекорпоративного метода для регулярного, количественного измерения отклонений план-фактного анализа (ПФА) в ходе реализации работ по испытанию систем энергоблока АЭС представлен на рисунке 3.

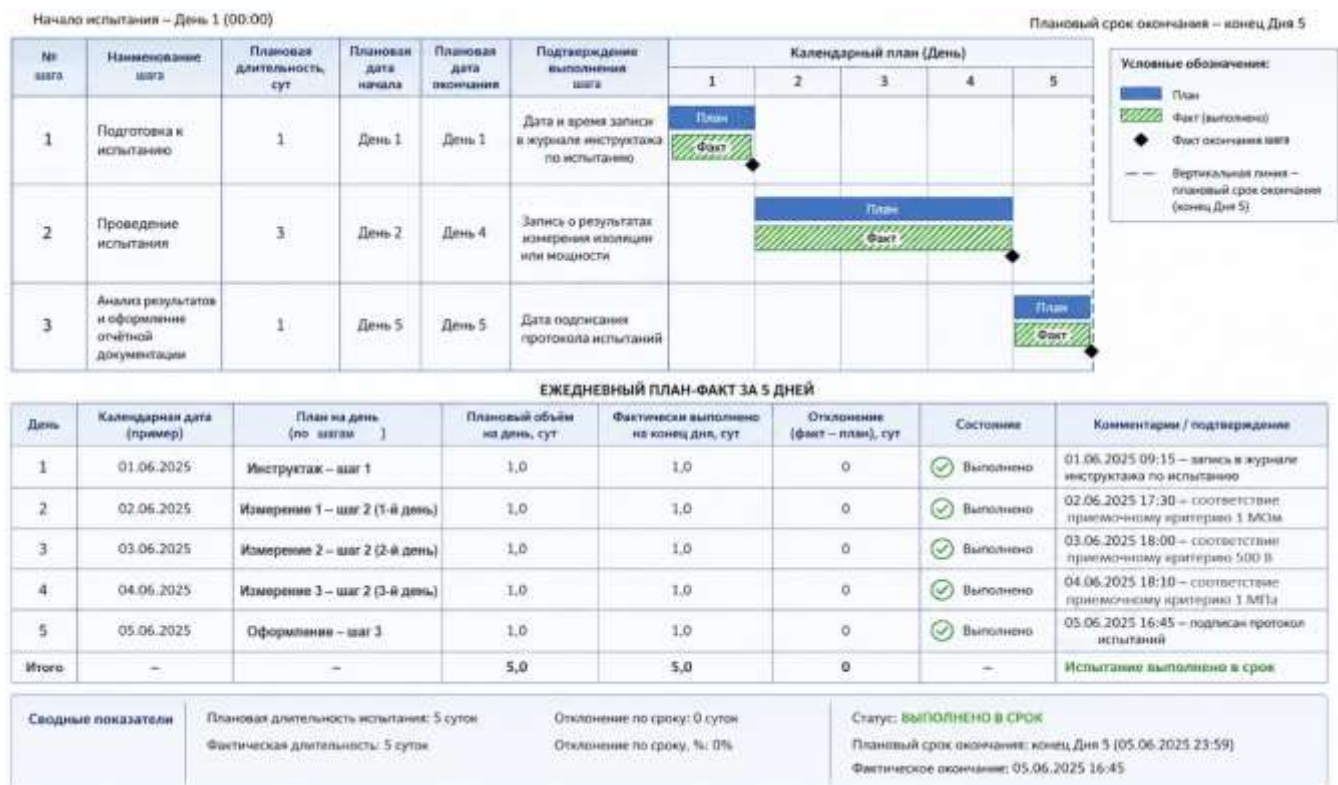


Рисунок 3. Иллюстрация использования ПФА в ходе реализации работ по испытанию систем (оборудования) энергоблока АЭС

В. Повышение оперативности процесса управления директивными сроками окончания ПНР на энергоблоке АЭС с использованием методов экспертных оценок и PERT при выявлении отклонений

В уже более совершенном чем ранее процессе при выявлении отклонений в рамках ПФА отсутствует инструмент оперативной оценки ресурсоемкости, требуемой для устранения идентифицированных отклонений. Для оценки возможного роста отставания от директивного срока важна оперативная оценка сроков, которые будут затрачены на устранения выявленных отклонений при реализации работ по программам испытаний. Но сроки устранения отклонения по программам испытаний не могут появиться сами по себе, а являются результатом разделения таких отклонения на составные части в форме декомпозиции работ, и уже последующей оценкой затрат в первую очередь в натуральном выражении, а после в стоимостном. Чтобы осуществить оперативную оценку длительности устранения отклонения, необходимо сформировать

последовательную технологическую структуру работ для устранения отклонения. Для организации такой работы может быть использован последовательная композиция методов, одним из которых будет метод экспертных оценок.

Метод экспертных оценок позволяет на основании выявленного в рамках ПФА отклонения сформировать временную группу экспертов различных специальностей. Состав такой группы может состоять из любых представителей, которые входят в ПК, ГРП, РК и РПК на рисунке 1, что позволяет привлекать к работе в группу экспертов представителей от уровня Ростехнадзора до поставщиков мелких, малоценных товаров работ и услуг. По экспертным оценка автора, такая группа экспертов в течение 2-3 дней сможет решить задачи по определению:

1. Технологического набора работ необходимых для устранения отклонения в форме иерархической структуры работ.

- 2. Последовательность выполнения технологического набора работ для устранения отклонения.
- 3. Требуемый набор ресурсов для устранения отклонения включая привлекаемых представителей смежных процессов субъекта управления проектом по вводу в эксплуатацию для решения задач по сопровождению и обеспечению поставки таких ресурсов.
- 4. Экспертных оценок по длительности выполнения каждой работы, состоящие из трех показателей: самая

короткая длительность работ, стандартная длительность работ и максимальная продолжительность работ.

Все участники экспертной группы являются представителями юридических лиц в рамках проекта АЭС, которые связаны юридически обязывающими соглашениями друг с другом. Иллюстрация метода экспертных оценок на примере с заменой трубчатого электронагревателя, на котором было выявлено несоответствие приемочным критериям на рисунке 4.

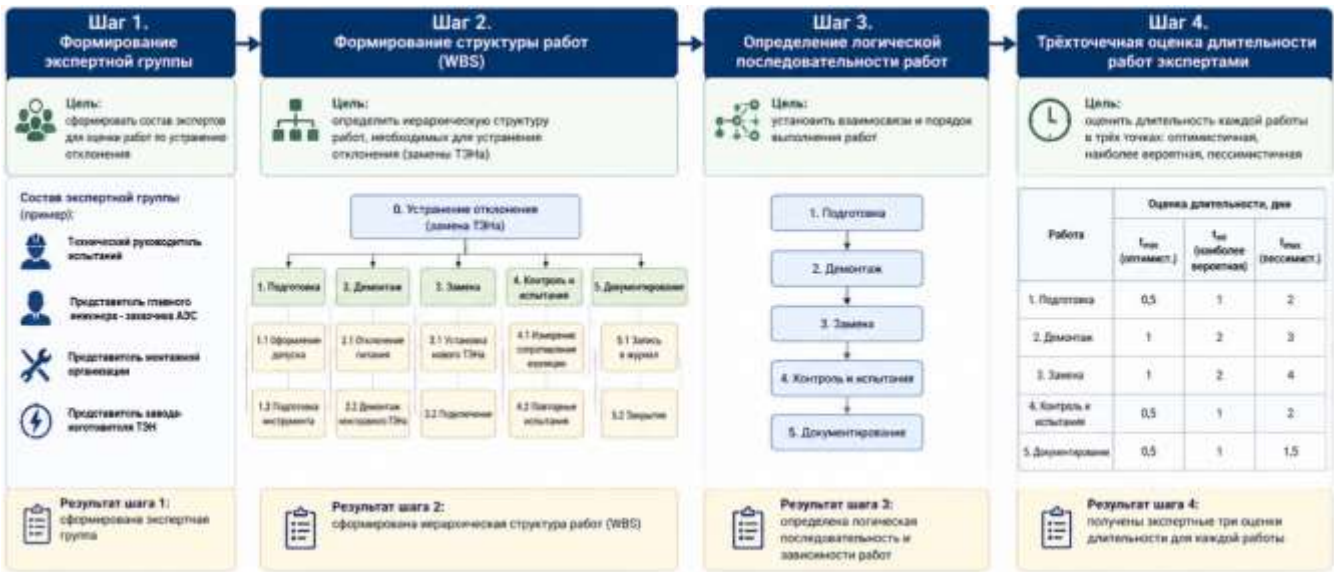


Рисунок 4. Иллюстрация применения метода экспертных оценок на примере замены одного из трубчатых электронагревателей

Проиллюстрированный на рисунке 4 пример, состоит из четырех шагов, включая формирование группы экспертов, формирование структуры работ, определения логической последовательности работ и трехточечная оценка длительности работ. Очевидно, что в ходе испытаний могут быть выявлены отклонения, куда более сложнее чем на приведенном примере, но алгоритм метода экспертных оценок не зависит от сложности выявленного отклонения. Возможно, при выявлении более сложных отклонений потребуются более сильная группа экспертов с большим числом участников от

различных юридических лиц. Полученные на шагах 2-4 результаты метода экспертных оценок будут входными данными для следующего метода оценки по трем точкам (или метод PERT-анализ), с использованием которого мы произведем окончательную оценку сроков, требуемых на устранение выявленного отклонения (несоответствия).

Метод оценки по трем точкам (или метод PERT-анализ, проиллюстрирован на рисунке 5) является методом, который позволяет осуществить оперативную оценку длительности работ в условиях неопределенности.



Рисунок 5. Расчета оценочных сроков устранения отклонения (несоответствия) методом PERT

Идея метода заключается в применении трех временных оценок для каждой работы, задачи или шага. Три временные оценки определяются экспертами в области работ и состоят из: - О (оптимистичная оценка) – самая минимально возможная длительность

выполнения работы; - М (стандартная оценка) – обычная длительность выполнения работы; - Р (пессимистичная оценка) – максимально возможная длительность выполнения работ.

III. ГИПОТЕЗА О ВОЗМОЖНОЙ ФОРМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДИРЕКТИВНЫМИ СРОКАМИ ОКОНЧАНИЯ ПНР НА ЭНЕРГОБЛОКЕ АЭС

Для автоматизации процесса потребуется определить верхнеуровневые функциональные и нефункциональные требования. Требования будут гармонизировать с содержанием настоящей работы и предположением того, что может быть дополнительно внесено ценного в процесс в ходе практической реализации.

Состав верхнеуровневых функциональных требований будет включать:

1.1. Формирование единого исходно плана всех работ по программе испытаний с детализацией до уровня шага. Отношения в рамках этапа предпусковые наладочных работы будут соответствовать связи один ко многим, то есть работы одной программы испытаний могут выполняться на разных подэтапах этапах, но отношение нуждается в уточнении на этапе детального описания процесса.

1.2. Обеспечение предсказуемости за счёт раннего выявления отклонения, являющихся основными факторами отставания от директивных сроков окончания работ.

1.3. Оперативное решение задач по формированию набора работ и оценки длительности выполнения работ для устранения факторов отклонения.

1.4. Управление изменения сроками директивного графика верхнего уровня при получении таких

отклонений, сроки по которым в меру производственно-технологического цикла не могут быть сокращены или компенсированы.

1.5. Интеграции с действующим ИТ-ландшафтом субъекта управления проектом ввода АЭС в эксплуатацию.

Учитывая потенциально, критическое влияние автоматизации на бизнес-процесс предложен расширенный состав нефункциональных требований, который будет включать:

2.1. Обеспечение консистентности (актуальности) данных.

2.2. Конфигурируемый (гибкий, настраиваемый) жизненный цикл согласования.

2.3. Полная прослеживаемость управленческих и экспертных решений.

2.4. Масштабируемость (по решению заказчика автоматизации).

2.5. Настраиваемая ролевая модель доступа.

2.6. Копирование данных на резервные мощности ежедневно.

2.7. Максимальное время простоя – не более 3 часов.

2.8. Максимальное время восстановления после сбоя – 3 часа.

2.9. Время отклика пользовательского интерфейса – не более 3-5 секунд.

2.10. Время пересчета прогнозных сроков – не более 60 секунд.

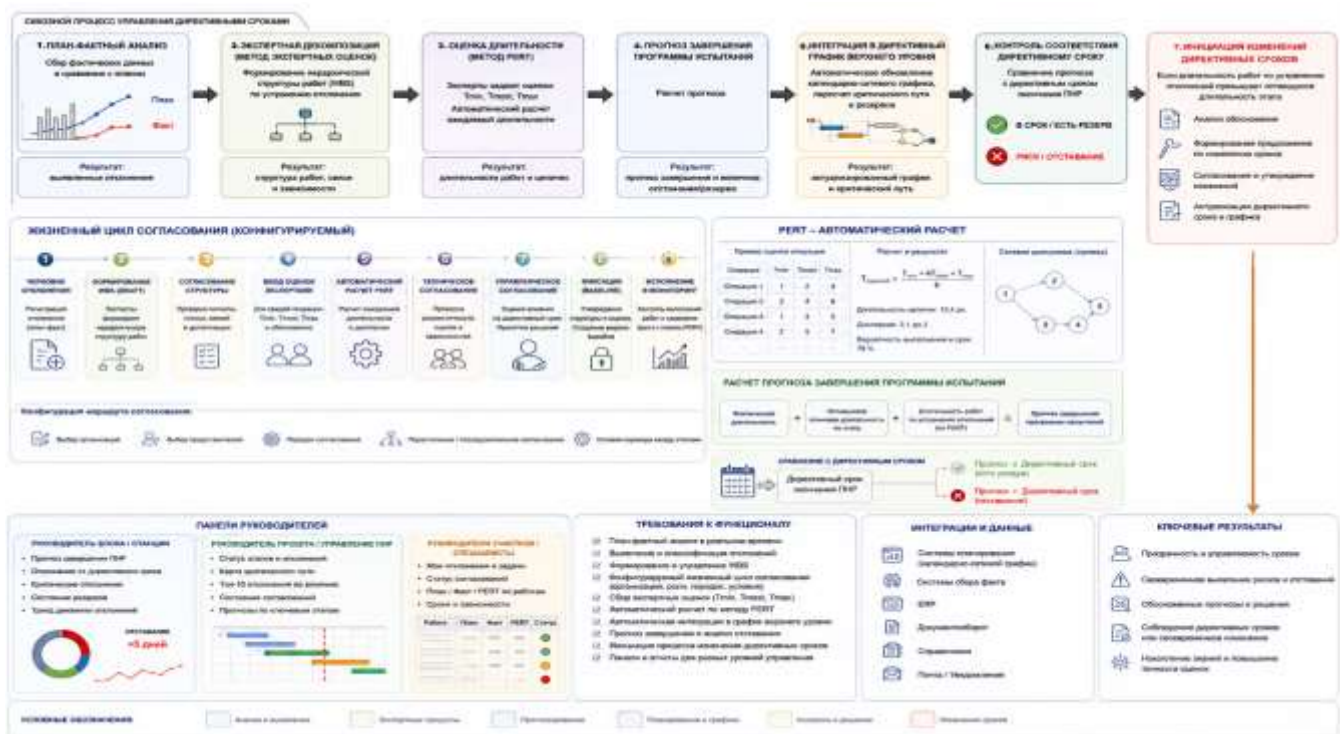


Рисунок 6. Логическая схема автоматизации процесса работ

В рамках модели автоматизации процесса предполагается реализация сквозного процесса, который будет включать: ПФА, оценку отклонения, метод экспертных оценок, метод PERT, прогноз завершения программ испытаний, интеграцию в ДГВУ, оценку на наличие резервов и инициирование изменений при необходимости.

Дополнительно, планируется реализовать трехуровневую панель управления для руководителей разных уровней управления.

Предполагаемая, емкая логическая схема автоматизации процесса управления директивными сроками окончания ПНР представлена на рисунке 6.

IV ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное в рамках настоящей работы исследование показало, что научные изыскания имеют высокий потенциал в различных высокотехнологичных областях. В настоящей работе последовательно разобрано и проанализировано:

1. Проблематика отставания от директивных сроков окончания работ по этапам стадий ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС, ориентировочная стоимость такого отставания в контексте программы сооружения энергоблоков АЭС в РФ до 2042 года. Стоит отметить, что результаты данной работы могут быть применены для зарубежных площадок сооружения АЭС.

3. Основные объекты как этапа предпусковых наладочных работ, так и всей стадии ввода в эксплуатацию энергоблока АЭС. Ключевые принципы формирующие отклонения, которые потенциально уже преобразуются в отставание от директивных сроков окончания работ из-за упущений в процессе, который представлен в форме цикла PDCA.

Определены свойства, которые в меру отсутствия, являются в том числе одной из причин для отставания от директивных сроков окончания ПНР. Эти свойства нашли конкретное отражение в наборе самостоятельных и взаимосвязанных методов, при использовании которых в рамках процесса управления директивными сроками окончания работ возможно взять под контроль причины возникновения факторов, преобразующихся в дальнейшем в отставание от директивных сроков окончания работ.

Имитация работы методов в составе процесса управления директивными сроками окончания работ была проиллюстрирована на соответствующих примерах, что отражает глубокое проникновение методов в текущий процесс и позволяет предполагать высокое положительное воздействие на сокращение отставания от директивных сроков окончания работ.

Представленные методологические тезисы и предложения по автоматизации позволяют продолжить работу по данной теме как на научном, так и на практическом уровнях

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Приказ Ростехнадзора от 17.12.2015 N 522 (ред. от 20.08.2025) "Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций", 48 с.
- [2] Лыкова А.И. «Сравнительный анализ моделей процессной зрелости» // Цифровая экономика и инновации. - 2017. - №3. - С. 69-75. doi: 10.18323/2221-5689-2017-3-69-75.
- [3] Громов А.И. Управление бизнес-процессами: современные методы: монография / А.И. Громов, А. Фляйшман, В. Шмидт; под общей редакцией А.И. Громов. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 367 с.
- [4] Сааков Э.С. Регулирование и оптимизация ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.14.03. - Мытищи, 2008. - 281 с.
- [5] А.Г. Жуков, В.П. Поваров, С.С. Константинов, Д.Б. Стапура, В.Р. Казанский, Д.Г. Мажутов / Ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС-2006. Руководство для организаций и компаний,

- осуществляющих безопасный и эффективный ввод в эксплуатацию энергоблоков атомных электрических станций. – Воронеж: Диамант, 2021. – 291 с.
- [6] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.12.2024 № 4153-р "Об утверждении Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года" 161 с.
- [7] Реинжиниринг бизнес-процессов: учебное пособие. URL: <http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/9028>
- [8] Приказ Госкорпорации "Росатом" от 14.04.2017 N 1/320-П «Об утверждении Единых отраслевых Методических указаний по определению показателя LCOE и предельной стоимости сооружения АЭС в России, обеспечивающей конкурентоспособный уровень показателя LCOE».
- [9] Организация экономического сотрудничества и развития, АЯЭ № 7530 – 2020. Подходы к снижению затрат на сооружение объектов ядерной энергетики. Практическое руководство для стейкхолдеров, [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosatom.ru/upload/docs/Unlocking_educations_in_Construction_Costs_of_Nuclear.pdf (дата обращения: 29.01.2026).
- [10] International Atomic Energy Agency Safety Standards, "Commissioning for Nuclear Power Plants" Specific Safety Guide, No. SSG-28, Vienna, 2014. 134 с.
- [11] International Atomic Energy Agency, SSR-2/2 "Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation", 71 с.
- [12] Моделирование бизнес-процессов: учебник и практику для вузов / О.И. Долганова, Е.В. Виноградова, А.М. Лобанова; под общей редакцией О.И. Долгановой. – Москва: Издательство Юрайт, 2020 -289 с.
- [13] Андрушечко С. А. и др. "АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта" / С. А. Андрушечко, А. М. Афров, Б. Ю. Васильев, В. Н. Генералов, К. Б. Косоуров, Ю. М. Семченков, В. Ф. Украинцев. - М.: Логос, 2010. 604 с.
- [14] Министерство энергетики и электрификации СССР, Отраслевой стандарт ОСТ 34-37-800-85. Пусконаладочные работы на атомных станциях с водо-водяными энергетическими реакторами. техническая документация. Требования к содержанию документа, "Программа и методика испытаний", [Электронный ресурс]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/8e6/4293795586.pdf> (дата обращения: 26.04.2026).
- [15] ГОСТ Р ИСО 21500-2014. Руководство по проектному менеджменту. – Введено в в действие: 26.11.2014. 45 с .

Статья получена 10 июля 2026 г.

С.Л. Литвин - магистрант Высшей инженеринговой школы НИЯУ МИФИ (antisfen1@yandex.ru);

М. Г. Жабицкий - заместитель директора Высшей инженеринговой школы НИЯУ МИФИ (e-mail: jabitsky@mail.ru);

А. А. Хан - директор по цифровизации АО «АСЭ» (e-mail: arina.suffi@yandex.ru);

Process Reengineering and Automation as a Basis for Reducing Delays Against the Directive Commissioning Deadlines for Nuclear Power Units in the Russian Federation

S.L. Litvin, M.G. Zhabitskii, A.A. Khan

Abstract - This paper addresses the problem of delays in meeting the directive deadlines for completing pre-commissioning activities during the commissioning stage of a nuclear power unit. The study demonstrates that this problem originates from the complexity of coordinating the management of key engineering objects that simultaneously participate in multiple interrelated processes, as well as from the lack of integrated tools capable of combining these objects into a unified process for managing the directive completion deadlines of pre-commissioning activities. The resulting fragmentation significantly limits the possibilities for process automation and, consequently, leads to delays in managerial decision-making. The research formulates a hypothesis for managing the directive deadlines of pre-commissioning activities at nuclear power units and proposes a logical model for automating the corresponding management process.

Keywords - pre-commissioning activities, process management, schedule delays, project schedule, life cycle, nuclear power unit, nuclear power plant.

REFERENCES

- [1] Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (Rostekhnadzor). Order No. 522 of December 17, 2015 (as amended on August 20, 2025), "General Safety Provisions for Nuclear Power Plants". Federal Rules and Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Moscow, 2015. 48 p.
- [2] A. I. Lykova, "Comparative Analysis of Process Maturity Models," Digital Economy and Innovations, no. 3, pp. 69–75, 2017. doi:10.18323/2221-5689-2017-3-69-75.
- [3] A. I. Gromov, A. Flyaishman, and V. Shmidt, Business Process Management: Modern Methods. A. I. Gromov, Ed. Moscow: Yurait Publishing, 2020. 367 p.
- [4] E. S. Saakov, Regulation and Optimization of Nuclear Power Unit Commissioning. D.Sc. dissertation, specialty 05.14.03, Mytishchi, Russia, 2008. 281 p.
- [5] A. G. Zhukov, V. P. Povarov, S. S. Konstantinov, D. B. Statsura, V. R. Kazanskii, and D. G. Mazhutov, Commissioning of AES-2006 Nuclear Power Units. A Guide for Organizations and Companies Performing Safe and Efficient Commissioning of Nuclear Power Plant Units. Voronezh: Diamant, 2021. 291 p.
- [6] Government of the Russian Federation. Executive Order No. 4153-r of December 30, 2024 "On Approval of the General Scheme for the Development of Electric Power Facilities through 2042". Moscow, 2024. 161 p.
- [7] Business Process Reengineering: Textbook. [Online]. Available: <http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/9028>
- [8] Rosatom State Corporation. Order No. 1/320-P of April 14, 2017 "Unified Industry Guidelines for Determining the LCOE Indicator and the Maximum Construction Cost of Nuclear Power Plants in Russia Ensuring a Competitive LCOE Level".
- [9] OECD Nuclear Energy Agency, Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders, NEA No. 7530, 2020. [Online]. Available: https://www.rosatom.ru/upload/docs/Unlocking_reductions_in_Construction_Costs_of_Nuclear.pdf (accessed Jan. 29, 2026).
- [10] International Atomic Energy Agency, Commissioning for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series, Specific Safety Guide No. SSG-28. Vienna: IAEA, 2014. 134 p.
- [11] International Atomic Energy Agency, Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/2. Vienna: IAEA.
- [12] O. I. Dolganova, E. V. Vinogradova, and A. M. Lobanova, Business Process Modeling: Textbook and Practical Course for Higher Education Institutions. O. I. Dolganova, Ed. Moscow: Yurait Publishing, 2020. 289 p.
- [13] S. A. Andrushechko, A. M. Afrov, B. Yu. Vasiliev, V. N. Generalov, K. B. Kosourov, Yu. M. Semchenkov, and V. F. Ukraintsev, VVER-1000 Nuclear Power Plants: From the Physical Principles of Operation to Project Evolution. Moscow: Logos, 2010. 604 p.
- [14] Ministry of Energy and Electrification of the USSR. Industry Standard OST 34-37-800-85. Pre-Commissioning Activities at Nuclear Power Plants with VVER Reactors. Technical Documentation. Requirements for the "Test Program and Procedure" Document. [Online]. Available: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/8e6/4293795586.pdf> (accessed Apr. 26, 2026).
- [15] GOST R ISO 21500–2014. Guidance on Project Management. Moscow: Standartinform, 2014. 45 p.