

На правах рукописи



Шашков Алексей Андреевич

**ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ
ПРОЕКТА ПРИ КРУПНОБЛОЧНОМ ВОЗВЕДЕНИИ АЭС**

*Специальность 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов
строительства*

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Морозенко Андрей Александрович

Официальные оппоненты: Молодин Владимир Викторович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой Технологии и организации строительства

Мотылев Роман Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой Организации строительства

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Защита состоится «29» июня 2023 г. в 14:00 (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, 9 студия «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 «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Коротеев Дмитрий
Дмитриевич

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из стратегических целей Госкорпорации «Росатом» является снижение себестоимости и сроков строительства атомных электростанций. Решение этой важнейшей задачи привело «Росатом» к созданию отраслевой системы комплексного управления стоимостью и сроками сооружения объектов использования атомной энергетики Total Cost Management Nuclear Construction (TCM NC). TCM NC является ключевым компонентом системы управления госкорпорации «Росатом» и охватывает проектные и строительные организации на территории России и за рубежом.

Одним из основных компонентов системы TCM NC является подсистема «методология и процессы», которая во многом обеспечивает уровень управления стоимостью и сроками. Практическое использование системы TCM NC требует новой культуры управления и взаимодействия участников проекта создания новых энергетических мощностей. Решению ряда вопросов, связанных с формированием организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС посвящена данная работа.

Практика возведения объектов использования атомной энергии демонстрирует широкое использование промышленных конструкций. Наибольшее распространение при строительстве атомных электростанций (АЭС) получили сборно-монолитные конструкции. Такой тип конструкций хорошо известен и применялся ещё в проектах с ректорами РБМК и ВВЭР-1000. Главными преимуществами при использовании сборно-монолитных конструкций в строительстве АЭС являются: снижение трудоемкости опалубочных работ в два и более раза, сокращение продолжительности строительства, уменьшение стоимости строительства. В современном проекте ВВЭР-ТОИ предполагается использование армоблоков (пространственных арматурных каркасов) с несъёмной сталефибробетонной и стальной опалубкой. Применение сборно-монолитных конструкций позволяет перенести часть работ со строительной площадки в заводские цеха и площадки укрупнительной сборки. Основной

идеей проекта ВВЭР-ТОИ стало ускорение строительства (введение первого блока через 48 месяцев после начала строительства, последующих – через 40).

По сравнению со сборными железобетонными конструкциями сборно-монолитные имеют ряд преимуществ, выражающихся в более качественной работе стыковых соединений и исключении прострелов излучения, которые возможны при использовании сборных конструкций (так как строительные конструкции части выполняют еще и защитные функции).

Однако применение крупноблочной технологии строительства порождает ряд проблем, в том числе, связанных с организационными процессами:

- Использование крупноблочных конструкций требует гораздо больших трудозатрат на проектирование соответствующих конструкций;
- Производство армопалубочных блоков требует наличие соответствующей технологической базы в районе строительства станции;
- При наличии технологической базы требуются производственные мощности, достаточные для покрытия потребности строительной площадки в крупноблочных конструкциях;
- Производственные и монтажные работы требуют соответствующей квалификации производственного персонала;
- При отсутствии или недостаточности производственных мощностей в районе строительства требуется организовать подвоз крупноблочных конструкций с других предприятий (в том числе, из-за рубежа);
- Повышение технологичности монтажных работ требует наличия площадок укрупнительной сборки в зоне действия грузоподъемных механизмов и др.

Предполагается, что часть данных проблем возможно разрешить, преобразовав организационную структуру проекта возведения АЭС. При реорганизации структуры возведения происходит перераспределение трудозатрат между участниками проекта, также возможно привлечение в проект новых участников.

На формирование организационной структуры проекта строительства влияет множество как организационных факторов, так и факторы технологические, логистические и прочие. Использование технологии возведения зданий, отличной от традиционной, требует иных показателей производственных параметров, определение которых также является актуальной задачей.

Таким образом, методика формирования организационной структуры строительного проекта при возведении зданий и сооружений атомных электростанций, базирующийся на анализе трудозатрат при использовании различных технологий возведения объектов АЭС, позволяет выбрать организационную структуру, обеспечивающую реализацию наиболее эффективному технологическому процессу возведения объектов АЭС.

Степень разработанности темы исследования. Изучением степени укрупнения и определением трудозатрат при крупноблочном возведении АЭС занимались А.С. Гриценко, Р.Р. Темишев, Б.К. Пергаменщик, А. Берндт. Изучением организационных структур в строительстве занимались А.В. Гинзбург, А.А. Лapidус, С.А. Синенко и другие. Взаимосвязь технологии крупноблочного возведения АЭС и организационной структуры строительных проектов ранее не рассматривалась.

Научная гипотеза исследования состоит в предположении, что возможно повышение эффективности функционирования строительного производства на этапах жизненного цикла путем формирования организационной структуры, соответствующей наиболее эффективной технологии, выбранной на основе анализа трудозатрат и степени укрупненности конструкций строительного объекта.

Цель исследования: разработка методики формирования организационной структуры строительного проекта при возведении зданий и сооружений атомных электростанций, обеспечивающей повышение производственной эффективности и сокращение продолжительности строительства.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи:**

- Анализ существующих организационных структур с выявлением возможности максимальной индустриализации;
- Определение объема предельного использования индустриальных конструкций;
- Исследование перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС;
- Определение трудозатрат в зависимости от степени индустриализации;
- Разработка методики формирования организационной структуры строительного проекта при крупноблочном возведении АЭС;
- Разработка блок-схемы алгоритма формирования организационной структуры при крупноблочном возведении АЭС;
- Практическое применение методики формирования организационной структуры.

Научная новизна работы:

- Определен объем предельного использования индустриальных конструкций АЭС;
- Создана система перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС;
- Разработан способ определения трудозатрат в зависимости от степени индустриализации;
- Разработана методика формирования организационной структуры строительного проекта при крупноблочном возведении АЭС;
- Создана блок-схема алгоритма формирования организационной структуры при крупноблочном возведении АЭС.

Объектом исследования являются организационные структуры строительного проекта АЭС.

Предметом исследования являются принципы формирования организационной структуры строительного проекта АЭС.

Теоретическая значимость результатов работы: развитие научно-методической базы организации строительных проектов на основе комплексной оценки трудоемкости; возможность использования результатов работы в других теоретических исследованиях, направленных на повышение эффективности организации строительного производства.

Практическая значимость результатов работы: повышение эффективности и сокращение продолжительности строительства за счет формирования организационной структуры строительного проекта при возведении зданий и сооружений АЭС на основе разработанной методики; возможность распространения данной методики на другие объекты промышленного и гражданского строительства (после соответствующего обоснования).

Методология и методы исследования: анализ, синтез, общая теория систем, теория вероятности, математическое моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

- Объем предельного использования индустриальных конструкций для проекта АЭС-2006;
- Система перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС;
- Способ определения трудозатрат в зависимости от степени индустриализации;
- Методика формирования организационной структуры строительного проекта при крупноблочном возведении АЭС;
- Блок-схема алгоритма формирования организационной структуры при крупноблочном возведении АЭС;
- Результаты практического применения методики формирования организационной структуры.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации: определение диссертантом объема предельного использования индустриальных конструкций; разработка диссертантом системы перераспределения ресурсов между

участниками строительного проекта АЭС и способа определения затрат в зависимости от степени индустриализации; разработка диссертантом методики и блок-схемы алгоритма формирования организационной структуры строительного проекта при крупноблочном возведении АЭС; формулировка выводов, определяющих практическую значимость и новизну работы; выполнение диссертантом численных исследований и оценка их результатов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждена применением исследовательского и аналитического аппарата, использованием данных, полученных в результате анализа источников нормативной базы. Основные положения диссертации многократно докладывались, обсуждались на международных научных и научно практических конференциях: XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, Management in Construction, 2020, 24th International Scientific Conference Construction the Formation of Living Environment, 2021, Construction The Formation of Living Environment, 2022, Современное состояние и тенденции развития энергетического строительства (2020-2022 г.); заседаниях и научных семинарах кафедры «Строительства объектов тепловой и атомной энергетики».

Соответствие паспорту специальности. Содержание диссертации соответствует пунктам 2 и 6 паспорта специальности 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства.

Структура и объем работы. Работа изложена на 197 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав основной части, заключения, списка сокращений, списка терминов, списка литературы, включающего 98 источников, и 3 приложений. Работа содержит 71 рисунок и 18 таблиц.

Для достижения цели была разработана общая методологическая схема диссертационного исследования, представленная на рисунке 1.



Рисунок 1. Методологическая схема исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализированы особенности проектирования, организации и управления строительством АЭС, особенности жизненного цикла АЭС, основные особенности организационно-технологических процессов в зависимости от степени укрупнения блока. Было указано, что основной по трудоемкости и продолжительности работой является возведение железобетонных конструкций (ЖБК) реакторного здания АЭС. Подробно рассмотрены конструктивные решения ЖБК реакторного здания АЭС. Были рассмотрены два возможных метода их возведения: традиционный и крупноблочный (сборно-монолитный).

Рассмотрены зарубежные технологии возведения АЭС с помощью индустриальных конструкций, указаны их преимущества и недостатки. Произведен анализ требований Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) к крупноблочному возведению АЭС и подходам к модульности конструкций, выявлены основные организационные требования к реализации проектов.

Рассмотрены особенности жизненного цикла АЭС. Проанализированы этапы, в процессе которых наибольшее влияние оказывает способ возведения ЖБК: предпроектный, проектный и строительства.

Проведен анализ работ, посвященных основным особенностям организационно-технологических процессов в зависимости от степени укрупнения блока. На основе существующих исследований показано, что одним из факторов сокращения общей продолжительности строительства является снижение трудоемкости возведения ЖБК. Однако имеющиеся методики учета трудозатрат не позволяют применить их к проектам АЭС современных дизайнов и на их базе сформировать необходимую для реализации проекта организационную структуру.

Определен объем предельного использования индустриальных конструкций, рассчитанный от общего объема ЖБК массивных объектов комплекса АЭС.

Во второй главе приведены методологические основы исследования, рассмотрены организационная структура проекта строительства

АЭС как система и перераспределение ресурсов между участниками строительного проекта АЭС.

В основе приводимого исследования лежит комплексный подход. Основная идея исследования – с помощью анализа трудозатрат участников строительного проекта при различных технологиях возведения ЖБК АЭС с учетом граничных условий определить потребность в ресурсах, на основе чего сформировать соответствующие организационные структуры блоков строительного проекта.

Исследование производится в разрезе применимости разработанной Госкорпорацией «Росатом» системы Total Cost Management Nuclear Construction (TCM NC). Система предполагает возможность внесения корректировок на любом этапе жизненного цикла реализации проекта.

В данной работе рассматривается строительный проект возведения реакторного здания как часть инвестиционно-строительного проекта. В строительном проекте не учитываются вопросы инвестиционно-экономической деятельности.

Рассмотрены целевая функция системы строительного проекта – возведение АЭС (для более принятого примера – возведение ЖБК реакторного здания АЭС) – и ресурсы, требуемые для реализации целевой функции:

- Трудовые человеческие ресурсы (чел-ч);
- Монтажные механизмы (маш-ч);
- Транспорт (маш-ч);
- Производственные площадки (m^2).

Рассмотрено перераспределение указанных ресурсов при различных технологиях возведения ЖБК АЭС. В качестве точки отсчета трансформации системы выбрано возведение только с использованием традиционной технологии (традиционное строительство). Представлена система перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС как функции используемой технологии при различных методах монтажа строительных конструкций, учитывающий сочетания

производства армоблоков силами подрядчика и силами индустриального блока с габаритами монтируемого блока, а также с конфигурациями блоков – монтажной и предмонтажным укрупнением.

В третьей главе разработан способ определения трудозатрат в зависимости от степени индустриализации: степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС, проведен учет граничных условий строительного проекта при возведении АЭС крупноблочным методом и учет трудозатрат проектного, индустриального и логистического блоков строительного проекта, создана методика формирования организационной структуры строительного проекта и построена блок-схема алгоритма формирования организационной структуры.

Для определения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций измеряются трудозатраты на объекте-аналоге. Требуемыми данными для расчета являются геометрические характеристики конструкций: толщина конструкций, объем конструкций; продолжительность, требуемое число рабочих и сменность по каждой технологической операции.

На основе полученных статистических данных вычисляются сначала общие трудозатраты, как произведение продолжительности, сменности, численности рабочих. На их основе вычисляются удельные трудозатраты. Далее для корректного сопоставления трудозатрат требуется привести удельные трудозатраты к единой единице измерения. В качестве данной единицы выбраны трудозатраты на единицу объема бетона конструкции. Экстраполяция трудозатрат на традиционное возведение (1), индустриальное изготовление (2) и установку армопалубочных блоков (3) производится по формулам:

$$c_k^{conv} = a_r \cdot c_i^r + a_e \cdot c_i^e + \frac{c_i^f}{a_\delta} + c_i^c + c_i^m \quad (1)$$

$$c_k^{prod} = a_r \cdot c_i^r + a_e \cdot c_i^e + \frac{c_i^{pf}}{a_\delta} + \frac{c_i^a}{a_\delta} + c_i^t \quad (2)$$

$$c_k^{inst} = u_1 \cdot a_r \cdot c_{IC}^{inst} + u_2 \cdot \frac{c_{IC}^{inst}}{a_\delta} + u_3 \cdot c_{IC}^{inst} \quad (3), \text{ где}$$

$c_k^{conv}, c_k^{prod}, c_k^{inst}$ – удельные трудозатраты на возведение k-ой конструкции, (чел-ч)/м³;

c_k^{inst} – удельные трудозатраты на установку армоблоков k-ой конструкции, (чел-ч)/м³;

a_r, a_e, a_δ – коэффициенты среднего расхода арматуры, закладных изделий и средней толщины конструкции;

$c_i^r, c_i^e, c_i^f, c_i^c, c_i^m, c_i^t, c_i^a, c_i^{pf}, c_{IC}^{inst}$ – приведенные трудозатраты армирования, установки закладных изделий, опалубки, бетонирования, ухода за бетоном, установки ферм, установки и сварки анкерующих уголков, изготовления несъемной i-ой конструкции и установку армоблоков ВЗО, (чел-ч)/м³.

$u_1 \dots u_3$ – доли массового соотношения армирования, несъемной опалубки и связевых ферм армоблоков; $u_1 + u_2 + u_3 = 1$.

Суммирование трудозатрат производится по формуле (4):

$$C_m = \sum_k c_k^m \cdot V_k^{RC} \quad (4), \text{ где}$$

C_m – суммарные трудозатраты на возведение методом m, чел-ч;

c_k^m – приведенные удельные трудозатраты на возведение k-ой конструкции методом m, (чел-ч)/м³;

V_k^{RC} – объем железобетона k-ой конструкции, м³.

Каждое из этих произведений можно представить в виде линейной функции. Данные линейные функции имеют разные углы наклона к оси абсцисс, возможны различные варианты их суммирования при вычислении общих трудозатрат. В пределе они образуют пространство, ограниченное экстремальными значениями суммирования. Полученные графики для каждого из методов аппроксимируются по методу наименьших квадратов, используя квадратичную функцию. Объединяя полученные данные, выстраивается диаграмма распределения трудозатрат на возведение ЖБК реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков (рисунок 2).

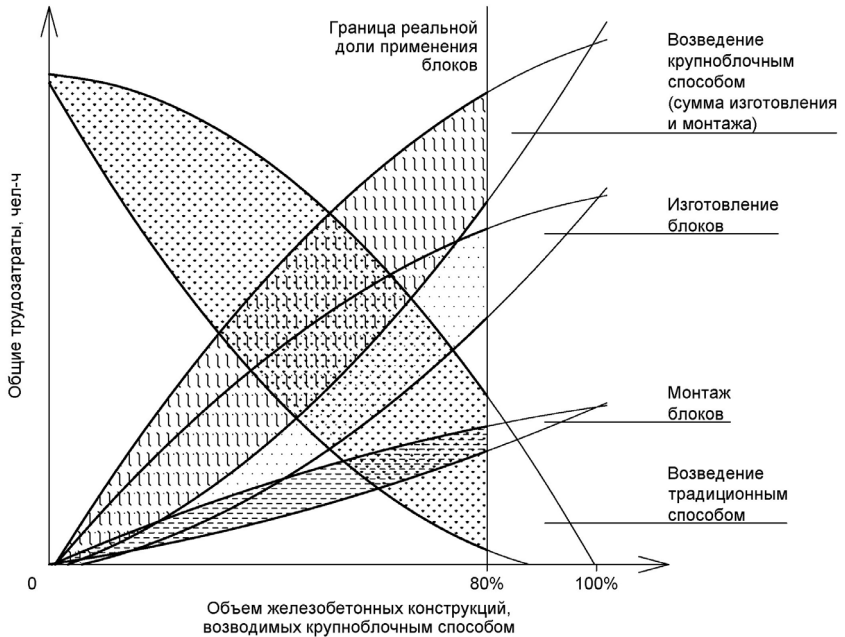


Рисунок 2. Диаграмма распределения трудозатрат на возведение ЖБК реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков.



Рисунок 3. Удельные трудозатраты на монтаж армоблока в зависимости от объема армоблока.

Удельные трудозатраты на монтаж армоблока складываются из удельных трудозатрат, умноженных на объем по категориям, отнесенных к объему конструкции (5):

$$c_k^{mount} = \frac{V_k^{join} \cdot c_k^{join} + V_k \cdot (c_k^{inst} + c_k^{conc} + c_k^{care})}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2)}{\sqrt{V_k}} - \frac{\beta}{V_k} + \gamma \quad (5),$$

где

c_k^{mount} – удельные трудозатраты на установку армоблока k-ой конструкции реакторного здания, чел-ч/м³;

c_k^{join} , c_k^{inst} , c_k^{conc} , c_k^{care} – удельные трудозатраты на устройство стыков, установку армоблоков, бетонирование, на уход за бетоном k-ой конструкции, (чел-ч)/м³;

V_k^{join} – объем стыка k-ой железобетонной конструкции, м³

V_k – объем k-ой железобетонной конструкции, м³.

$$\alpha_1 = c_k^{join} \cdot \sqrt{\delta_k}, \alpha_2 = 1.15 \cdot c_k^{join} \cdot \sqrt{\delta_k},$$

$$\beta = c_k^{inst} + c_k^{conc} + c_k^{care}, \gamma = 0.25 \cdot \delta_k \cdot c_k^{join}.$$

График полученной зависимости изображен на рисунке 3. График представлен пространством между двумя ограничивающими кривыми, зависящими от соотношения сторон монтируемого блока.

Удельные трудозатраты на укрупнительную сборку получают произведением объема укрупнительной сборки на удельные трудозатраты стыковых соединений, отнесенным к объему конструкции (6):

$$c_{pa} = \frac{c_k^{join} \cdot (V_f^{join} \cdot n_f - V_k^{join})}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot (n_f^{3/2} - 1)}{\sqrt{V_k}} + \gamma \cdot (n_f - 1) \quad (6),$$

где

c_{pa} – удельные трудозатраты укрупнительной сборки армоблока k-ой железобетонной конструкции, м³;

V_f^{join} – объем стыков фрагментов армоблока k-ой железобетонной конструкции, м³;

n_f – количество фрагментов армоблока k-ой железобетонной конструкции;

V_f – объем фрагментов k -ой железобетонной конструкции, м^3 .

При формировании организационной структуры строительного проекта при частичном или максимальном использовании крупноблочного метода возведения необходимо учитывать следующие граничные условия:

- Продолжительность строительства;
- Количество трудовых ресурсов;
- Квалификация трудовых ресурсов;
- Требования заказчика;
- Помехи в работе трудовых ресурсов;
- Количество грузоподъемных механизмов;
- Типы используемых грузоподъемных механизмов;
- Количество промышленных производств;
- Удаленность промышленных производств;
- Виды транспортных магистралей;
- Характеристики транспортных магистралей;
- Размеры строительной площадки;
- Возможность создания новых производств.

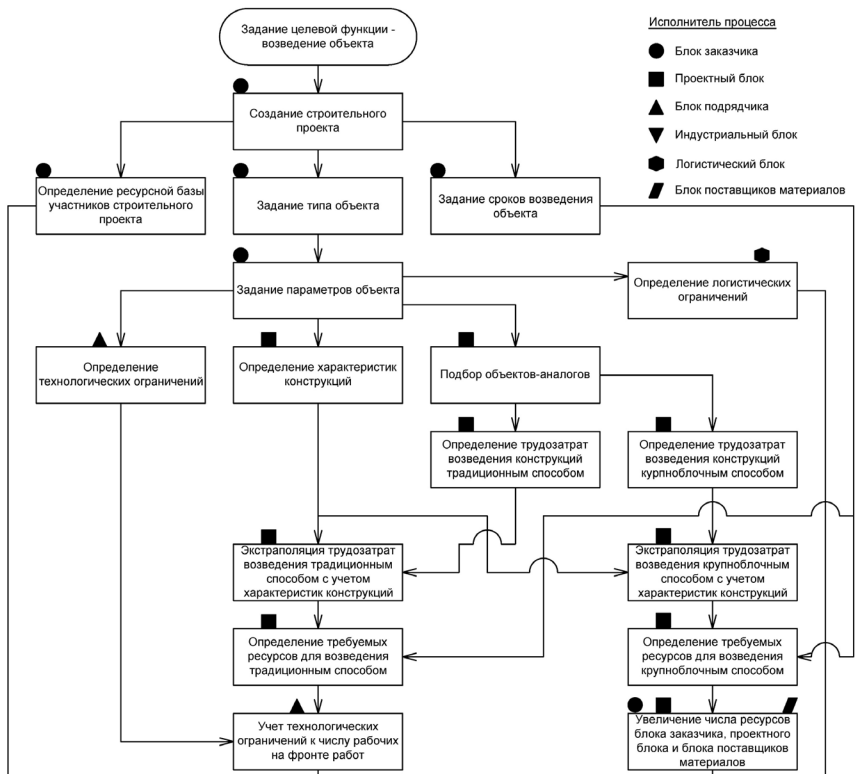
Предлагаемая методика формирования организационной структуры строительного проекта основывается на перераспределении трудовых затрат как между блоками строительного проекта, так и внутри данных блоков, а также внутри предприятий, входящих в каждый из блоков. За основу берется организационная структура строительного проекта при возведении железобетонных конструкций зданий и сооружений АЭС традиционным методом. Далее данная структура определенным образом трансформируется.

Трансформация организационной структуры происходит путем изменения организационных структур предприятий, входящих в блоки строительного проекта, реже – путем изменения организационных структур самого блока.

Требования образования новых элементов или подсистем продиктованы двумя основными факторами:

- Превышение критической численности персонала в элементе или подсистеме;
- Требование специализации.

На основе способов определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока, а также учета граничных условий при возведении АЭС крупноблочным методом построим блок-схему алгоритма формирования организационной структуры строительного проекта, показанную на рисунке 4.



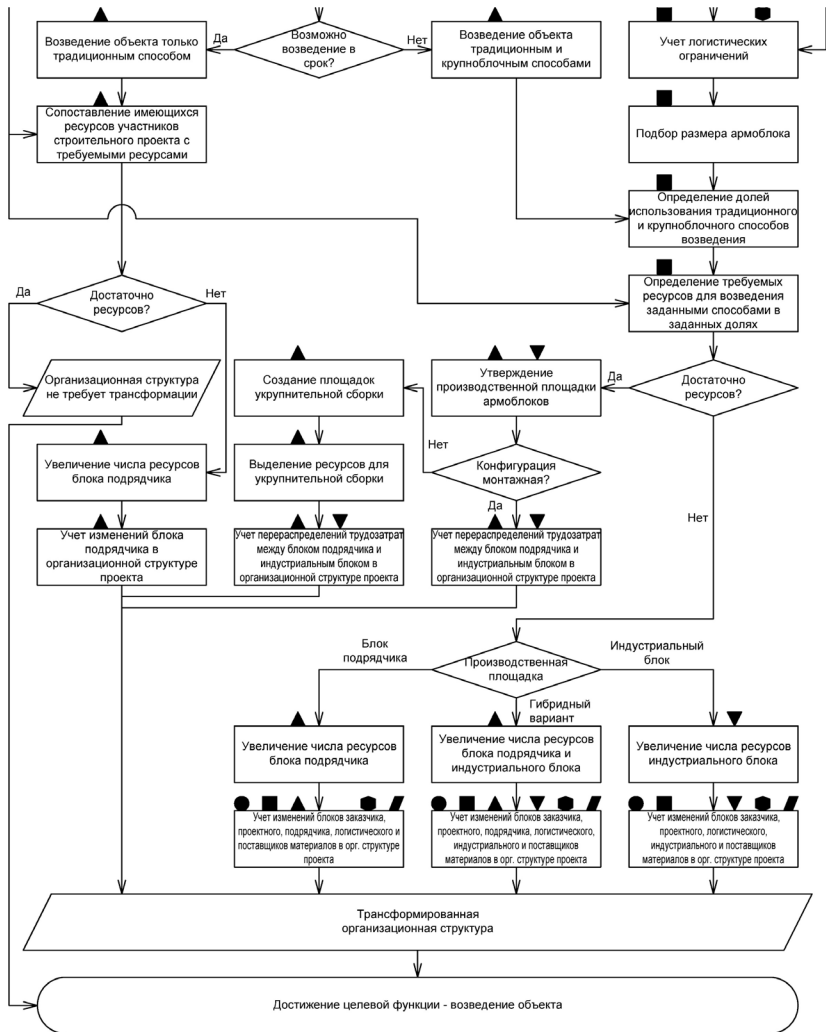


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма формирования организационной структуры строительного проекта при крупноблочном возведении АЭС.

В четвертой главе произведены практическое применение и апробация предложенной методики на примере ЖБК реакторного здания АЭС проекта АЭС-2006, представлено обсуждения полученных результатов исследования.

Применение вышеизложенной методики производилось на примере возведения ЖБК реакторного здания первого энергоблока АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш, Пабна, Ишварди, Пакши роад стэйшн).

Исходными данными являлись геометрические характеристики конструкций: толщина конструкций, объем конструкций; продолжительность, требуемое число рабочих и сменность по каждой технологической операции. На основе технологической схожести были выделены 19 различных характерных конструкций реакторного здания. Были получены значения трудозатрат для различных конструкций реакторного здания.

На возведение железобетонных конструкций реакторного здания традиционным способом требуется 7.7 млн. чел-ч, а на возведение того же объема в армоблоках – 8.3 млн. чел-ч. Данные величины сопоставимого порядка. Однако при возведении реакторного здания в армоблочных конструкциях затраты на промышленное изготовление армоблоков составляют около 5.8 млн. чел-ч, на монтаж – около 2.5 млн. чел-ч. Таким образом, трудозатраты непосредственно на строительной площадке (монтаж) составляют 32.8% от трудозатрат на строительной площадке при использовании традиционной технологии возведения.

Рассмотрим учет возможного разукрупнения монтажного блока. При использовании обычных башенных кранов максимальная масса армоблока лежит в пределах 0.6...9.6 т. При использовании тяжеловесных башенных кранов масса монтируемого армоблока на максимальном вылете может достигать 62.6 т.

Основными рассматриваемыми продолжительностями возведения энергоблоков с реакторами ВВЭР-1200 являются 70 месяцев согласно СНиП 1.04.03-85*, 65 месяцев согласно приказа ГК «Росатом»

№1/576-П от 03.06.2020, 48 и 40 месяцев в перспективе для проекта ВВЭР-ТОИ. Расчетные продолжительности бетонных работ – 64, 59, 42 и 34 месяца соответственно.

На основе произведенных вычислений и учета граничных условий предложены трансформированные организационные структуры блоков строительного проекта, учитывающие функциональные и численные факторы, определяемые выбранной технологией.

В блоке подрядчика изменения производятся в подсистемах генподрядчика и субподрядчиков. В структуре генподрядчика может потребоваться создание отдела строительного контроля промышленных конструкций. При недостатке квалификации, либо при высокой степени применения армоблоков субподрядчик может привлечь специализированную компанию. При наличии экспертности и достаточного количества квалифицированного персонала субподрядная организация может производить монтаж армоблоков собственными силами. При малой степени использования промышленных конструкций (менее 30%) требуется создать специализированные бригады в составе монтажного участка, при большой степени (более 60%) – отдельный монтажный участок. При производстве армоблоков блоком подрядчика собственными силами, требуется создать в структуре субподрядчика дополнительные цеха по производству промышленных конструкций.

При использовании крупноблочного метода количество рабочей документации ЖБК возрастает до 14 раз. В данном случае, в зависимости от степени применения армоблоков следует создать дополнительные отделы проектирования промышленных конструкций либо привлечь специализированную субподрядную проектную организацию. Так как армоопалубочные конструкции требуют высокой степени проработки документации, необходимо использование BIM-технологий, что требует создания должностей BIM-координаторов.

В блоке заказчика требуется специализированный отдел входного контроля армоопалубочных конструкций, специализированный отдел строительного контроля, а также выделения из отдела качества и

входного контроля отдела входного контроля проектной и рабочей документации.

Для блоков поставщиков материалов, индустриального блока и логистического блока трансформация организационных структур может обеспечиваться двумя путями: изменениями организационных структур внутри предприятий или увеличением количества предприятий в блоках. Последнее возможно за счет высокой децентрализации обозначенных блоков.

Для логистического блока применение специальных транспортных средств для армоблоков больших конфигураций в организационной структуре транспортного предприятия требует выделение отдельного элемента специализированной автоколонны. При большом объеме перевозок необходимо привлечение специализированного транспортного предприятия.

При изготовлении армоблоков силами индустриального блока необходимо устраивать на предприятии-изготовителе отдельный производственный цех армоблоков, при большом проценте применения армоблоков – привлечь отдельный завод металлоконструкций.

Для организационной структуры блока поставщиков материалов трансформация будет зависеть от вида применяемых армоблоков. При использовании металлической несъемной опалубки требуется увеличение производственных мощностей завода по производству проката, либо привлечение дополнительных предприятий. При использовании сталефибробетонной опалубки требуется создание или привлечения завода по производству сталефибробетонных плит.

Практическое применение методики при возведении стен компенсатора давления в зоне локализации аварии реакторного здания первого энергоблока АЭС «Руппур». Было показано общее сокращение продолжительности работ на 20% и работ непосредственно на строительной площадке на 69% при увеличении общей численности рабочих на 23%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги исследования:

1. Одной из главных особенностей возведения больших и сложных сооружений становится новый подход к формированию адаптивной организационной структуры, основанной на широком применении индустриальных технологий строительства.
2. Технически сложные и уникальные объекты строительства при сооружении их крупноблочным методом требуют обязательного расчета максимальной индустриализации конструкций и граничных условий возведения.
3. Основой формирования организационной структуры проекта является выбор технологии возведения объектов строительства АЭС, определенной на основе анализа трудоемкости.
4. Определены принципы формирования организационной структуры строительного проекта на основе системы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС.
5. Разработан способ определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока, проведен учет граничных условий строительного проекта при возведении АЭС крупноблочным методом.
6. Предложена методика формирования организационной структуры строительного проекта, позволяющая сформировать оргструктуру, отвечающую выбранной технологии возведения АЭС.
7. Создана блок-схема алгоритма формирования организационной структуры при крупноблочном возведении АЭС.
8. Приведены результаты практического применения и апробации предложенной методики на примере железобетонных конструкций реакторного здания АЭС проекта АЭС-2006.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Применение методики для других объектов капитального строительства после соответствующей верификации.
2. Построение многомерной модели распределения трудовых затрат для каждой технологии возведения, которая интегрировала бы в себя одновременно степень применения данной технологии, степень укрупнения блока, степень предмонтажного разукрупнения и удаленность предприятий по производству армоблоков.
3. Оптимизация блок-схемы алгоритма с учетом дополнительных, неучтенных в данном исследовании факторов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации 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:

1. Шашков А.А. Организационно-технологические аспекты крупноблочного возведения атомных электростанций / А.А. Морозенко, А.А. Шашков // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №5(95). – С. 28-33.

2. Шашков А.А. Планирование строительных процессов в условиях высокого насыщения фронта работ трудовыми ресурсами / В.А. Ундозеров, А.А. Шашков, Д.Р. Гаймалов // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №7(97). – С. 30-34.

3. Шашков А.А. Методика определения трудозатрат возведения АЭС в зависимости от степени укрупнения армоблока / А.А. Морозенко, А.А. Шашков // Строительное производство. – 2022. – №3. – С. 47-53.

4. Шашков А.А. Формирование организационной структуры строительной фазы крупноблочного возведения АЭС / А.А. Морозенко, А.А. Шашков // Строительное производство. – 2022. – №3. – С. 76-82.

Публикации в научных изданиях, индексируемых в международной реферативной базе Scopus:

1. Shashkov A. Resource assessment of large-block construction of NPP / A. Morozenko, A. Shashkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869(6) – 062025.

2. Shashkov A. Labor costs management in the large-block construction of NPP / A. Morozenko, A. Shashkov // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 263 – 02040.