

На правах рукописи



Савенков Андрей Николаевич

**МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ИНЖИНИРИНГЕ
ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

2.1.7 Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Научный руководитель:

кандидат технических наук
Макаров Александр Николаевич

Официальные оппоненты:

Мухаметзянов Зинур Ришатович –
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет», кафедра
«Автомобильные дороги, мосты и
транспортные сооружения», профессор

Бовтеев Сергей Владимирович -
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный архитектурно -
строительный университет», кафедра
«Организация строительства», доцент

Ведущая организация:

**ФГБОУ ВО «Донской
государственный технический
университет»**

Защита состоится 06 июня 2024 г. в 11:00 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, студия 9 «Открытая сеть».

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» и на сайте www.mgsu.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь



Коротеев Дмитрий Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Фактическое время на ввод в эксплуатацию энергоблоков АЭС в России в значительной степени превышают директивные сроки предусматривающийся проектной документацией (~460 суток от момента подачи напряжения на собственные нужды) и составили для энергоблоков Ростовской, Балаковской и Калининской АЭС в среднем 740 суток.

Недостатки в организации труда и производства, а также возникновение рисков в строительстве приводят к значительным потерям рабочего времени, а также в ряде случаев к его непроизводительному использованию.

В настоящее время нормы продолжительности строительства АЭС предусмотрены в СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений», которым установлена продолжительность строительства АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Указанный СНиП 1.04.03-85* принят в апреле 1985 года, спустя всего лишь год - в апреле 1986 произошла самая масштабная авария в истории атомной энергетики.

В результате деятельности МАГАТЭ требования в сфере безопасности, устанавливаемые отечественными регламентирующими нормативами и международными требованиями МАГАТЭ, регулярно дополняются, уточняются и ужесточаются.

Таким образом нормативы продолжительности проведения пусконаладочных работ (ПНР) при строительстве энергоблоков атомных станций установленные в 1985 году не соответствуют современным требованиям и разрабатывались для строительства АЭС с устаревшими и не применяемыми к настоящему времени проектами реакторных установок.

Продолжительность работ по вводу энергоблока АЭС в эксплуатацию определяется как правило проектным (нормативным) графиком, устанавливающим время, необходимое для выполнения ПНР на системах и оборудовании АЭС. При этом график не учитывает риски увеличения продолжительности работ из-за задержек, связанных со срывом сроков поставки оборудования и материалов, с незавершенностью строительно-монтажных работ в необходимые сроки, с выявлением и необходимостью безотлагательного устранения несоответствий проекта, изготовления, строительства и монтажа, прямо или косвенно влияющих на безопасность, качество и цели выполнения работ, а также функционирование систем и оборудования АЭС в соответствии с проектом. По указанным причинам реальные сроки выполнения работ по вводу энергоблока в эксплуатацию, как правило, превышают нормативные. При планировании ПНР риски и вероятность их возникновения не учитываются, а графики ПНР корректируются в процессе инжиниринга уже по факту случившихся событий.

Качественное планирование сроков ПНР с учетом оценки и минимизации технических рисков, позволит обеспечить эффективность капитальных вложений при строительстве АЭС. Необходимость решения указанной проблемы в настоящее время остро ощущается при проектировании и строительстве современных энергоблоков АЭС (ВВЭР-1200 и ВВЭР ТОИ).

Степень разработанности темы исследования. Методы планирования, технического нормирования, системного анализа, теории вероятности, статистики и обработки результатов экспертных оценок были исследованы в трудах Лapidуса А.А., Олейника П. П., Ширшикова Б.Ф., Морозенко А.А., Мухаметзянова З.Р., Бовтеева С.В., Воронкова И.Е., Кузьмина Н.Ю., Синенко С.А., Шрейбера А.К., Киевского Л.В., Казаряна Р.Р., Фахратова М.А., Король Е.А., Грабового П.Г., Саакова Э.С., Рясного С.И. и др.

Цель исследования - разработка методики планирования пусконаладочных работ при инжиниринге в строительстве АЭС с учетом влияния рисков.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. изучение и анализ планирования ПНР узловым методом при строительстве АЭС;
2. разработка форм сбора информации для нормирования процессов и расчет норм времени;
3. идентификация и кодификация наиболее влияющих на ПНР рисков;
4. разработка модели расчета продолжительности ПНР с учетом влияния рисков;
5. разработка методики планирования ПНР;
6. практическая апробация и внедрение, анализ результатов исследования и формирование выводов.

Объект исследования - комплекс работ завершающего этапа строительства атомной электростанции, обеспечивающий их надежную и безопасную эксплуатацию и достижение установленных проектом технико-экономических показателей.

Предмет исследования – процессы планирования ПНР при инжиниринге в строительстве АЭС.

Научно-техническая гипотеза заключается в предположении возможности совершенствования системы планирования ПНР на основании определения норм времени и оценки возникающих рисков с реализацией мероприятий по их минимизации.

Методология и методы исследования

Методологической базой исследования послужили работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области организации, технологии и инжиниринга ПНР, планирования и расчета продолжительности работ, а также методы организационно-технологического моделирования, технического нормирования, классического системного анализа, статистики, элементы численного анализа и математической обработки результатов, метод экспертных оценок и теории вероятности (рисунок 1).

Научная новизна исследования состоит в следующем:

- разработана модель определения продолжительности ПНР на основании адаптированной технологии нормирования и оценки наиболее значимых рисков;
- разработана методика планирования ПНР на АЭС в условиях возникновения технических рисков на основании предложенной модели и

комплекса мер по снижению рисков.

Теоретическая значимость работы:

- разработанная методика и предложения могут стать основой для отраслевых (корпоративных) нормативов на ПНР при строительстве АЭС;
- методика позволит составлять график производства работ в части ПНР с учетом влияния рисков;
- создана основа для систематизации и классификации рисков при проведении ПНР на АЭС, возможность их дальнейшего учета при планировании и управления ими.

Практическая значимость работы:

Сформирован инструмент поддержки принятия эффективных решений при строительстве АЭС, включая актуализацию графиков ПНР на завершающей стадии строительства.

Качественное планирование сроков, позволит осуществлять ввод объекта в эксплуатацию обеспечивая эффективность капитальных вложений и снижение затрат.

Внедрение инновационных методов управления рисками при инжиниринге ПНР, направленных на безусловное обеспечение безопасности, качества и надежности при вводе энергоблока в эксплуатацию, реализацию наиболее оптимальных схем взаимодействия участников строительства, сокращение сроков выполнения работ по вводу энергоблоков в эксплуатацию.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технология сбора и анализа информации для нормирования процессов при инжиниринге ПНР на АЭС, а также расчета норм времени;
- перечень наиболее значимых рисков при инжиниринге ПНР на АЭС, в том числе факторы наступления, вид ущерба и их кодификация;
- результаты расчета степени воздействия рисков с учетом вероятности возникновения и влияния на продолжительность ПНР;
- методика планирования ПНР на АЭС с учетом влияния рисков.

Степень достоверности и апробации результатов

- результаты исследования апробированы на международных и всероссийских конференциях;
- соблюдением условий репрезентативности при формировании экспертной группы и массива исходных данных для статистических расчетов;
- использованием в исследованиях исполнительной документации строительства энергоблоков Белорусской, Курской и Ленинградской атомных станций, а также информационных источников АО «Атомтехэнерго» являющегося российским лидером в области организации, управления и выполнения ввода АЭС в эксплуатацию и по сути уникальным предприятием, специализирующимся на выполнении всего комплекса ПНР на АЭС в России и за рубежом, а также отдельных ученых и специалистов;
- подтверждением положений методики планирования при инжиниринге ПНР при ее внедрении на объекте строительства Белорусская АЭС (акт о внедрении результатов кандидатской диссертации утвержденный

АО «Атомтехэнерго»).

Апробация результатов научных исследований. Результаты исследований докладывались на конференциях:

- 78-й Всероссийской научно-технической конференции «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре»;
- международной научной конференции «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering»;
- 79-й Всероссийской научно-технической конференции «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре»;
- Всероссийский инженерный конкурс.

Личный вклад автора состоит:

- в формировании технологии сбора и анализа информации для нормирования процессов при инжиниринге ПНР на АЭС;
- в разработке формул для расчета норм времени и продолжительности ПНР;
- в определении перечня наиболее значимых рисков при инжиниринге ПНР на АЭС, в том числе факторов наступления, вида ущерба и их классификации;
- в проведении расчета степени воздействия рисков с учетом вероятности возникновения и влияния на продолжительность ПНР;
- в подготовке комплекса мер по совершенствованию планирования при инжиниринге ПНР на АЭС и управлению рискам;
- в разработке методики планирования ПНР на АЭС с учетом рисков.

Публикации

Результаты научного исследования представлены в 8 работах, из них 3 - работы в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», 2 работы опубликованы в журналах, включенных в базу данных SCOPUS, 3 работы опубликованы в других научных журналах и изданиях.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.1.7 «Технология и организация строительства» по пунктам 8 и 17:

п. 8. Разработка принципов организации строительства сложных и уникальных объектов, развитие поточных методов, применение сетевых и других моделей, совершенствование **методов календарного планирования**;

п. 17. Разработка методов и средств организации строительного производства **в условиях** технических и экономических **рисков** и неопределенностей.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря принятых терминов, двух приложений на 169 страницах, списка используемых источников из 199 наименований, 35 рисунков и 22 таблиц.

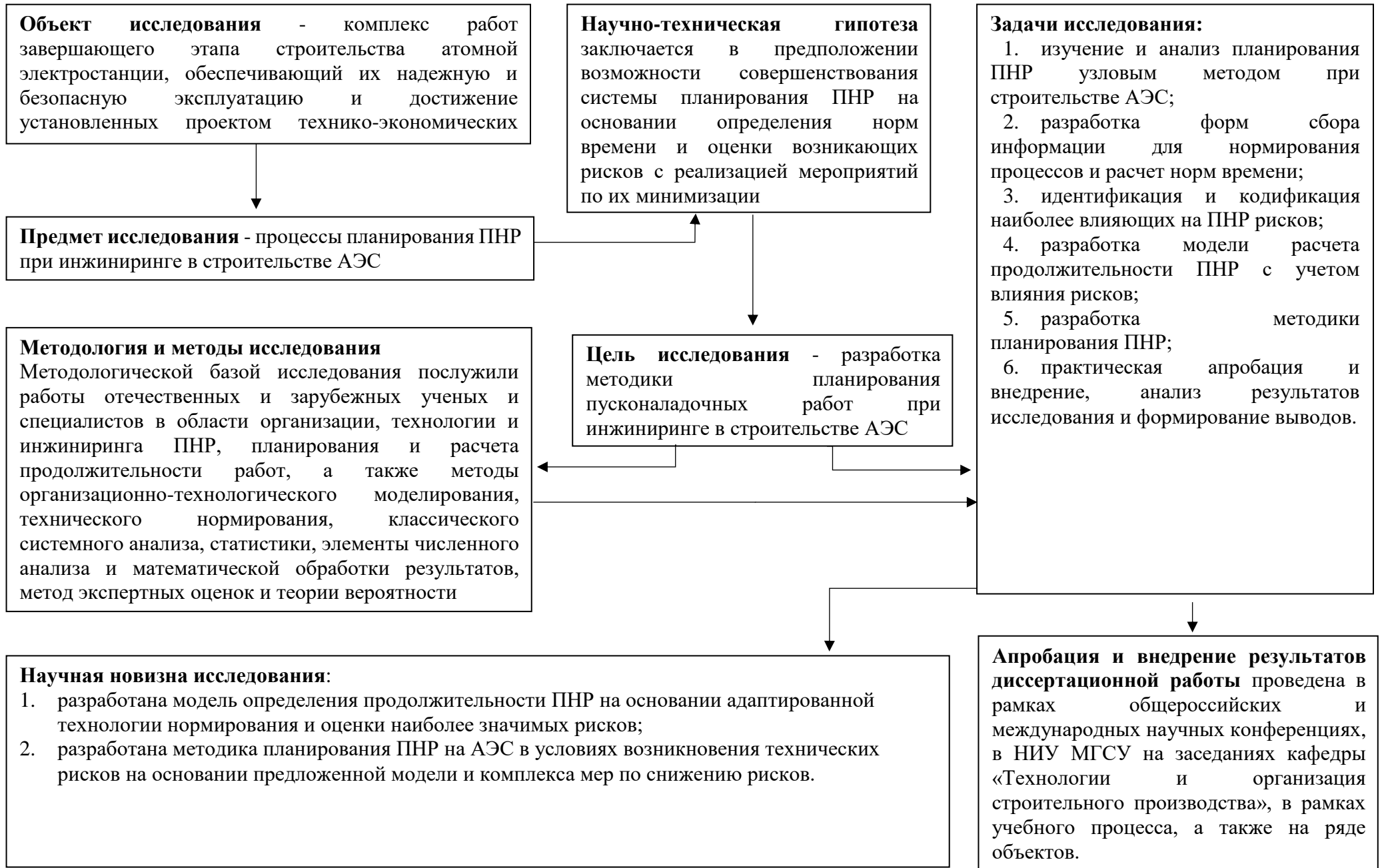


Рисунок 1. Методологическая схема исследования

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы. Сформулирована цель работы и основные задачи. Приведено краткое описание содержания глав диссертации.

В первой главе содержится анализ организационно-технологических особенностей проведения ПНР при строительстве АЭС. Выявлены основные подходы и принципы производства, а также основные этапы и виды работ. Проведенный анализ показал, что определение продолжительности и трудоемкости ПНР является сложной и ответственной задачей, что характеризуется спецификой и особенностями содержания труда специалистов наладчиков. На работу специалистов наладчиков большое влияние оказывает вероятностный фактор, поскольку основным трудоемким элементом при выполнении работ является установление причин, вызывающих отклонения параметров технологических процессов от проектных значений, отказов в работе отдельных машин, агрегатов, автоматизированных и поточных линий, систем управления и инженерного обеспечения. Поиск указанных причин ведется практически в условиях неопределённости.

В тоже время анализ нормативной и технической литературы, показывает, что при научном обосновании норм труда как правило применяется несколько методических приемов, позволяющих выделить технические, технологические, организационные стороны производства при проектировании норм и определить оптимальные организационно-технологические схемы с учетом накопленного опыта исполнителей работ показывающих наибольшую эффективность труда и качество. Представляется целесообразным использование опытно-статистических и расчетно-аналитических методов при проектировании норм труда на пусконаладочные работы. Таким образом возможно сформировать адекватную и результативную систему организации ПНР на объектах атомной энергетики, включающую в себя такие элементы как нормирование, планирование и оперативно-производственный контроллинг.

Кроме того, исследования показали, что фактическая продолжительность ПНР на энергоблоках АЭС имеет большую зависимость от степени реализации рисков, а также возможности управления ими.

Анализ норм продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений, предусмотренных СНиП 1.04.03-85* показал, что они устанавливают продолжительность строительства атомных электростанций (АЭС) с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000. При этом продолжительность основных этапов: предпусковые наладочные работы (этап А), физический пуск (этап Б), энергетический пуск (этап В), опытно-промышленная эксплуатация (этап Г) не приведена.

В настоящее время современные энергоблоки проектируются и строятся на базе эволюционного реактора ВВЭР-1200 значительно улучшенным по отношению к ВВЭР-1000 в части ряда дополнительных систем безопасности, позволяющих

снизить вероятность выхода радиации при любых авариях и их сочетаниях за пределы герметичного реакторного отделения – контейнента.

Таким образом, необходим более совершенный механизм планирования.

Значительным вкладом в проблематику рисков при строительстве ОИАЭ являются предложенные Морозенко А.А. типовые мероприятия по управлению рисками на прединвестиционной, инвестиционной и постинвестиционной стадии проекта, при этом для стадии выполнения ПНР полагается целесообразным выработка более детального классификатора рисков и выработка узконаправленных мероприятий по их минимизации.

Во второй главе приведена методология сбора и анализа информации для нормирования процессов, расчета норм времени, статистической обработки результатов, оценки и расчета рисков, календарного планирования и расчета продолжительности работ.

Методология сбора и анализа информации для нормирования

При проектировании проектов производственных норм на ПНР должны быть определены исчерпывающие характеристики нормируемого процесса, установлены полнота и ясность описания нормали процесса, подобраны целесообразные формы построения норм и таблиц нормативных показателей, проведена оценка полноты и ясности формулировки условий применения норм.

Общая продолжительность работ по вводу первого в составе 2-х блочной АЭС энергоблока составляет порядка 4 лет и для сокращения трудоемкости и общего объема нормативно-исследовательской работы видится целесообразным раскладывать номенклатуру оборудования на узлы, аппараты, небольшие автономные схемы и т.п. И в дальнейшем выделять из них типовые линии, аппараты, схемы в которые входят типовые узлы. В таком случае нормаль процесса можно запроектировать на типовые крупные схемы с выделением в них типовых элементов, на которые в последующем разработать нормативы затрат.

Укрупненные отраслевые нормы (УОН) необходимо разрабатывать на единицы конечной продукции комплексных процессов наладки или на узел, блок и т. д. при выполнении ПНР.

Методология нормирования ПНР

УОН должны включать в себя затраты труда (времени) на: основные, сопутствующие и подсобно-вспомогательные работы.

Основным методом разработки УОН видится метод калькулирования, предполагающий подбор, анализ и синтез технически обоснованных норм по рабочим процессам из которых состоит исследуемый и нормируемый комплекс работ, с установлением укрупненной нормы на единицу конечно продукции основного в данном комплексе вида работ.

Анализ инжиниринговой схемы организации ПНР показал специфический характер данных работ. Прежде всего это большая доля интеллектуальных затрат, обусловленная наукоемким технологическим оборудованием, сложными инженерными сетями и системами.

Методология анализа и оценки рисков

Основные этапы и принципы методики оценки рисков приведены на рисунке

2.

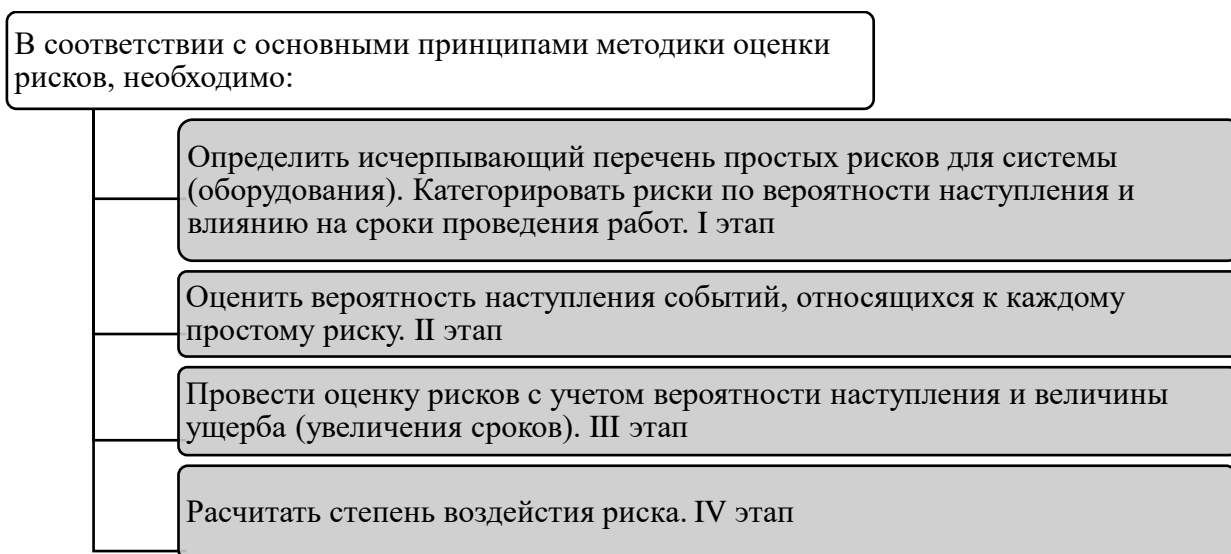


Рисунок 2. Основные этапы оценки рисков

Степень воздействия риска рассчитывается перемножением вероятности наступления рискового события на коэффициент величины ущерба (удлинения срока ПНР) от его наступления:

$$M = P \times \frac{I}{100}, \quad (1)$$

где M – степень воздействия рисков; P – вероятность возникновения рисков, в соответствии с классификацией (в долях единицы); I – величина потерь, в соответствии с классификацией.

Согласно ГОСТ Р 58771-2019¹ основой для принятия решений по оценке рисков служат выбор способа анализа риска, понимание результатов, которые необходимо получить от анализа и выбор наиболее подходящих для использования технологий оценки.

В проводимых исследованиях за основу были приняты для определения рисков метод Делфи, а для оценки рисков методы экспертного опроса и структурированного интервью, на основе разработанных в процессе исследования анкет. Для проведения экспертной оценки были привлечены пять экспертов, являющихся сотрудниками АО «Атомтехэнерго» и специалистами по проведению ПНР на АЭС.

Календарное планирование

Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным для календарного планирования ПНР является линейный календарный график (диаграмма Ганта), представляющий собой таблицу «работы-время», в которой продолжительность работ изображается графически в виде горизонтальных

¹ ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска

отрезков, соизмеримых с продолжительностью работ в днях.

Одним из решений данной задачи является разработка и внедрение в опытную эксплуатацию информационной системы ТСМ НС — системы комплексного управления стоимостью и сроками строительства АЭС.

Важным элементом системы управления проектом является календарно-сетевой график. Учитывая большое количество систем и оборудования подвергающихся пуско-наладке для качественного планирования ПНР должна использоваться система взаимосвязанных между собой календарно-сетевых графиков разного уровня детализации, обеспечивающая взаимосвязь долгосрочных планов с краткосрочными, а в целях снижения рисков возникающих при строительстве АЭС применяться иерархическая структура работ.

В этом методе организации строительства и производства работ выполняется декомпозиция работ от общеплощадочных, строительных или технологических узлов до подузлов i -го уровня, что аналогично декомпозиции в Work Breakdown System (WBS) до пакетов работ.

Составной частью схемы разбивки на узлы является перечень и состав узлов, содержащий информацию по объему работ и трудоемкости.

Применение WBS и узлового метода при организации ПНР позволяет качественно планировать и координировать работу всех участников в пределах узла и по комплексу в целом, концентрировать ресурсы на главных направлениях, обеспечивая таким образом, максимально возможное совмещение работ.

Третья глава посвящена методике планирования ПНР, основанной на сборе необходимой информации, расчете норм времени расчетно-аналитическим методом, кодификации рисков, их оценке и учету при определении продолжительности работ.

Нормы затрат труда пусконаладочного персонала предлагается рассчитывать по формуле:

$$N_{зт} = T_{вр} \sum_i^n Z_{пi} K_{туi}, \quad (2)$$

где $N_{зт}$ (чел.-ч) – норма затрат труда пусконаладочного персонала на измеритель работы (элемента процесса);

$T_{вр}$ (час) – затраты времени на измеритель работы (элемента процесса);

$Z_{п}$ (чел) – количество пусконаладочного персонала одной квалификации;

$K_{ту}$ – коэффициент участия пусконаладочного персонала одной квалификации учитывающий параллельное выполнение работ по наладке отдельных систем (оборудования).

$T_{вр}$ определяется по формуле:

$$T_{вр} = \frac{T}{V}, \quad (3)$$

где

T (час/измеритель) – продолжительность работы (элемента процесса),

V – объем выполненных работ где измерителем могут выступать количество

оборудования, систем, узлов и т.п.

Нормы затрат труда для каждой квалификации пусконаладочного персонала на измеритель работы (элемента процесса) определяются по формуле:

$$N_{зТ_n} = T_{вр} Z_{п_n} K_{ту_n}, \quad (4)$$

В связи с тем, что при планировании ПНР необходимо учитывать влияние возникающих дефектов и несоответствий полагается целесообразным в целях обеспечения сбора статистики и дальнейшей обработки принимать их основными статистическими показателями.

Для возможности систематизации работы по сбору информации о возникающих рисках при ПНР (дефекты, отказы, несоответствия), был разработан кодификатор рисков, приведенный в таблице 1. Учитывая, что есть риски, при которых необходимо привлечение инженеров наладчиков, кодификация учитывает данный тип фактора («N» - имеется необходимость или «O» - отсутствует необходимость). Ниже на рисунке 3 приведен пример кодирования риска.

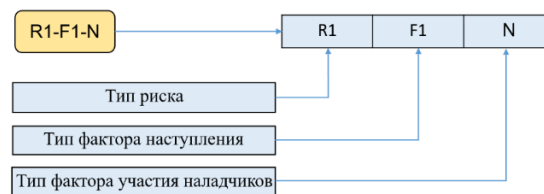


Рисунок 3. Пример кодирования риска

Необходимо отметить, что кодирование рисков создает возможность ведения базы данных рисков, сбора статистики в целях дальнейшего анализа и выработки мероприятий по их исключению. Таким образом может быть сформирован инструмент по управлению рисками при инжиниринге ПНР.

Таблица 1. Кодификатор основных рисков, оказываемых влияние на продолжительность ПНР

№ п/п	Тип риска	Предполагаемый риск	Тип фактора	Фактор наступления	Тип фактора участия наладчиков	Фактор привлечения инженеров наладчиков	Код риска
1	R1	Необходимость корректировки утвержденных Программ ПНР	F1	Неполная готовность смежных систем или испытываемого оборудования	N	Имеется	R1-F1-N
			F2	Изменения алгоритмов работы оборудования, введение новых	N	Имеется	R1-F2-N
2	R2	Несоответствия (ошибки) при монтаже оборудования	F3	Несоответствия (ошибки) при монтаже оборудования (не соблюдение требований документации)	O	Отсутствует	R2-F3-O
					N	Имеется	R2-F3-N
			F4	Отсутствие детального контроля при монтаже в силу не опытности и отсутствии достаточной квалификации персонала, выполняющего монтажные работы	O	Отсутствует	R2-F4-O
					N	Имеется	R2-F4-N
3	R3	Простои по причинам выявленных в процессе ПНР заводских дефектов	F5	Отсутствие Представителя завода-изготовителя на площадке АЭС	O	Отсутствует	R3-F5-O
			F6	Дополнительное время на устранение дефектов	O	Отсутствует	R3-F6-O
4	R4	Простои по причинам выявленных в процессе ПНР проектных несоответствий	F7	Затяжной процесс внесения изменений в проектную документацию	O	Отсутствует	R4-F7-O
			F8	Отсутствие необходимых материалов/приборов для реализации новых проектных решений (длительный новый процесс закупки требуемых материалов/приборов)	O	Отсутствует	R4-F8-O
5	R5	Не достижение критериев испытаний во время производства ПНР	F9	Скрытый дефект оборудования, проекта (не соответствие оборудование заявленным характеристикам, неработоспособность оборудования в условиях проекта)	O	Отсутствует	R5-F9-O
					N	Имеется	R5-F9-N
			F10	Качество разрабатываемой пусконаладочной документации (без учета требований со стороны заводской и проектной документации)	O	Отсутствует	R5-F10-O
					N	Имеется	R5-F10-N
6	R6	Повторное выполнение ранее выполненных ПНР после устранения замечаний.	F11	Повторение ПНР после установки штатного оборудования (взамен временного)	N	Имеется	R6-F11-N
			F12	Повторение ПНР после изменений установок защит и блокировок работы технологического оборудования	N	Имеется	R6-F12-N
			F13	Повторение ПНР после устранения заводских дефектов	N	Имеется	R6-F13-N

В рамках проводимых исследований путем экспертного опроса и структурированного интервью, на основе разработанных в процессе исследований анкет была проведена экспертная оценка возникающих рисков при ПНР по вероятности их наступления и влиянию на продолжительность ПНР. Результаты оценки приведены на рисунках 4 и 5.

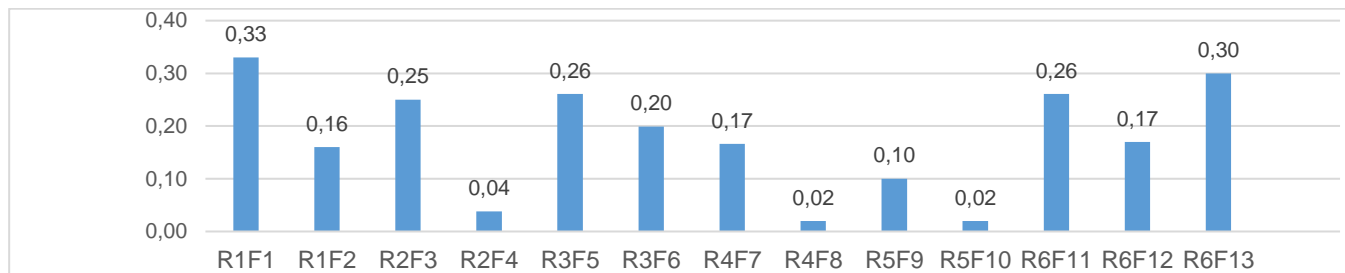


Рисунок 4. Вероятность возникновения рисков, P

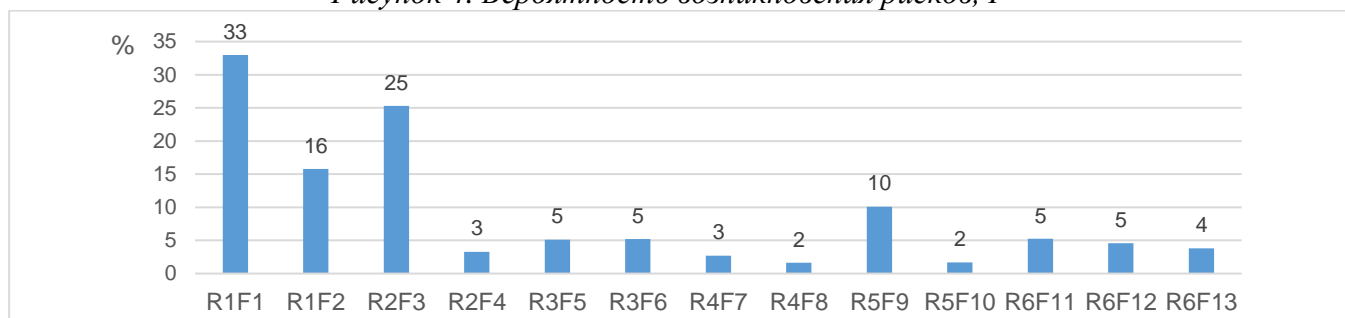


Рисунок 5. Влияние рисков на продолжительность ПНР, I

Проведенная оценка позволила определить степень воздействия рисков, выраженную в виде коэффициентов, указанных на рисунке 6.

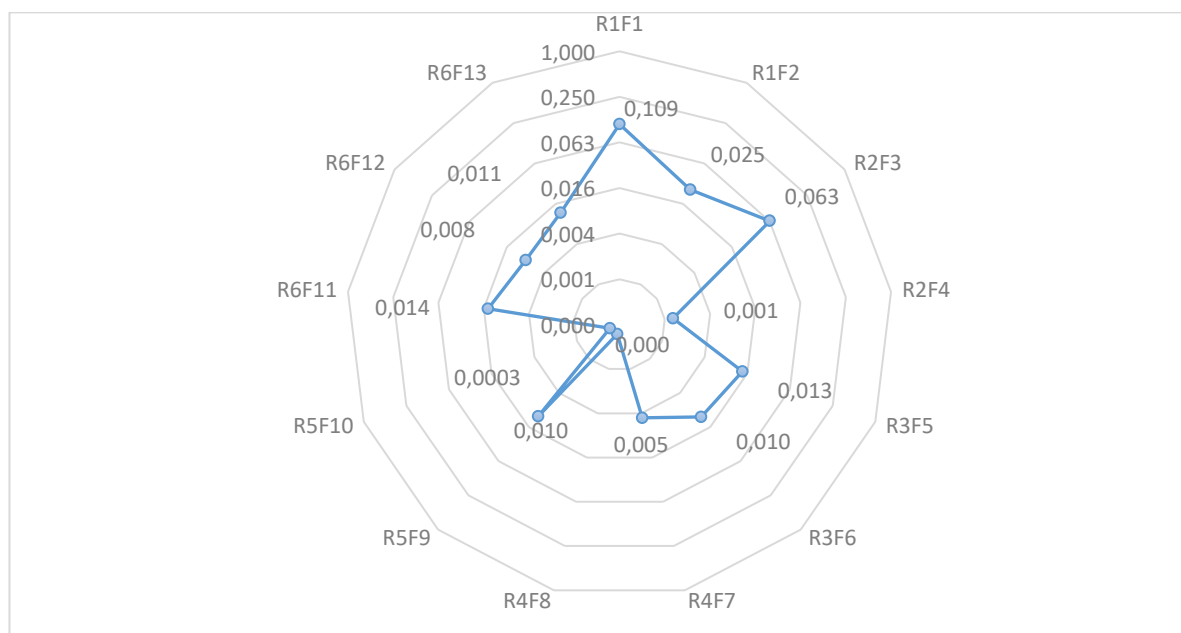


Рисунок 6. Степень воздействия рисков на ПНР, M

Для возможности планирования ПНР предложена формула определения нормы затрат труда пусконаладочного персонала на устранение дефектов (отказов) связанных с рисками:

$$N_{уд} = N_{зт} M, \quad (5)$$

где $N_{уд}$ (чел.-ч) – норма затрат труда пусконаладочного персонала по устранению дефектов на измеритель работы (элемента процесса).

Ожидаемая продолжительность наладки системы $T_{\text{сис}}$, (дней) с учетом неопределенности (вероятности возникновения рисков) определяется по формуле:

$$T_{\text{сис}} = \frac{N_{\text{зт}} + \sum_i^8 N_{\text{зт}} M_i}{\sum Z_{\text{п}} T_{\text{см}}}, \quad (6)$$

$T_{\text{см}}$ (час) - продолжительность рабочей смены.

В рамках проводимых исследований для рисков, которые были определены и оценены в части влияния на продолжительность, разработана формула ожидаемой продолжительности, с учетом рассчитанных коэффициентов:

$$T_{\text{сис}} = \frac{N_{\text{зт}} + 0,11N_{\text{зт}} + 0,03N_{\text{зт}} + 0,063N_{\text{зт}} + 0,013N_{\text{зт}} + 0,01N_{\text{зт}} + 0,01N_{\text{зт}} + 0,014N_{\text{зт}} + 0,011N_{\text{зт}}}{\sum Z_{\text{п}} \times T_{\text{см}}}, \quad (7)$$

Общая ожидаемая продолжительность ПНР (этапа ПНР) определяется по формуле:

$$T_{\text{общ}} = \sum_i^n T_{\text{сис}_i} K_{\text{сов}} K_{\text{см}}, \quad (8)$$

N – количество систем, $K_{\text{сов}}$ – коэффициент совмещения при параллельном выполнении работ, $K_{\text{см}}$ - коэффициент сменности.

Укрупненная блок-схема методики планирования приведена на рисунке 7.

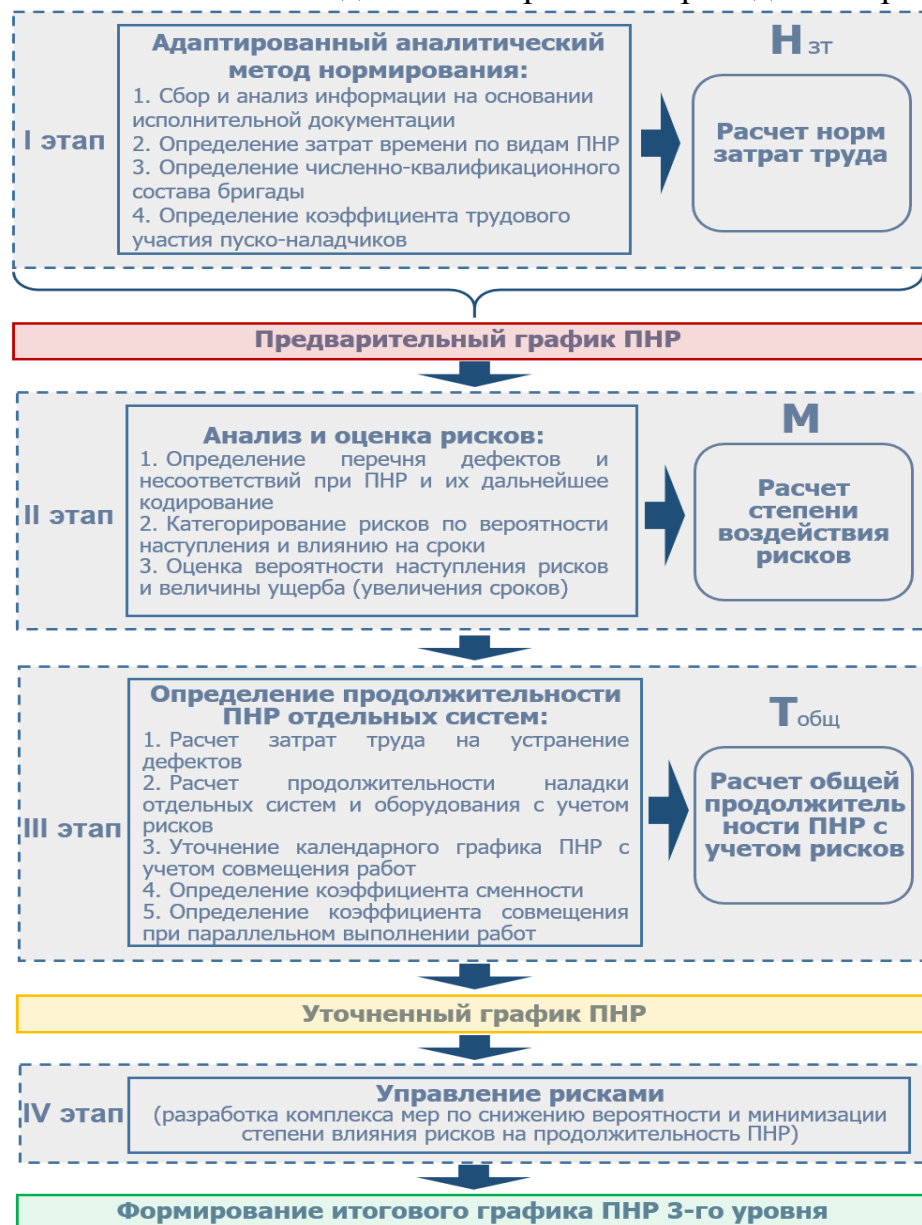


Рисунок 7. Блок-схема методики планирования ПНР

На первом этапе определяется трудоемкость ПНР для отдельного оборудования (систем) или этапа.

Указанный этап предполагает два основных шага:

1. сбор и анализ информации для нормирования. Подробная методология сбора исходных данных приведена в разделе 2.2 второй главы диссертации;
2. расчет норм затрат труда пусконаладочного персонала. На данном этапе определяются нормы затрат труда пусконаладочного персонала, формируется сводка затрат труда, определяются трудоёмкость ПНР и численно квалификационный состав бригады наладчиков.

По итогам первого этапа могут быть при необходимости сформированы предварительные календарные графики (первый вспомогательный под-этап).

На втором этапе проводится оценка влияния рисков, возникающих при ПНР, в том числе на сроки.

Данный этап предполагает 4 шага:

1. Определение исчерпывающего перечня простых рисков для системы (оборудования), их классификацию и кодирование. В рамках проводимых исследований разработан классификатор рисков и система их кодирования. Также предложены методологические подходы по систематизации информации о рисках, и рекомендации по структуре баз данных и необходимым атрибутам.

2. Проведение оценки вероятности наступления событий, относящихся к каждому риску.

3. Проведение оценки ущерба от риска, путем «взвешивания» по величине удлинения относительно сроков проведения ПНР.

4. Расчет степени воздействия каждого риска с учетом вероятности наступления и величины ущерба.

Подробный алгоритм указанного этапа представлен в разделе 2.4 диссертации.

Третий этап методики предполагает определение ожидаемой продолжительности наладки системы с учетом неопределенности (вероятности возникновения рисков) и подробно представлен в разделе 3.3 диссертации.

По итогам указанного этапа формируется уточненный календарный график (второй вспомогательный этап).

На четвертом этапе проводится анализ рисков и разрабатывается комплекс мер по их снижению.

Пятый завершающий этап методики с учетом комплекса мер по минимизации рисков предполагает определение объективных сроков проведения работ и формирование графиков ПНР 3-го уровня.

По итогам проработки возможных рисков и факторов наступления выработан комплекс мер по их снижению или исключению в рамках инжиниринга.

В четвертой главе представлено внедрение результатов исследования и апробация методики планирования на Белорусской АЭС (машина перегрузочная на энергоблоках №1 и №2 – МП1 и МП2).

На основании информации собранной с применением разработанной формы протокола учета рабочего времени определены трудозатраты (таблица 2) и

проектные сроки ПНР.

Таблица 2. Сводка затрат труда

№	Наименование этапов ПНР	Н _{зт} , чел.-ч.	∑З _п , чел.	%
1	Подготовительные работы	4102	12	47
1.1	Организационная и инженерная подготовка работы (разработка программы ПНР)	2560		29
1.2	Работы на завершающей стадии монтажа	1542		18
2	Функциональные испытания	2458		28
3	Комплексное опробование	1258		14
4	Разработка отчетной документации	864		10
	Всего:	8681		100

В рамках проводимой апробации и внедрения проведен экспертный опрос по дефектам и несоответствиям при ПНР технологической части МП1 для оценки рисков.

Рассчитана степень воздействия рисков по формуле 1, на основании рассчитанных групповых оценок вероятности наступления рисков и влияния рисков на продолжительность ПНР, итоговые результаты представлены в сводной таблице 3:

Таблица 3. Сводные результаты оценки степени влияния рисков

Риски	R1-F1-N	R1-F2-N	R2-F3-N	R5-F9-N
P	0,33	0,16	0,25	0,10
I,%	33	16	25	10
M	0,11	0,03	0,06	0,01

Нормы затрат труда пусконаладочного персонала на устранение несоответствий (дефектов, отказов) рассчитаны по формуле 5 и приведены в таблице 4.

Таблица 4. Затраты труда на устранение несоответствий

Риски	R1-F1-N	R1-F2-N	R2-F3-N	R5-F9-N
Н _{уд} , чел.-ч	946	217	547	87

Продолжительность ПНР на МП1 без учета рисков составляет:

$$T_{\text{сис}}^{\text{пр}} = \frac{8681}{12 \times 8} = 90 \text{ дней.}$$

Расчетная продолжительность ПНР с учетом степени влияния рисков возникающих при проведении работ на МП1 рассчитана по формуле (6) и составила:

$$T_{\text{сис}} = \frac{N_{\text{зт}} + \sum_{i=1}^n N_{\text{уд}i}}{\sum Z_{\text{п}} \times T_{\text{см}}} = \frac{8681 + (946 + 217 + 547 + 87)}{12 \times 8} = 109 \text{ дней.}$$

Таким образом проведенные исследования показали, что возникающие риски приводят к увеличению продолжительности выполнения работ и необходим комплекс мер по их снижению.

Для оценки объективности разработанной методики планирования был проведен анализ фактических трудозатрат и согласно отчету о выполнении ПНР - 10 768 чел.-ч., а погрешность при планировании составила ~2%.

В рамках второго этапа внедрения результатов проводимых исследований, который выполнялся уже при строительстве второго энергоблока БелАЭС при планировании и выполнении ПНР на МП2 совместно с АО «Атомтехэнерго» была

проведена оценка рисков. Для минимизации рисков при проведении ПНР МП2 на основании предложенного в рамках исследований комплекса мер по снижению рисков были выполнены организационно-технические мероприятия (устранение выявленных несоответствий и внесение изменений в конструкторскую документацию второго блока Белорусской АЭС, а также устранение выявленных несоответствий заводом-изготовителем на машине перегрузочной второго блока до начала ПНР).

По итогам реализации мероприятий по снижению рисков, были определены фактические трудозатраты на втором энергоблоке (отклонение от планируемых (10 478 чел.-ч) ~ 9%) и сравнительный анализ с трудозатратами на первом блоке, представлен в таблице 5.

Таблица 5. Затраты труда на ПНР

№	Этапы выполнения ПНР	БелАЭС №1, чел.-ч	БелАЭС №2, чел.-ч	Отклонение, %
1.	Подготовительные работы, в том числе:	4 464	2 982	33,2
1.1.	Организационная и инженерная подготовка работы	2 560	2 176	15,0
1.2.	Работы на завершающей стадии монтажа	1 904	806	57,7
2.	Функциональные испытания	3 755	5 152	-37,2
3.	Комплексное опробование	1 685	781	53,6
4.	Разработка отчетной документации	864	772	10,6
	Всего :	10 768	9 687	10,04

Трудозатраты на комплексное опробование МП2 значительно сократились, так как часть испытаний были перенесены на этап функциональных испытаний, что также привело к сокращению общей продолжительности ПНР.

График фактической продолжительности проведения ПНР для МП1 и МП2 в здании реактора первого (10UJA) и второго (20UJA) энергоблоков БАЭС соответственно приведен на рисунке 8.



Рисунок 8. График ПНР перегрузочной машины

Снижение общей продолжительности ПНР, в том числе по камеральным работам (14%), свидетельствует о том, что при последовательном строительстве двух и более энергоблоков, разработанные методики и программы ПНР по первому энергоблоку могут использоваться в дальнейшем.

При этом формула 6 может быть доработана для планирования ПНР нескольких энергоблоков и рассчитан корректирующий коэффициент.

В целях расчета экономического эффекта, определена ориентировочная стоимость ПНР ПМ1 и ПМ2 и предполагаемая экономия составила ~10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих подходов по планированию и специфики технического нормирования при инжиниринге ПНР на АЭС показал, что определение продолжительности ПНР для указанных объектов, с учетом возникающих рисков является очень актуальной проблемой. Решение этой проблемы возможно путем выявления организационно-технологических особенностей ПНР на АЭС, анализа и оценки возникающих рисков.

Результаты выполненного научного исследования позволяют представить выводы и предложения, применение которых на отраслевом уровне может увеличить результативность функционирования системы управления инвестиционно-строительной деятельности.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Анализ организационно-технологических особенностей ПНР на АЭС показал, что на работу инженеров пусконаладчиков в значительной степени влияет вероятность возникновения технических рисков.

2. Выявлено, что при планировании ПНР на АЭС как правило используются директивные сроки, устанавливаемые графиком строительства АЭС первого уровня и не учитываются возможные риски при формировании календарных графиков ПНР третьего уровня и этапных графиков ПНР. При этом использование в полной мере при проектировании и планировании строительства и ПНР норм, приведенных в СНиП 1.04.03-85* также не представляется возможным.

3. Разработана модель для определения продолжительности ПНР для отдельных систем (оборудования) или этапов, на основании адаптированной технологии нормирования и рассчитанных коэффициентов влияния наиболее значимых рисков.

4. Разработана форма сбора информации для нормирования, расчета норм времени ПНР и расчета степени воздействия рисков с учетом вероятности возникновения и влияния на продолжительность ПНР.

5. Разработан кодификатор рисков, возникающих при ПНР, учитывающий факторы наступления, вид ущерба и условия возникновения рисков. Данный кодификатор позволяет кодировать и систематизировать риски, а также создает возможность ведения баз данных, сбора статистики в целях дальнейшего анализа и выработки мероприятий по минимизации влияния рисков. Таким образом формируется инструмент по управлению рисками при инжиниринге ПНР.

6. Предложен комплекс мер по совершенствованию планирования при инжиниринге ПНР на АЭС и управлению рисками.

7. Предложенная методика планирования ПНР является инструментом для принятия эффективных решений и оптимизации сроков строительства АЭС, при строительном инжиниринге и управлении рисками, а проведенная апробация и внедрение показали ее эффективность.

В качестве **рекомендаций** по управлению рисками предлагается формирование баз данных по рискам (далее - БДР). Для рисков в ПНР фиксация таких атрибутов как количество, место и время (дата выявления несоответствия и дата его устранения) будет не достаточным для качественной аналитики. Таким образом предлагается в структуре БДР вести такие атрибуты как: 1) причина

дефекта или несоответствия; 2) влияние на ход ПНР; 3) мероприятия по устранению несоответствий и дефектов; 4) код (шифр) проекта (объекта); 5) код системы или оборудования (KKS); 6) завод-производитель оборудования; 7) реквизиты документов, в которых зафиксированы несоответствия; 8) реквизиты документов об устранении дефектов и несоответствий.

Информация о рисках должна отражать суть дефектов и несоответствий, и отражать характер отказов, позволяя в дальнейшем выявлять слабые места в системах и оборудовании, а также учитывать возможные ошибки на стадии проектирования, строительного-монтажных работ и ПНР.

БДР, созданная для инжиниринга в рамках строительства конкретного объекта может являться элементом контролинга и основной для принятия управленческих решений, а создание единой отраслевой БДР включающей информацию о ранее построенных объектах позволит вывести систему управления строительством АЭС на этапе ввода в эксплуатацию на качественно иной уровень. При этом необходимо организовать единую систему ведения БДР для всех подразделений и организаций, участвующих в проектировании, инжиниринге и строительстве АЭС, разработав стандарт организации.

Дальнейшие перспективы исследования лежат в плоскости анализа информации по процессам и расчета норм времени, а также сбора статистики о рисках и расчете коэффициентов для отдельных систем, что позволит корректно планировать продолжительность ПНР.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Савенков А. Н. Методические подходы к развитию технического нормирования в строительстве / А. Н. Савенков // Промышленное и гражданское строительство. - 2021. - №7. - С 51-57.

2. Савенков А. Н. Организационно-технологические особенности пусконаладочных работ на объектах атомной энергетики / А. Н. Савенков, С. Б. Сборщиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 1. – С. 56-64.

3. Савенков А. Н. Инжиниринг пусконаладочных работ при строительстве объектов использования атомной энергии / А.Н. Савенков, А.Н. Макаров // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 4. – С. 63-70.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.

4. Mamaeva O. Establishing relevant regulatory framework for construction cost calculation in BIM-systems / O. Mamaeva, S. Burakov, A. Savenkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2020. - P. 012043/ - DOI:10.1088/1757-899X/775/1/012043;

5. Savenkov A. Features of the development of estimate standards for the capital repairs of industrial equipment / A. Savenkov, M. Ilina, I. Markova // AIP Conference Proceedings 2612, - 2023. - P. 040021, <https://doi.org/10.1063/5.0116952>;

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:

6. Ильина М. В. Особенности разработки сметных нормативов на капитальный ремонт отраслевого оборудования / М. В. Ильина, А. Н. Савенков // Сборник статей Строительство и строительные технологии 78-я Всероссийская научно-техническая конференция «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре», - 2021. – С. 1067-1077.

7. Мамаева О. А. Проблемные вопросы технического нормирования при разработке новых сметных норм / О. А. Мамаева, А. Н. Савенков // Сборник статей Строительство и строительные технологии 79-я Всероссийская научно-техническая конференция «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре». – 2022. – С. 988-998.

8. Сборщиков С. Б. Особенности организации и технологии пусконаладочных работ на объектах атомной энергетики / С.Б. Сборщиков, А.Н. Савенков // Новые технологии в строительстве. - 2023. - Т. 9. - № 2 (44). С. 24-33.