

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИУ МГСУ)»

На правах рукописи



Шашков Алексей Андреевич

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

Специальность 2.1.14 – Управление жизненным циклом объектов строительства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Морозенко Андрей Александрович

Москва 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ	
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭС 12	
1.1. Особенности проектирования, организации и управления строительством АЭС.....	12
1.2. Особенности жизненного цикла АЭС.....	34
1.3. Анализ организационно-технологических процессов в зависимости от степени укрупнения блока.	38
Выводы по главе 1:	42
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ	
СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА 43	
2.1. Влияние технологических факторов на организационную структуру проекта	43
2.2. Исследование организационная структура проекта строительства АЭС как системы.....	44
2.3 Теоретические основы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС	63
Выводы по главе 2:	75
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ	
СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА	
ТРУДОЗАТРАТ 76	
3.1. Определение трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС.....	76
3.2. Определение граничных условий строительного проекта при возведении АЭС крупноблочным методом.....	100
3.3. Обоснование трудозатрат проектного, индустриального и логистического блоков строительного проекта.....	109
3.4. Методика формирования организационной структуры строительного проекта	112
3.5. Блок-схема алгоритма формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС.	116
Выводы по главе 3:	118

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ, ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	119
4.1. Практическое применение и апробация предложенной методики.....	119
4.2. Обсуждение результатов исследования.....	170
Выводы по главе 4:	173
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	174
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	177
СПИСОК ТЕРМИНОВ	179
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Список работ, опубликованных автором лично и в соавторстве.....	195
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Справка о разрешении использования исходных данных	196
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Справка о внедрении результатов диссертационного исследования.....	197

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из стратегических целей Госкорпорации «Росатом» является снижение себестоимости и сроков строительства атомных электростанций [32]. 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 [31].

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 индустриальных 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 [1]. 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 [12, 65]. В современном проекте ВВЭР-ТОИ предполагается использование армоблоков (пространственных арматурных каркасов) с несъёмной сталефибробетонной и стальной опалубкой. [15, 23] 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) [14, 46].

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 на организационную структуру 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 атомных электростанций 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 трудозатрат 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.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации многократно докладывались, обсуждались на международных научных и научно практических конференциях: научной конференции 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, всероссийской научно-практической конференции Современное состояние и тенденции развития энергетического строительства (2020-2022 г.); заседаниях и научных семинарах кафедры Строительства объектов тепловой и атомной энергетики.

Публикации по теме диссертационной работы. Материалы диссертации изложены в 6 опубликованных работах, из них 4 опубликованы 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 статьи – в изданиях, индексируемых в международной реферативной базе Scopus. Список опубликованных работ приведен в приложении А.

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. Общая методологическая схема исследования.

ГЛАВА 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АЭС

1.1. Особенности проектирования, организации и управления строительством АЭС.

Атомная электростанция является комплексом множества зданий и сооружений. Современные российские проекты типа АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ с водо-водяной энергетической реакторной установкой насчитывают до 110 различных типов объектов. С учетом расположения нескольких энергоблоков (как правило, от 2 до 4) на единой площадке строительства общее количество зданий и сооружений на генплане АЭС может достигать 425-470 объектов. Однако основную продолжительность работ основного периода строительства определяют массивные здания, выполняемые преимущественно из монолитных железобетонных конструкций. К таким зданиям, стоящим на критическом пути и определяющим общую продолжительность строительства станции, относится реакторное здание. В дальнейшем будем рассматривать все аспекты касательно проектирования, технологии, организации, логистики, управления на примере реакторного здания АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1200.

Реакторное здание АЭС является сложнейшим строительным объектом. Реакторное здание – сложносоставное, состоящее из двойной защитной цилиндрической железобетонной оболочки, называемой зоной локализации аварии, где располагается реакторная установка, и обстройки, где располагается блочный щит управления и системы, обеспечивающие безопасность работы станции. Зона локализации аварии и обстройка находятся на единой фундаментной плите, прямоугольной в плане. ЗЛА располагается в центре, обстройка – по периметру здания.

Форма и расположение строительных конструкций реакторного здания диктуются, в первую очередь, расположением технологического оборудования и требованиями безопасности. Из-за этого строительные

конструкции имеют различную конфигурацию в плане на разных отметках, зачастую имеют значительную толщину (600-1200 мм и более), сильно насыщены трубными проходками и закладными изделиями. В связи с этим работы по проектированию и возведению реакторного здания крайне трудоемки.

Проектирование АЭС осуществляется двухстадийным методом. До начала строительных работ должна быть выполнена первая стадия проектирования – разработана проектная документация. Проектная документация состоит из 12 разделов. Проектная документация в обязательном порядке проходит государственную экспертизу. Второй стадией является разработка рабочей документации. Рабочая документация требуется для передачи подрядчику с целью осуществления строительно-монтажных работ. Разработка рабочей документации может производиться как до начала СМР, так и параллельно с СМР с опережением.

Из-за сложной конфигурации строительных конструкций реакторного здания, требуется индивидуальная разработка комплектов рабочей документации для каждой строительной конструкции. Таким образом, количество рабочей документации марки КЖ для реакторного здания АЭС может достигать свыше 500 комплектов, марки КМ – свыше 200 комплектов.

Особенности проектирования зависят от способа возведения строительных конструкций реакторного здания. В первую очередь различия в способах возведения касаются железобетонных конструкций. Поскольку основными конструкциями в реакторном здании являются железобетонные, а металлические используются меньше (балки транспортного портала, облицовки помещений, площадки обслуживания и т.п.), в дальнейшем при упоминании способов возведения реакторного здания будем подразумевать возведение железобетонных конструкций реакторного здания.

Для железобетонных конструкций в промышленном и гражданском строительстве существуют два основных способа возведения – монолитный и сборный. При строительстве АЭС с реакторными установками ВВЭР-1000 и

РБМК-1000 активно использовалась технология сборного железобетона. Однако сборный железобетон имеет следующие недостатки:

- Малые габариты монтажного блока вследствие ограничений грузоподъемности монтажных механизмов;
- Неоднородность монолитного бетона стыковых соединений и основного бетона блока, изготовленного в заводских условиях, вследствие чего нарушение функции биологической защиты (возможность «прострелов» излучения);
- Большая номенклатура блоков, требующая изготовления большого числа опалубочных форм с малой их оборачиваемостью;
- Сложность изготовления в сборных конструкциях конструкций нестандартных форм.

В данный момент для АЭС используются два основных способа возведения монолитных железобетонных конструкций – традиционный и крупноблочный (сборно-монолитный). Под традиционным понимается армирование конструкции отдельными стержнями (реже – плоскими каркасами) и формирование геометрии железобетонной конструкции с помощью инвентарной опалубки (мелкощитовой, крупнощитовой, подъемно-переставной и т.д.). Под крупноблочным методом строительства подразумевается три разновидности технологий, одна из которых может быть отнесена полностью к сборно-монолитной, две другие – гибридом традиционной и сборно-монолитной технологии:

- Армирование конструкции производится из заранее произведенных в заводских условиях (либо в условиях цехов на строительном-монтажной базе) пространственных арматурных каркасов (армокаркасов), формирование геометрии железобетонной конструкции – с помощью несъемной опалубки, также производимой в заводских условиях и прикрепляемой к фермам армокаркасов до монтажа в проектное положение;

- Армирование конструкции производится из заранее произведенных в заводских условиях (либо в условиях цехов на строительном-монтажной базе) пространственных арматурных каркасов, а формирование геометрии железобетонной конструкции – с помощью инвентарной опалубки;
- Армирование конструкции производится отдельными стержнями и плоскими каркасами, формирование геометрии железобетонной конструкции – с помощью несъемной опалубки.

Далее сборно-монолитные конструкции до бетонирования будем называть армоопалубочными блоками (армоблоками). Конструкцию армоблоков, применяемых на АЭС с реакторной установкой ВВЭР-1200 разработали специалисты АО «Атомэнергопроект» и АО «Институт Оргэнергострой» [13, 20, 56-61]. Разновидности армоопалубочных блоков представлены на рисунках 1.1-1.4.

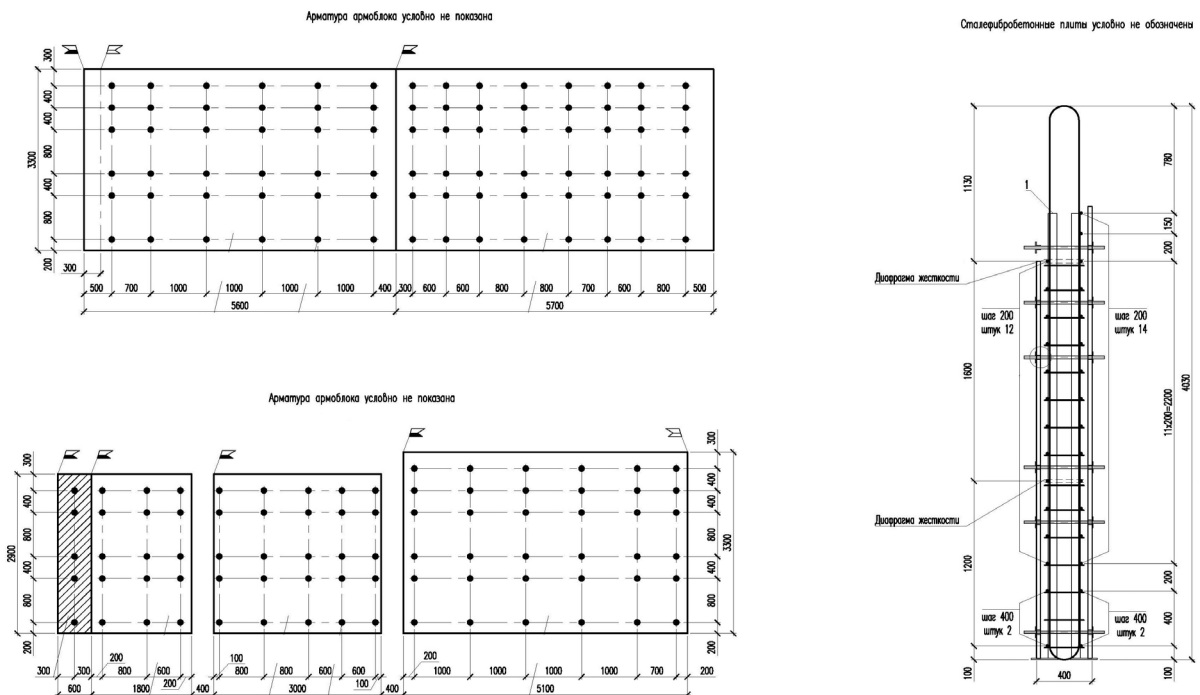


Рисунок 1.1. Чертеж армоопалубочного блока со сталефибробетонной опалубкой.



Рисунок 1.2. Опытные образцы армоблоков со сталефибробетонной опалубкой.



Рисунок 1.3. Монтаж армоблока перекрытия кольцевого коридора со стальной опалубкой на Курской АЭС-2.



Рисунок 1.4. Монтаж армоблока стены помещения компенсатора давления без несъемной опалубки на АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш).

В качестве несъемной опалубки в армоблоках могут применяться металлические листы с наваренными на них анкерующими элементами из уголкового профиля и упоров Нельсона [22], а также сталефибробетонные листы [23, 24].

Армирование в армоопалубочных блоках выполняется с помощью обычной стержневой арматуры. Производство пространственных арматурных каркасов в условиях цеха позволяет удобнее использовать сварные соединения для соединения позиций рабочей арматуры и закрепления поперечной арматуры, уменьшая тем самым количество вручную загибаемых позиций.

Соединения армоблоков между собой при использовании армирования пространственными арматурными каркасами могут производиться двумя способами:

- Соединения с использованием резьбовых муфт;
- Соединения с использованием петлевых стыков Передерия [21].

Из условия необходимости выполнения стыковых соединений и доставки арматуры на монтаже несъемная опалубка, закрепленная на армоблоке, имеет меньший размер, чем сам арматурный блок. Пространство между несъемной опалубкой армоблоков закрывается нащельниками, выполняемыми, как правило, из того же материала, что и несъемная опалубка на армоблоке. При использовании стальной опалубки стык заваривается на монтаже. При использовании сталефибробетонной опалубки стык закрывается сталефибробетонной плитой, закрепляемой на шпильках.

Из-за наличия стыков, а также невозможности возведения конструкций сложной конфигурации невозможно стопроцентное возведение железобетонных конструкций крупноблочным методом. Часть железобетонных конструкций выполняется традиционным методом. Эти части конструкций называются монолитными участками. Разные конструкции возможно возводить при использовании существующих технологий с различной степенью использования армоблоков. Применение армоопалубочных блоков и монолитных участков в различных конструкциях проанализируем по существующей рабочей документации реакторного здания проекта АЭС-2006. Перечень элементов анализируемых конструкций и объемы бетона приведены в таблице 1.1.

Табл. 1.1. Объемы бетона элементов конструкций реакторного здания, возводимых традиционным и крупноблочным методом

Наименование конструкции	Общий объем конструкции, м ³	Объем элемента конструкции, м ³	Объем части элемента конструкции, возводимой по технологии, м ³	
			Традиционной	Крупноблочной
Фундаментная плита	17062	16772	2753	14019
Транспортный портал. Конструкции фундамента	2379	803	298	505
Контурные стены обстройки	4420	925	219	706
Цилиндрическая часть НЗО	3688	725	50	675
Купол НЗО	1060	1060	113	947
Внутренние стены обстройки	12213	1706	411	1295
Перекрытия обстройки	15037	560	117	443
ЗЛА. Стены	6123	658	286	372
ЗЛА. Перекрытия	3202	1049	550	499
Цилиндрическая часть ВЗО	6945	2320	111	2209
Купол ВЗО	3999	3999	248	3751

Общий объем железобетонных конструкций реакторного здания проекта АЭС-2006 равняется 88350 м³. Найдем объем предельного применения армоблоков, рассчитанный как средневзвешенное значение с учетом не рассматриваемых конструкций по формуле (1.1):

$$S_{lim} = \frac{\sum_i \left(\frac{V_i^{rb} \cdot V_i}{V_i^{el} \cdot V} \right)}{\sum_i \left(\frac{V_i^{rb} \cdot V_i}{V_i^{el} \cdot V} \right) + \sum_i \left(\frac{V_i^t \cdot V_i}{V_i^{el} \cdot V} \right)} \cdot 100\% \quad (1.1), \text{ где}$$

S_{lim} – предельный объем использования промышленных конструкций, %;

V_i^t – объем части элемента i -ой конструкции, возводимой по традиционной технологии, м³;

V_i^{rb} – объем части элемента i -ой конструкции, возводимой по крупноблочной технологии, м³;

V_i^{el} – объем элемента i -ой конструкции, м³;

V_i^{rb} – объем элемента i -ой конструкции, возводимого по крупноблочной технологии, м³;

V – общий объем железобетонных конструкций реакторного здания, м³.

Подставив значения из таблицы 1.1 в формулу (1.1), получим значение объема использования промышленных конструкций, равное 78. % \approx 80 %.

Полученное значение может изменяться в зависимости от конкретных применяемых на проекте конструкций, а также от размера выборки анализируемых конструкций, но обобщенно показывает реальную степень применения армоопалубочных конструкций для возведения железобетонных конструкций реакторного здания АЭС. Значения степени применения армоблоков в таблице 1.1 могут превышать 80%, однако при рассмотрении всего реакторного здания необходимо учитывать все конструкции, в том числе и те. Степень использования армоблоков в которых не доходит до 80%.

Основным отличием строительной площадки атомной электростанции от большинства объектов промышленного и гражданского строительства является наличие строительной-монтажной базы. На строительной-монтажной базе располагаются, кроме административных и складских зданий и сооружений, также производственные цеха и площадки. На строительной-монтажной базе могут находиться бетонный завод, цеха арматурных изделий, закладных изделий, металлоконструкций. Кроме того, цеха по производству армоопалубочных блоков также могут располагаться на строительной-монтажной базе. На строительной-монтажной базе могут располагаться также цеха и площадки промежуточного укрупнения конструкций. Вид цехов и площадок по производству армоблоков представлен на рисунках 1.5, 1.6.



Рисунок 1.5. Цех производства армопалубочных блоков (АЭС «Руппур», Народная Республика Бангладеш).



Рисунок 1.6. Открытая площадка сборки армоблоков (АЭС «Руппур», Народная Республика Бангладеш).

Доставка армопалубочных блоков на строительную площадку от завода-изготовителя может осуществляться различными видами транспорта [73]. Вид транспорта, в первую очередь, зависит от расположения завода, где изготавливаются армоблоки. При расположении цехов изготовления на строительной-монтажной базе не требуется перевозка армоблоков по дорогам общего пользования. Поэтому для транспортировки может использоваться внутриплощадочный транспорт, в том числе негабаритный. Это самодвижущиеся платформы, а также прицепы. Пример внутриплощадочного транспорта представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7. Перевозка армоблока ВЗО на прицепе по территории площадки строительства (АЭС «Рупшур», Народная Республика Бангладеш).

При расположении цехов изготовления на удалении от строительной площадки для доставки армоблоков может использоваться автомобильный, железнодорожный и водный транспорт.

Автомобильный и железнодорожный транспорт может быть как габаритным, так негабаритным. При использовании габаритного транспорта

не возникает проблем при перевозках по дорогам общего пользования, однако размеры армоблока ограничиваются стандартными габаритами. При использовании негабаритного транспорта на дорогах общего пользования требуется перекрытие данных дорог для движения остального транспорта, а также возможно дополнительные технические работы (снятие кабельных линий, разбор пролетных строений и т.п.), что создает сложности с использованием негабаритного транспорта на постоянной основе.

При использовании водного транспорта ограничения по габаритам армоблоков существенно ниже, однако требуется наличие судоходных водных путей вблизи стройплощадки и постройка порта для приема грузов с водного транспорта.

После доставки на строительную площадку армоблоки могут поодиночке монтироваться в проектное положение, либо укрупняться на площадках укрупнительной сборки в монтажные сборки. Размер и масса армоблоков и сборок определяется грузоподъемностью и устойчивостью кранового оборудования, а также наличием соответствующих монтажных траверс.

После раскрепления армоблока в проектное положение доставляется стержневая арматура в местах стыка и устанавливаются нащельники. По окончании герметизации опалубки производится бетонирование. В качестве бетонных смесей рекомендуется использование самоуплотняющихся бетонных смесей, поскольку многие конструкции реакторного здания сильно насыщены арматурой и закладными изделиями. Для обеспечения функций биологической защиты при недостаточной толщине конструкции используется особо тяжелый бетон плотностью более 3350 кг/м^3 . Класс бетона в обоих случаях принимают обычно В30, для особо нагруженных конструкций – В60. При использовании армоблоков с несъемной опалубкой процесс распалубки не требуется. Пример выполнения стыковых соединений армоблоков представлен на рисунке 1.8.

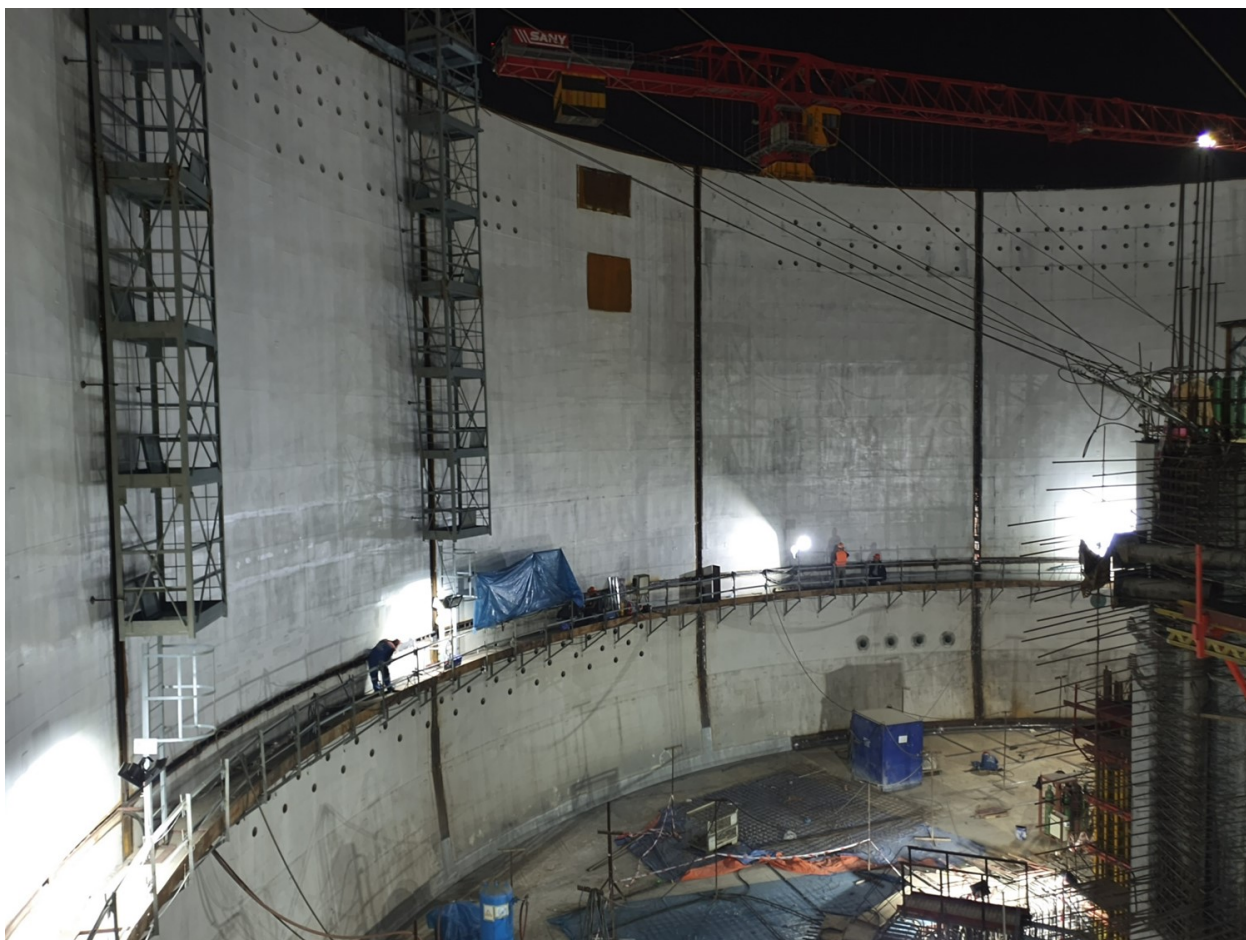


Рисунок 1.8. Выполнение стыковых соединений блоков ВЗО после монтажа в проектное положение (АЭС «Руппур», Народная Республика Бангладеш»).

Применение армоопалубочных блоков с несъемной опалубкой позволяет использовать технологию open top, предполагающую совмещенный монтаж строительных конструкций и оборудования. При использовании данной технологии при возведении помещения, в котором должно располагаться крупногабаритное технологическое оборудование, сначала возводятся стены (стены могут возводиться как крупноблочным, так и традиционным методом). Далее строительными монтажными кранами оборудование монтируется в проектное положение. И уже далее монтируется армоопалубочный блок перекрытия данного помещения. Армоблок перекрытия, как правило, выполняют самонесущим (имеющим в своем составе фермы, рассчитанные на восприятие нагрузок от свежесуложенной бетонной смеси). Из-за отсутствия инвентарных опалубочных систем при устройстве перекрытия, смонтированное ранее технологическое

оборудование при использовании самонесущего армоблока с несъемной опалубкой не препятствует возведению перекрытия.

В зарубежных проектах строительства АЭС также имеются решения по использованию крупноблочных конструкций для возведения строительных конструкций зданий и сооружений. Чаще всего на большинстве станции крупноблочные конструкции используются для возведения внутреннего контаймента реакторного здания (внутренней защитной оболочки – ВЗО – также называемой зоной локализации аварии – ЗЛА) [89].

Наиболее продвинутой можно считать технологию steel-plate composite (сталебетонные конструкции), используемую при реализации некоторых проектов АЭС AP-1000 в США и Китае [47-54, 76-78, 82, 95, 96, 98]. Данная технология предполагает использование блоков с металлической несъемной опалубкой, которая одновременно играет роль листовой арматуры. Стержневая арматура в данных конструкциях отсутствует. Опалубка представляет собой стальной лист с приваренными к нему анкерными упорами Нельсона для совместной работы опалубки с бетоном. Для сохранения геометрической неизменяемости блока между листами опалубки предусматриваются распорки. Вместо плоских листов в сталебетонных конструкциях могут использоваться так называемые стальные клинкеры, которые представляют из себя коробчатые стальные элементы, сваренные между собой [3]. По боковым краям клинкеров имеются отверстия для прохождения бетонной смеси. На внутренней поверхности клинкеров также имеются упоры Нельсона. Конструкции, выполненные по технологии steel-plate composite представлены на рисунках 1.9...1.13.

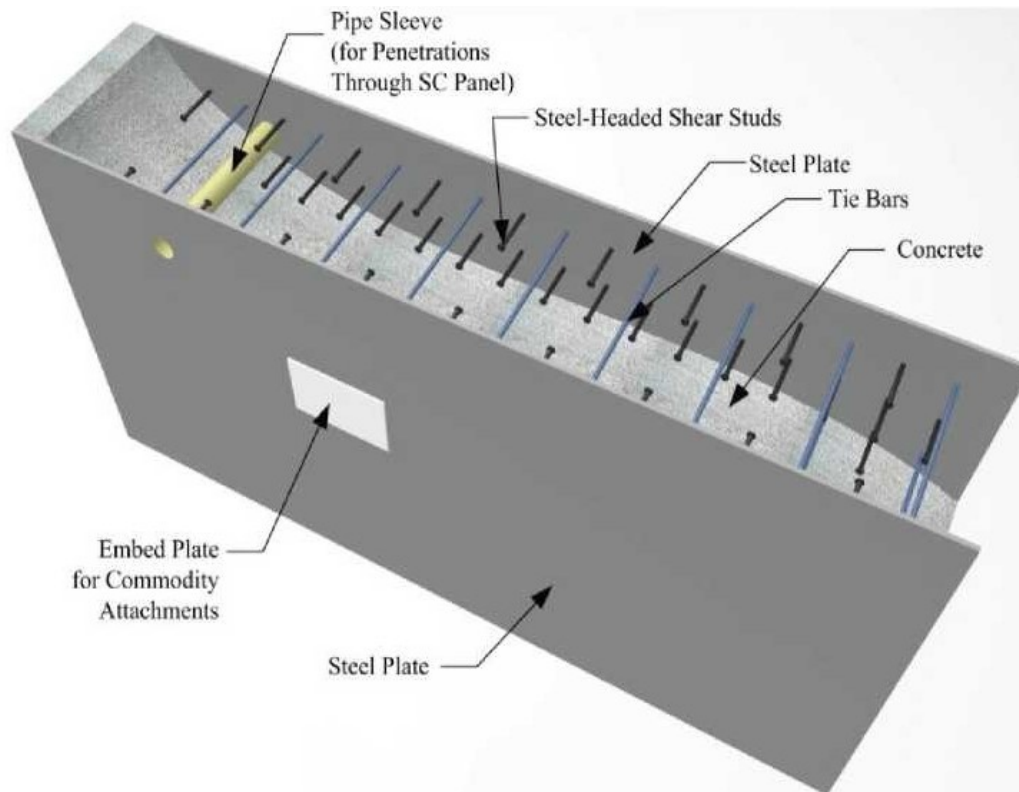


Рисунок 1.9. Схема конструкции, выполненной по технологии steel-plate composite.



Рисунок 1.10. Здание, возводимое по технологии steel-plate composite.

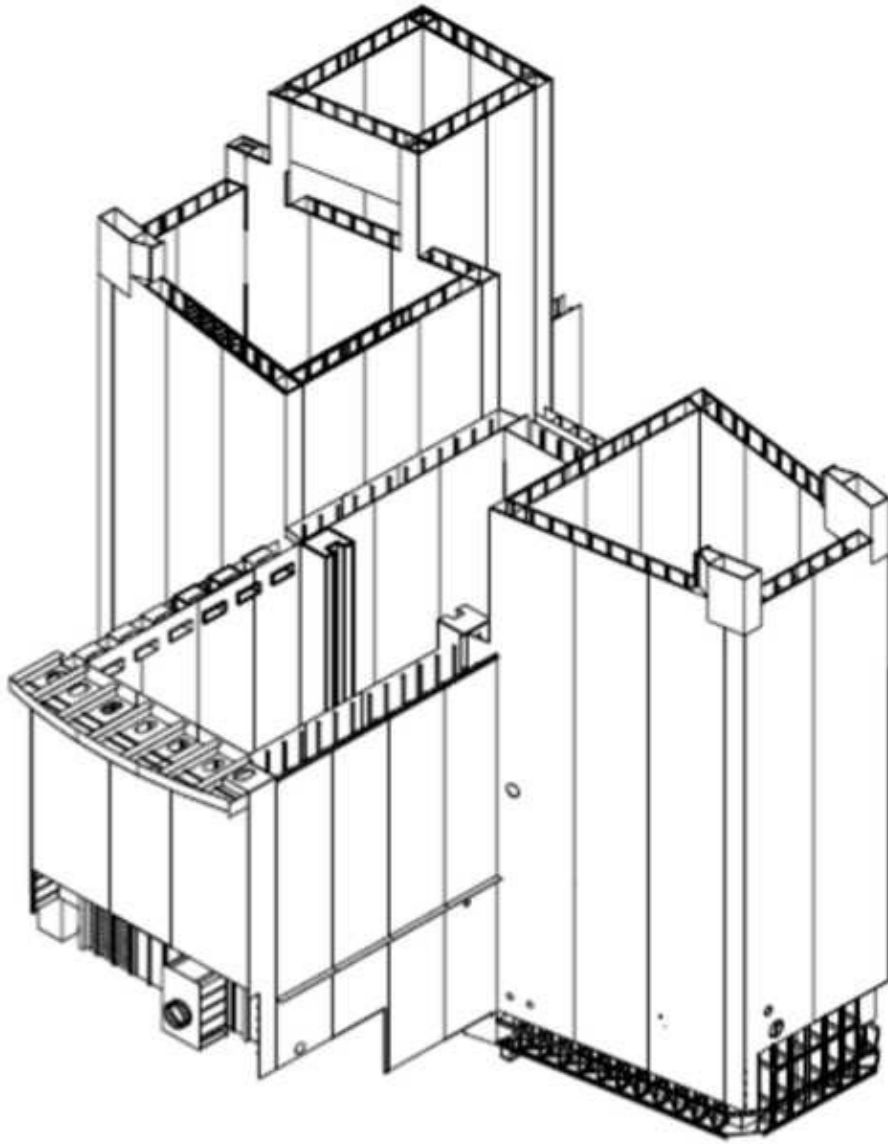


Рисунок 1.11. Монтажный блок строительных конструкций для АЭС проекта AP-1000.

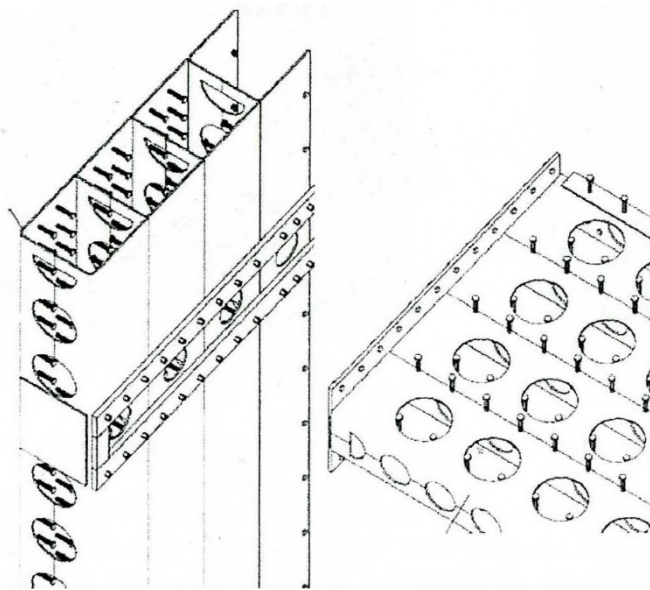


Рисунок 1.12. Схема конструкции, выполненной из стальных клинкеров.

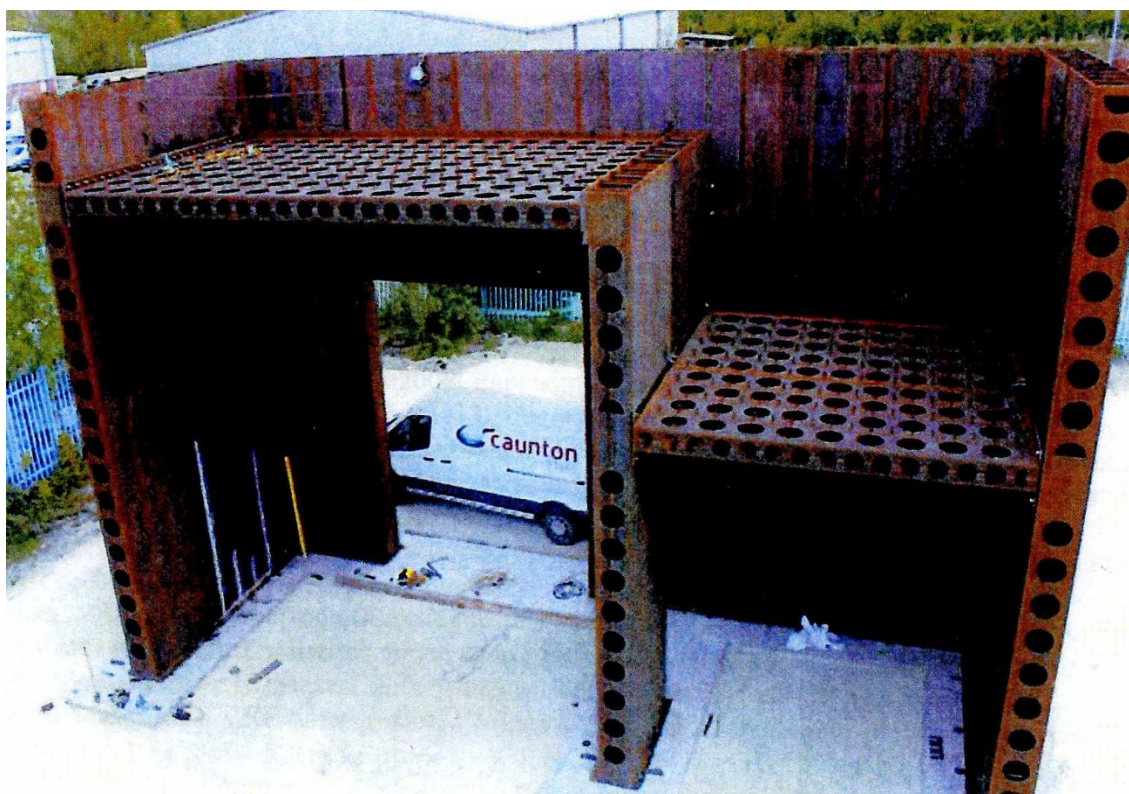


Рисунок 1.13. Опытная конструкция, выполненная из стальных клинкеров.

Отсутствие стержневой арматуры ускоряет соединение монтажных блоков. Также не требуются нащельники – блоки можно соединять встык. Но при этом к сварным стыкам предъявляются повышенные требования, поскольку они передают растягивающие напряжения, возникающие в листовом армировании. Однако остается открытым вопрос сохранения несущей способности конструкции при возникновении пожара. При 500-600 °С строительная сталь резко теряет прочность [87]. А поскольку при использовании технологии steel-plate composite стержневое армирование под защитным слоем бетона отсутствует, потеря прочности листовой арматуры приводит к полной неспособности несущей конструкции воспринимать растягивающие напряжения.

В Великобритании для строительства АЭС с малыми модульными реакторами также предполагается использовать конструкции промышленного изготовления. В данном случае используются сборные железобетонные конструкции [81]. По краям железобетонных блоков предусматриваются прямые арматурные выпуски. Выпуски двух соседних

блоков соединяются, как правило, с помощью сварных соединений. Стык замоноличивается с использованием инвентарной опалубки. Небольшие предельные габариты монтируемых блоков в данном типе проектов можно обосновать меньшими по сравнению с традиционными АЭС габаритами строений АЭС с малыми модульными реакторами. Однако о недостатках сборного железобетона при использовании его в качестве биологической защиты сказано ранее. Также к недостаткам можно отнести необходимость установки инвентарной опалубки и проведение распалубки забетонированной конструкции. Пример сборных конструкций для АЭС с малыми модульными реакторами приведен на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14. Сборные железобетонные конструкции для АЭС с малыми модульными реакторами.

При возведении АЭС проекта ABWR в Японии также предусматривалось использование крупноблочного монтажа [55, 79, 83]. В данном проекте активно использовались совмещенные монтажные блоки, когда в едином блоке монтировались строительные конструкции и технологическое оборудование. Отличительной чертой данного проекта является использование технологии RFID (Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация), которая по словам компании Hitachi облегчала процесс управления строительным процессом.

Некоторые существующие зарубежные решения вошли в публикацию Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), посвященной модуляризации (строительства АЭС из крупных блоков – модулей) [80]. В данной публикации даны общие требования к технологии и организации строительного процесса при использовании крупноблочных конструкций. В данной публикации указывается, что конструкции, системы и компоненты на

современных атомных станциях должны проектироваться как модульные системы, которые изготавливаются в цехах и устанавливаются в виде рамных сборных систем. С точки зрения организации проекта строительства указывается, что если используются модули, они должны быть включены в проект с самого начала процесса проектирования. В противном случае очень мало шансов, что строительные организации смогут использовать методы модульного строительства. Этот подход влияет на философию проектирования на этапе обоснования инвестиций, где системы возможно объединить для формирования модуля и, следовательно, оказывает эффект домино на все функции, следующие за процессом проектирования. Этот подход также оказывает существенное влияние на философию закупок и, следовательно, на стратегию строительства.

План использования модульности должен быть утвержден заранее, чтобы позволить этому подходу следовать на протяжении всего проекта, от концептуального и детального проектирования, на протяжении инженерной проработки, закупок, изготовления и монтажа.

Конструкции модуля должны планироваться с учетом ряда соображений, таких как:

- Определение габаритных параметров модуля;
- Интеграция всех соответствующих технических дисциплин;
- Временное раскрепление;
- Анализ для транспортировки и подъема;
- Подбор монтажных и юстировочных допусков;
- Требования к доставке и хранению;
- Требования защиты;
- Стандартизация модульных спецификаций.

Вопросы, которые необходимо учитывать при разработке плана модульного строительства, включают в себя:

- График модульного строительства, основанный на графике проекта;
- Последовательность перемещения на площадке, монтаж и испытание модулей;
- Параллельные обычные монтажные работы в близлежащих зонах;
- Надлежащее использование площадочной мастерской (мастерских) для сопровождения модульного монтажа.

В публикации МАГАТЭ также указывается, что так как модули могут быть изготовлены в контролируемой среде на заводе или в мастерской на площадке станции, на площадке требуется только последовательный монтаж модульных сборок. Это уменьшает перегруженность на площадке, улучшает доступ персонала и материалов и может улучшить график строительства. Это также может значительно снизить потребность в рабочей силе для работы на площадке АЭС.

Другие важные свойства и преимущества модульности включают в себя:

- Возможность массового производства модулей для нескольких блоков с соответствующим преимуществом сокращения времени производства и трудозатрат;
- Обеспечение контролируемой среды для производства модулей;
- Изготовление модулей до того, как площадка станет доступной;
- Возможность использования ускоренных методов отверждения для бетонных модулей;
- Сокращение графика (если модуль применен к критическому пути);
- Сокращение работ на площадке и уровня рабочей силы на площадке;
- Повышение производительности и качества в заводских условиях;
- Повышение безопасности и эффективности работ нулевого цикла.
- Основным преимуществом модульности является то, что она сокращает график путем:

- Создания параллельных строительных работ;
- Повышения производительности труда рабочих за счет обеспечения возможности сборки в контролируемых условиях цеха, а не на строительных площадках;
- Сокращения перегруженности стройплощадки, чтобы работы на площадке были более производительными;
- Тем, что позволяет строить модули на отметках и в легкодоступных местах (например, вертикальное стеновое армирование, сконструированное в горизонтальном положении на земле);
- Устранения или уменьшения воздействия погоды на строительной площадке (если сборка модуля происходит в помещениях).

С применением методов модульности сокращение графика строительства может составить от четырех до пяти месяцев. Расчет сокращения продолжительности выполнения операций при использовании модульных конструкций показан на рисунке 1.15.

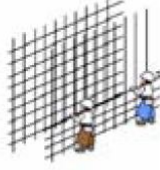
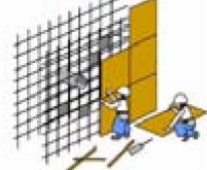
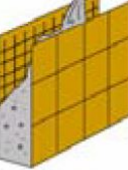
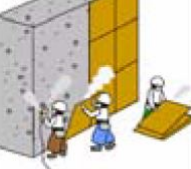


Work Structure	Rebar arrangement	Formwork (assembling)	Placing concrete	Formwork (removal)
RC		<i>Wood form</i> 		
Total 28days	13days	7days	4days	4days
SC	—	<i>Steel plate</i>  (Welding)		—
Total 14days	-	10days	4days	-

Рисунок 1.15. Расчет сокращения продолжительности выполнения операций при использовании модульных конструкций.

Решение о том, применять ли модульный подход, должно приниматься на этапе концептуального проектирования, и затем оно должно соблюдаться на протяжении всего проекта: от детального проектирования, инженерной проработки, закупок, изготовления и монтажа до завершения ввода в эксплуатацию. Таким образом, оборудование может быть спроектировано так, чтобы оно было удобно размещено в модуле. В дополнение к грузоподъемности крана особо высокой грузоподъемности, соображения о размере модулей включают в себя вопрос о том, доступна ли площадка с моря, или необходимо изготовить субмодули для доставки по железной дороге на площадку.

Использование модульности накладывает некоторые требования на график проекта. Проектирование должно быть завершено до закупки модулей. Материалы, необходимые для модулей, должны быть заказаны раньше, чем это было необходимо для традиционного строительства. Это также влияет на график закупок компонентов. Использование нескольких поставщиков модулей также потребует строгой координации для обеспечения надежного времени доставки. Наконец, модульность потребует детального плана того, как упорядочить и запланировать соединения между смежными модулями.

Модульность действительно создает проблемы для графиков проекта. Эти проблемы включают, но не ограничиваются следующим:

- Графики проектирования могут увеличиваться из-за дополнительных предварительных работ;
- Могут потребоваться значительные проектные усилия;
- Каждый модуль может иметь уникальный принцип такелаж;
- В некоторых случаях размер и вес больших модулей требуют, чтобы модули доставлялись баржей на площадку;
- Потребуется строительство временной транспортной инфраструктуры и зон складирования на этапе подготовки площадки к постановке и применению крупных модулей после доставки на площадку;

- Поздняя доставка модулей может привести к задержкам графика и сбоям;
- Установка модулей должна быть высоко структурирована и приоритетна, чтобы соединения могли быть выполнены оперативно;
- Повреждение модулей при доставке на площадку может привести к задержкам.

В дополнение к влиянию на график строительства и снижению трудозатрат на площадке, некоторые важные факторы, которые необходимо учитывать при принятии решения о модульности, включают в себя:

- Необходимость завершения общего проектирования станции до изготовления модулей;
- Строительство заводов или мастерских по изготовлению модулей;
- Необходимость более ранних затрат средств на разработку, материалы и комплектующие до изготовления модулей;
- Увеличение разработок для модулей;
- Увеличение временных крепежных конструкций;
- Необходимость в дорогих кранах большой грузоподъемности;
- Увеличение транспортных расходов.

1.2. Особенности жизненного цикла АЭС.

Согласно нормативным правовым актам РФ, жизненным циклом здания или сооружения называют период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения. Учитывая специфику атомных электростанций, Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) была предложена немного другая формулировка. По ней в число стадий жизненного цикла включаются планирование, выбор площадки, проектирование, изготовление, строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию, вывод из эксплуатации.

Приведенные выше определения в обоих случаях не охватывают большое количество нюансов, которые наступают до этапа проектирования. Этот первый этап назовем предпроектным. В ходе него, помимо проведения инженерных изысканий, планирования и выбора площадки, осуществляются также юридические процедуры, разрабатываются обоснование инвестиций (ОБИН), предварительный отчет по обоснованию безопасности (ПООБ), оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), эскизный проект.

В рамках инженерных изысканий проводятся инженерно-геологические, инженерно-геодезические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-экологические, инженерно-геотехнические изыскания. Также к инженерным изысканиям относятся и научные исследования в процессе проведения изысканий. Выбор площадки строительства осуществляется как на основе экономических факторов (АЭС обычно строят в регионах с недостатком электрической энергии либо для замещения мощностей, выводимых из эксплуатации), так и на основе изысканий и обоснования класса площадки на основе наличия внешних воздействия определенных степеней опасности с заданными оценными вероятностями.

В ходе ОБИН рассматриваются различные варианты реализации проекта. В том числе различные концепции по возведению зданий и сооружений комплекса АЭС. Рассматриваются способы и источники поставок строительных материалов и конструкций. Производится оценка различных вариантов на основе экономических и организационных факторов. При реализации проектов строительства АЭС за рубежом обязательно должны учитываться требования правительства тех стран, в которых осуществляется строительство. Требования правительств могут касаться количества местного населения, задействованного в качестве трудовых ресурсов, или создания попутной инфраструктуры (заводы и другие предприятия), либо использования уже существующих на территории данной страны.

В рамках ПООБ и ОВОС производятся соответствующие обосновывающие расчеты и требования к зданиям, сооружениям и

оборудованию АЭС для обеспечения безопасности для населения и персонала, и недопущения сверхнормативных выбросов веществ в окружающую среду. На основе проведенных изысканий, расчетов и ОБИН разрабатывается эскизный проект.

На предпроектном этапе вопросы выбора технологии возведения являются ключевыми. От определения долей использования традиционной и крупноблочной технологий при возведении реакторного здания АЭС зависит как организационная структура будущего строительного проекта, так и экономические показатели реализуемого проекта. Принятые на предпроектном этапе решения касательно технологии возведения и соответствующей ей организационной структуры формируют облик проектного этапа и этапа строительства. В частности, они влияют и на перераспределение трудозатрат между данными этапами.

Утвержденный на предпроектном этапе эскизный проект ложится в основу для разработки проектной документации. На основе проектной документации разрабатывается рабочая документация. Аспекты разработки проектной и рабочей документации описаны в разделе 1.1. При возведении АЭС за рубежом, если данное требуется по контракту, должны быть учтены требования законодательных и нормативных требований к проектированию и строительству, принятых в стране-заказчике. В процессе проектирования на основе данных проектной документации осуществляется планирование закупок. Проектировщики передают предварительные спецификации отделу закупок для формирования лотов. Параллельно с разработкой ПД и РД для АЭС может разрабатываться информационная модель, включающая в себя трехмерную модель зданий и сооружений в совокупности с атрибутами и графиками, обеспечивающими управление строительством: графиком производства работ, физическим объемами, трудовыми ресурсами, нетрудовыми ресурсами, стоимостью сооружения и т.д.

Процесс строительства АЭС подразделяется на два периода – подготовительный и основной. Во время подготовительного периода

возводится строительно-монтажная база, расчищается площадка строительства, прокладываются требуемые временные дороги и коммуникации. Подготовительный период начинается с момента подписания между Заказчиком и Генеральным подрядчиком договора на сооружение АЭС, а заканчивается полной готовностью к укладке первого бетона в фундаментную плиту реакторного здания первого энергоблока. Продолжительность подготовительного периода строительства в современных проектах составляет около 2 лет.

В процессе основного периода строительства возводятся строительные конструкции зданий и сооружений АЭС, производится отделка помещений и наружных поверхностей, производятся тепломонтажные и электромонтажные работы, монтаж прочих систем. Период основного периода строительства завершается готовностью ввода в эксплуатацию энергоблока. Для существующих проектов продолжительность основного периода строительства составляет 5-6 лет для одного энергоблока. Как правило, энергоблоки вводятся с шагом 1-1.5 года.

В процессе сооружения АЭС могут осуществляться внесение корректировок в ранее разработанные на проектном этапе проектную и рабочую документацию. Корректировки могут возникать при изменении технических решений, принятых в момент строительства, выявления проектных ошибок либо ошибок Подрядчика.

В рамках данной диссертационной работы рассматриваются вопросы, которые имеют отношение к предпроектному этапу, проектному этапу и этапу строительства. Вопросы, рассматриваемые в данной диссертации, не затрагивают такие периоды жизненного цикла, как эксплуатация и вывод из эксплуатации, поскольку организационные структуры при эксплуатации и выводе из эксплуатации будут зависеть от других факторов. Рассматриваемые в данной работе технологии возведения железобетонных конструкций незначительно воздействуют на процессы при эксплуатации и выводе из эксплуатации атомных электростанций.

1.3. Анализ организационно-технологических процессов в зависимости от степени укрупнения блока.

Вопросы определения рациональных габаритов армоопалубочных блоков рассматривались еще на технологиях возведения АЭС предыдущих поколений. Рассмотрением проблемы занимались такие ученые, как А.С. Гриценко, Р.Р. Темишев, Б.К. Пергаменщик, А. Берндт [2, 11, 63, 70]. Данные работы в большей части посвящены технологическим аспектам крупноблочного строительства. Организационные особенности рассматриваются в данных исследованиях лишь частично.

А.С. Гриценко указывает, что рациональную степень укрупнения необходимо определять по трудоемкости, поскольку стоимостные показатели искажают величину общих затрат овецественного труда, не являясь постоянными на протяжении всего периода строительства [11]. Показателем, наиболее достоверно отражающим действительные затраты труда, является трудоемкость работ, исчисляемая на всех этапах строительства: изготовления, сборки с укрупнением и монтажа конструкций. Он предлагает определять рациональную степень укрупнения монтажных блоков по трем самостоятельным критериям:

- Трудоемкости работ на стадии изготовления, сборки с укрупнением и монтажа;
- Продолжительности возведения несъемной опалубки стен реакторных отделений;
- Приведенным трудовозатратам на стадии изготовления, сборки с укрупнением и монтажа.

В защищаемой диссертации в качестве основной численной единицы также приняты трудовозатраты, поскольку стоимостное выражение реорганизации строительного процесса будет различаться в зависимости от множества факторов: страна строительства, вид контракта, рынок поставки

материалов, квалификация трудовых ресурсов, отпускная цена электроэнергии и т.п.

Исследователь указывает, что увеличение единичной массы монтажных блоков возможно укрупнением в условиях сборочных площадок из нескольких элементов перед монтажом, а применение различных сочетаний элементов в монтажном блоке увеличивает или уменьшает массу монтажных блоков, изменяя при этом трудоемкость работ при сборке с укрупнением и монтаже. Он выводит эмпирические корреляционные зависимости между трудоемкостью работ и массой монтажных блоков. В вопросе предмонтажного укрупнения важными аспектами являются схема механизации монтажа и конфигурация строительной площадки в целом. Площадка укрупнительной сборки должна либо располагаться в пределах досягаемости монтажных кранов, либо должен быть организован внутриплощадочный транспорт в зону действия монтажных механизмов. Выведенные Гриценко корреляционные зависимости крайне сильно привязаны к рассматриваемой им технологии возведения и не могут быть адаптированы к современным технологиям.

Р.Р. Темишев говорит, что трудозатраты на монтаж практически определяются составляющей по организации стыков между блоками, так что остальными составляющими (по установке блоков и на монтаж россыпи вне стыков), во многих случаях, можно пренебречь [70]. Данное утверждение не подтверждается натурными замерами трудозатрат на возводимых в настоящее время по современным технологиям АЭС. Также он приводит тезис, что по длине конструктивно-однородных стыков трудозатраты распределяются равномерно. При оценке реальных трудозатрат в масштабах отдельных конструкций или всего реакторного здания данный тезис подтверждается. Однако стоит заметить, что при детальном рассмотрении технологических аспектов в микромасштабе данный тезис возможно оспорить. Однако слишком подробное рассмотрение технологических нюансов в данной работе не требуется.

Исследователь указывает, что трудозатраты при укрупнении и монтаже конструкций АЭС следует рассчитывать отдельно для каждой конструктивно-однородной части здания и каждому стыку примыкания между ними с последующим суммированием. Заключение о том, что трудозатраты необходимо рассматривать для каждой однородной конструкции отдельно, справедливо и подтверждается натурными наблюдениями. Например, конструкции реакторного здания крайне неоднородны по толщине, степени армирования и степени насыщения конструкций закладными изделиями и трубными проходками. В современных проектах, например, АЭС-2006, возможно выделить не менее 19 разнородных конструкций, трудозатраты для возведения которых рационально рассматривать раздельно. Однако расчет трудозатрат для каждого отдельного стыка является излишне трудоемким процессом, требующим большого массива исходных данных. Для нашего исследования рационально принять удельные трудозатраты на стыки между блоками одинаковыми для каждой однородной конструкции.

Он также указывает, что трудозатраты для одной части здания рекомендуется вычислять суммированием составляющих по установке блоков в проектное положение, организации стыков между ними, и на монтаж россыпи, каждая из которых определяется произведением удельных трудозатрат на соответствующий приведенный объем работ.

В совместной статье Б.К. Пергаменщика и Р.Р. Темишева также указывается, что трудозатраты на этапе монтажа одной конструктивно-однородной части здания рассчитываются суммированием составляющих по установке армоопалубочных блоков в проектное положение, организации стыков между блоками, а также стыков с ранее возведенными конструктивами, по монтажу россыпи [63]. Каждая составляющая вычисляется суммированием приведенной удельной величины на соответствующий объем работ. Авторы указывают, что удельные величины инвариантны относительно степени укрупнения и характера разрезки, что

позволяет оценить суммарные трудозатраты различных вариантов монтажных схем, не прибегая к корректировке нормативной базы.

Авторы рассчитывают удельные величины различных трудозатрат к той величине объема, которые характерны для данной работы: тонна, метр, блок и т.п. Однако подобный подход не позволяет сопоставить трудозатраты на разные виды работ и получить перераспределение трудозатрат, на основе которого можно трансформировать организационную структуру строительного проекта. В защищаемой диссертационной работе применен подход сведения всех трудозатрат по отдельным типам работ к единому показателю – человеко-часам, отнесенным к одному кубическому метру будущей железобетонной конструкции.

Пергаменщик и Темишев показывают организационные аспекты, которые появляются при изменении блочности. Так появляются дополнительные операции по разгрузке заводских блоков на площадке укрупнительной сборки, их установке на стенды-кондукторы, погрузке укрупненных монтажных блоков на транспортные средства. Появляется необходимость обеспечить на этапе укрупнения дополнительную транспортно-монтажную жесткость блоков путем установки дополнительных связей при организации стыков. Но работы на укрупнении выполняются в более комфортных условиях, отсутствует или снижается величина повышающего коэффициента, связанного с высотными, а также неудобными и стесненными условиями работ.

Выводы по главе 1:

1. Одной из главных особенностей возведения больших и сложных сооружений, какими являются объекты АЭС становится новый подход к формированию адаптивной организационной структуры, основанной на широком применении индустриальных технологий строительства, сочетающих в себе как традиционные методы, так и новые способы строительства, основанные на принципах крупноблочного монтажа.

2. Технически сложные и уникальные объекты строительства при сооружении их крупноблочным методом требуют обязательного расчета максимальной индустриализации конструкций и граничных условий возведения.

3. Технологическая и строительная сложность возводимых сооружений АЭС обуславливает основные особенности реализации жизненного цикла АЭС в части совмещения строительной и проектной стадии, что в свою очередь предопределяет особенности формирования организационной структуры.

4. Основной особенностью строительной площадки АЭС является наличие строительной-монтажной базы, возводимой за долго до начала периода строительства, с целью создания производственных мощностей в непосредственной близости строительства.

5. Основой формирования организационной структуры проекта является выбор технологии возведения объектов строительства АЭС как правило, рациональный вид оргструктуры проекта, определенного на основе анализа трудоемкости при использовании различных технологий.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

2.1. Влияние технологических факторов на организационную структуру проекта

В основе приводимого исследования лежит комплексный подход. Основная идея исследования – определение влияния технологических факторов, а также логистических и организационных ограничений различных методов возведения железобетонных конструкций на организационную структуру проекта посредством увеличения, уменьшения, а, как следствие, перераспределения трудозатрат между участниками проекта.

Для выявления обозначенных факторов был проведен анализ особенностей проектирования, организации и управления строительством АЭС с использованием различных технологий возведения железобетонных конструкций и в зависимости от степени укрупнения блока. Выявленные особенности далее использовались при формировании методики и определении граничных условий.

Для визуализации процессов перераспределения трудозатрат между участниками проекта была разработана система перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС. Система основана на системотехнических принципах представления систем. Для построения данной модели предварительно были проанализированы организационные структуры строительных предприятий с разными функциями.

Для разработки способа определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС с учетом граничных условий был применен синтез проанализированных ранее факторов и особенностей, и с помощью математического аппарата получены соответствующие зависимости. Полученные зависимости имеют вероятностный результат, визуализируемый как поле возможных вариантов.

Проводя синтез системы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС и способа определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС с учетом граничных условий, была разработана методика формирования организационной структуры проекта и блок-схема алгоритма формирования организационной структуры проекта.

Апробация сформулированной методики проводилась на основе собранных автором статистических данных на базе возведения некоторых конструкций реакторного здания.

2.2. Исследование организационная структура проекта строительства АЭС как системы

Понятие система можно определить как множество элементов, находящихся в связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. Элементом является часть системы, которая рассматривается без дальнейшего деления как единое целое. Элементы в свою очередь могут быть рассмотрены как системы, но в данном случае это будет система другого типа, нежели рассматриваемая. Связь представляет собой специфический элемент системы, осуществляющий непосредственное взаимодействие между элементами системы. Связи объединяют элементы в целостную систему. Между элементами системы всегда устанавливаются связи, существование элементов в несвязанном виде невозможно [42, 67].

Связи системы могут быть прямыми и косвенными. Прямой связью будет непосредственное взаимодействие элементов. Косвенная связь – связь через систему как целое. Если некоторое множество элементов образует систему, то все пары элементов этого множества, которые не связаны прямой связью, соединяются посредством косвенной связи. Элементы и прямые связи между этими элементами образуют структуру системы.

Для упорядочения сложной системы введем понятие подсистемы. Подсистема обладает спецификой всей системы. Подсистема самого нижнего уровня не может быть разложена на другие подсистемы – только на элементы. С помощью подсистем различных уровней систему возможно иерархически упорядочить. При использовании иерархической структуры связи системы можно разделить на два вида – горизонтальные и вертикальные. Горизонтальными будут являться связи между подсистемами или элементами одного уровня, вертикальными связями – связи между элементами и подсистемами разных уровней системы.

Элементы системы могут иметь присущие им свойства и характеристики. Для рассмотрения всех элементов в рамках единой системы требуется, чтобы характеристики элементов были сопоставимы по своей природе. Система находится в определенном окружении, называемом внешней средой, которая может оказывать определенное воздействие на систему.

Если система сохраняет текущее состояние при внешнем или внутреннем воздействии на систему, то такую способность систему именуют устойчивостью. Устойчивость может быть статической (когда подавляются любые возмущения внутри системы) и динамической (когда система допускает гармонические колебания внутри себя без критического возрастания амплитуды).

Под воздействием внешних сил система может менять свое состояние. Данную способность системы называют гибкостью. Гибкость системы бывает двух видов: статическая (достигаемая гибкостью элементов системы) и адаптивная (достигаемая гибкостью связей элементов системы). Другими способностями, которыми обладает система, являются надежность и стойкость. Надежность – это свойство системы сохранять в течение определенного промежутка времени значения параметров, характеризующих функционирование системы. Стойкость – это способность противостоять внешним воздействиям в докритической области функционирования системы.

Вопросы рассмотрения систем в строительстве исследовали такие ученые, как А.В. Гинзбург, А.А. Лapidус, В.И. Теличенко, А.А. Морозенко, С.А. Синенко, Р.К. Газарян, А.Е. Щеголь и другие [5-8, 19, 25-30, 33-45, 66, 74].

Имея колоссальный опыт создания объектов атомной энергетики, Госкорпорация «Росатом» выработала собственную идеологию формирования организационных структур сооружения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ).

Главным условием успешной реализации проектов является создание отраслевой системы комплексного управления стоимостью и сроками их возведения. Собственно организационная структура реализации проекта сооружения АЭС является конгломеративом организационных структур организаций заказчика, которым является подразделение «Росатома» и целого комплекса подрядных организаций, привлекаемых как участников проекта. Задачей заказчика является создание условий для эффективной реализации проекта. Для достижения этой цели «Росатом» разработал на базе Total Cost Management Framework [93] систему Total Cost Management Nuclear Construction – TCM NC.

Система TCM NC обеспечивает достижение целевых результатов в управлении стоимостью, управлении сроками, в контроле затрат и рисков, в создании привлекательных условий для партнеров-инвесторов [31].

В данной работе рассматривается строительный проект возведения реакторного здания как часть инвестиционно-строительного проекта. В строительном проекте не учитываются вопросы инвестиционно-экономической деятельности. Упрощенно в строительный проект входят следующие функциональные блоки (участники проекта):

- Блок заказчика;
- Проектный блок;
- Блок подрядчика;
- Блок поставщиков материалов;
- Индустриальный блок;
- Логистический блок.

Схема строительного проекта представлена на рисунке 2.1.

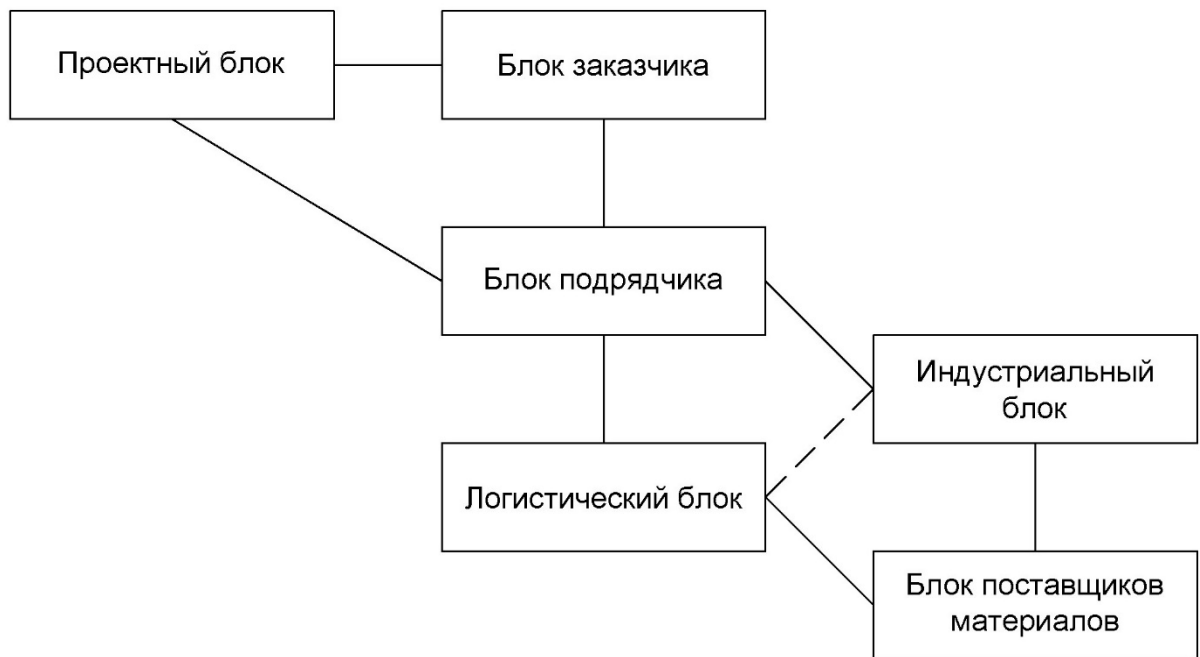


Рисунок. 2.1. Организационная структура строительного проекта.

В блок заказчика входят структуры, ответственные за реализацию строительного проекта и организующие взаимосвязь между участниками проекта.

В проектный блок входят структуры, обеспечивающие заказчика проектной продукцией.

В блок подрядчика входят структуры, непосредственно производящие строительно-монтажные работы, обеспечивая тем самым возведение объекта строительства.

В блок поставщиков материалов входят структуры, обеспечивающие блок подрядчика материалами для производства строительно-монтажных работ. Под материалами следует понимать продукты, которые требуют существенных трудозатрат до преобразования их в окончательный объект строительства.

В индустриальный блок входят структуры, обеспечивающие блок подрядчика изделиями для производства строительно-монтажных работ. Под изделиями следует понимать продукты, которые требуют значительно меньших трудозатрат до преобразования их в окончательный объект строительства.

В логистический блок входят структуры, обеспечивающие транспортировку материалов и изделий от блоков поставщика материалов и заводского блока к блоку подрядчика.

Строительный проект можно рассмотреть как систему. Подсистемами верхнего уровня будут являться функциональные блоки. Каждый функциональный блок можно разложить на подсистемы более низкого уровня, которыми будут являться предприятия, входящие в данный функциональный блок. Подсистемами еще более низкого уровня будут являться филиалы и подразделения в соответствии с организационной структурой данных предприятий. Внешней средой данной системы будут государственные структуры РФ, государственные структуры страны-заказчика, внешние рыночные структуры.

Рассмотрим каждый из функциональных блоков. Блок заказчика состоит из заказчика и застройщика. Для блока заказчика внешней средой подсистемы помимо внешней среды целиковой системы будет сам строительный проект. Связь с внешней средой, характерной для системы, имеют обе подсистемы, однако основную связь со всем строительным проектом имеет застройщик. В качестве заказчика обычно выступает уполномоченный орган страны, которая заказывает строительство АЭС, либо лицензированное данной страной частное предприятие. В качестве застройщика для одного строительного

проекта (возведение одного или нескольких энергоблоков на одной площадке) следует рассматривать управление капитального строительства организации, которая в будущем планирует эксплуатировать данную атомную электростанцию. Структура застройщика как подсистемами может быть представлена следующими элементами:

- Договорной отдел;
- Отдел качества и входного контроля;
- Отдел планирования и учета поставок оборудования;
- Отдел управления проектом;
- Планово-экономический отдел;
- Производственно-технический отдел;
- Сметный отдел;
- Отдел строительного контроля.

Организационная структура блока заказчика представлена на рисунке 2.2.

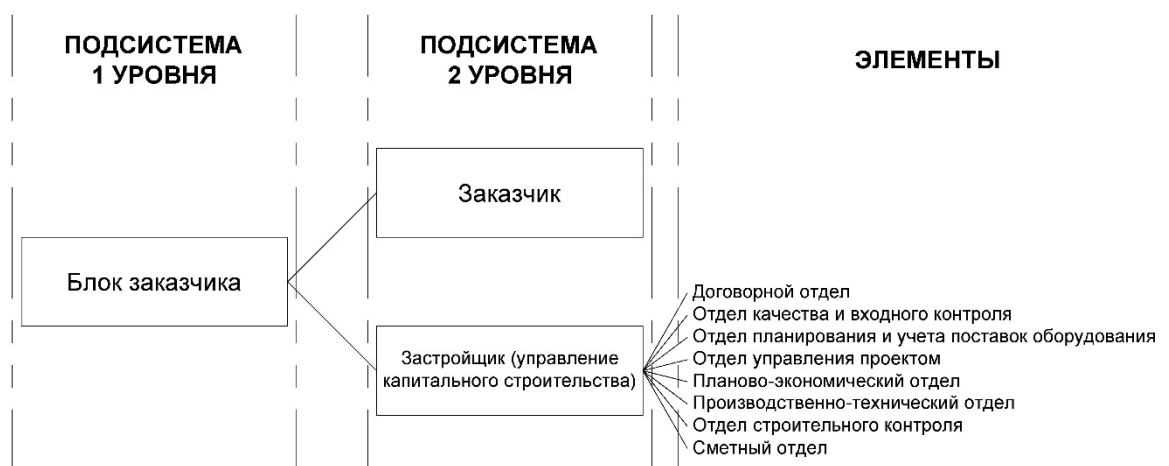


Рисунок. 2.2. Организационная структура блока заказчика.

Проектный блок раскладывается на Генпроектировщика и субподрядных проектных организаций (СПО). Внутри подсистемы проектного блока прямые связи существуют между Генпроектировщиком и каждым из СПО в отдельности. Прямые горизонтальные связи между разными СПО отсутствуют. Внешней средой подсистемы помимо внешней среды

общей системы будет сам строительный проект. Прямую связь со внешней средой имеет только Генпроектировщик.

Структура Генпроектировщика состоит из следующих подсистем:

- Блок проектного производства;
- Блок управления проектированием;
- Блок внутреннего заказчика;
- Блок поддерживающих функций;

Блок проектного производства состоит дирекции по инженерным изысканиям и филиалов. Дирекции и филиалы состоят из бюро и управлений. Бюро и управления состоят из отделов. Отдел прием в системе как элемент, поскольку для нашего масштаба рассмотрения дальнейшее членение подсистем не имеет практического смысла.

Блок управления проектированием состоит дирекции по технической политике, дирекции по качеству и процессному управлению, дирекции по экономике проектного производства. Данные дирекции состоят из управлений, которые в свою очередь состоят из отделов.

Блок внутреннего заказчика состоит из групп управления проектами и филиалов организации в на объектах строительства. Филиалы подразделяются на отделы.

Блок поддерживающих функций состоит из дирекций по персоналу, по безопасности, по административным вопросам, внешнеэкономической деятельности, технического перевода, внутреннего контроля и аудита, бухгалтерии и т.д.

В рамках одного строительного проекта требуется рассматривать группу управления и филиал организации только по одному проекту, поскольку остальные группы управления и филиалы будут принадлежать только другим строительным проектам. Остальные бюро, управления и дирекции нужно рассматривать в каждом из строительных проектов, поскольку они выполняют

свои функции по многим проектам. Таким образом, Генподрядчик, как правило, имеет матричную структуру организации.

Субподрядные проектные организации могут быть организованы схожим образом, однако они, как правило, имеют меньшие размеры и, соответственно, более простую структуру. Обычно субподрядные проектные организации как подсистемы состоят напрямую из элементов – отделов.

Матричная структура проектного блока представлена на рисунке 2.3. Структуры подсистем проектного блока – блока проектного производства, блока управления проектированием, блока поддерживающих функций – представлены на рисунках 2.4-2.6.

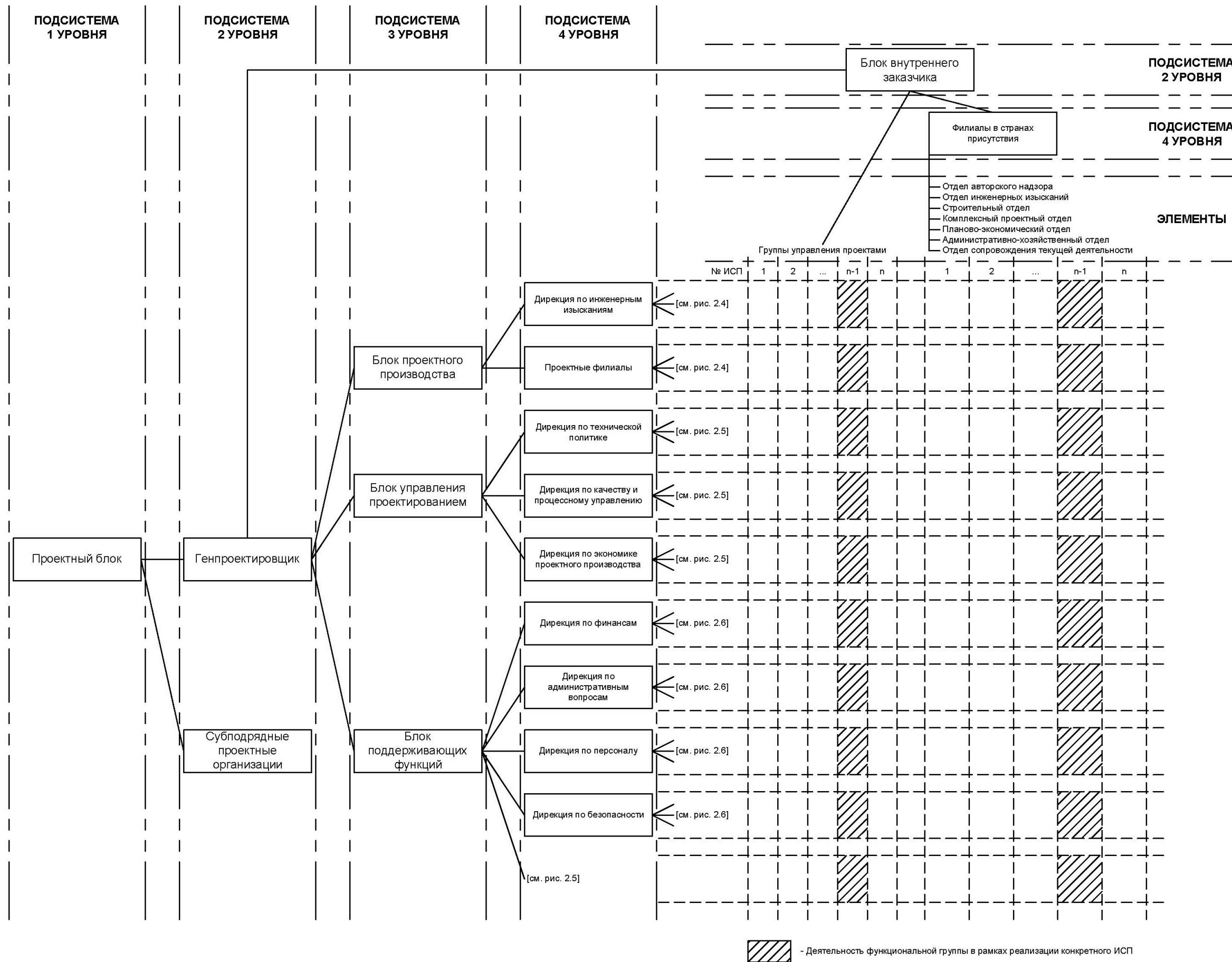


Рисунок 2.3. Организационная структура проектного блока.

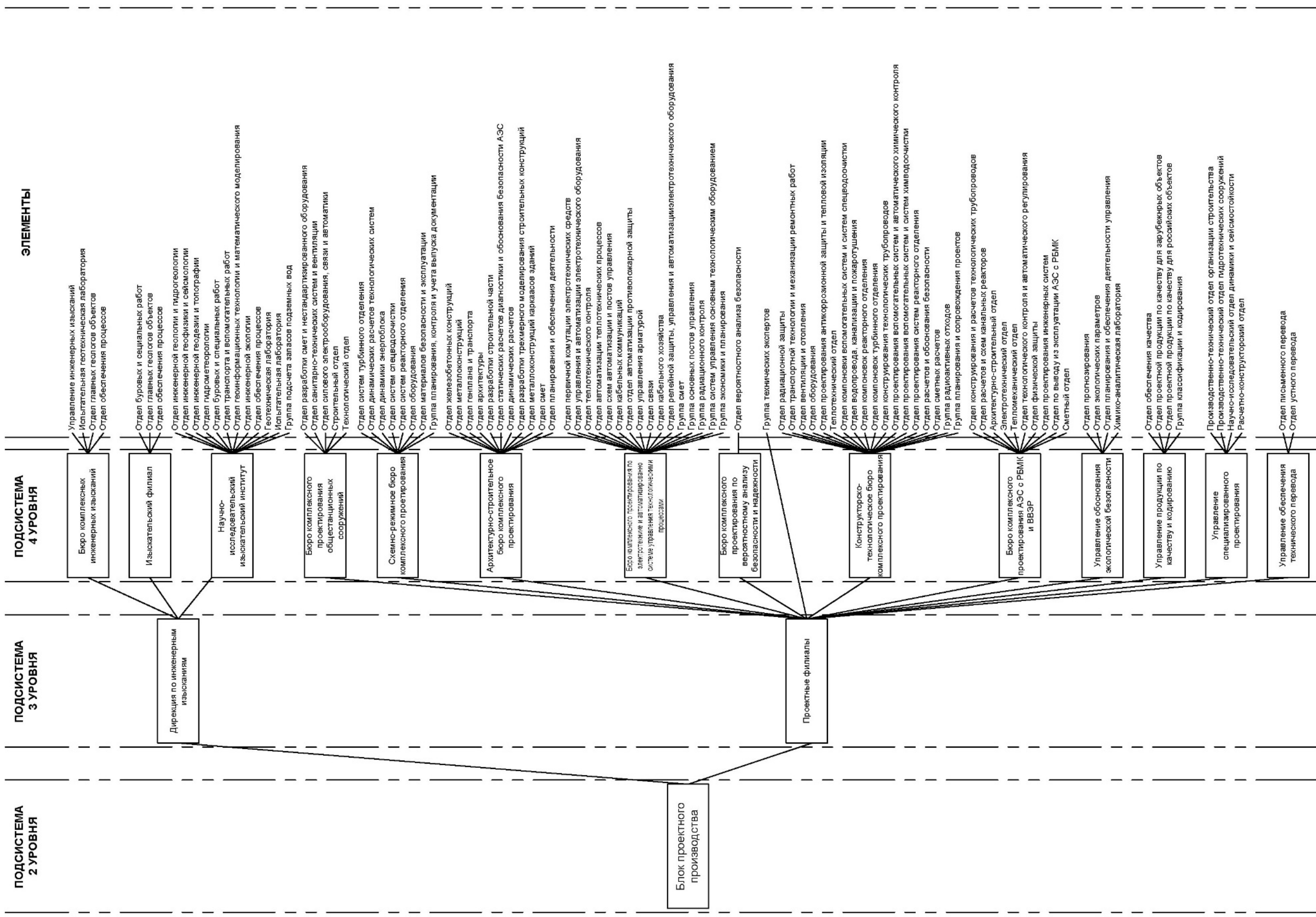


Рисунок 2.4. Организационная структура блока проектного производства.

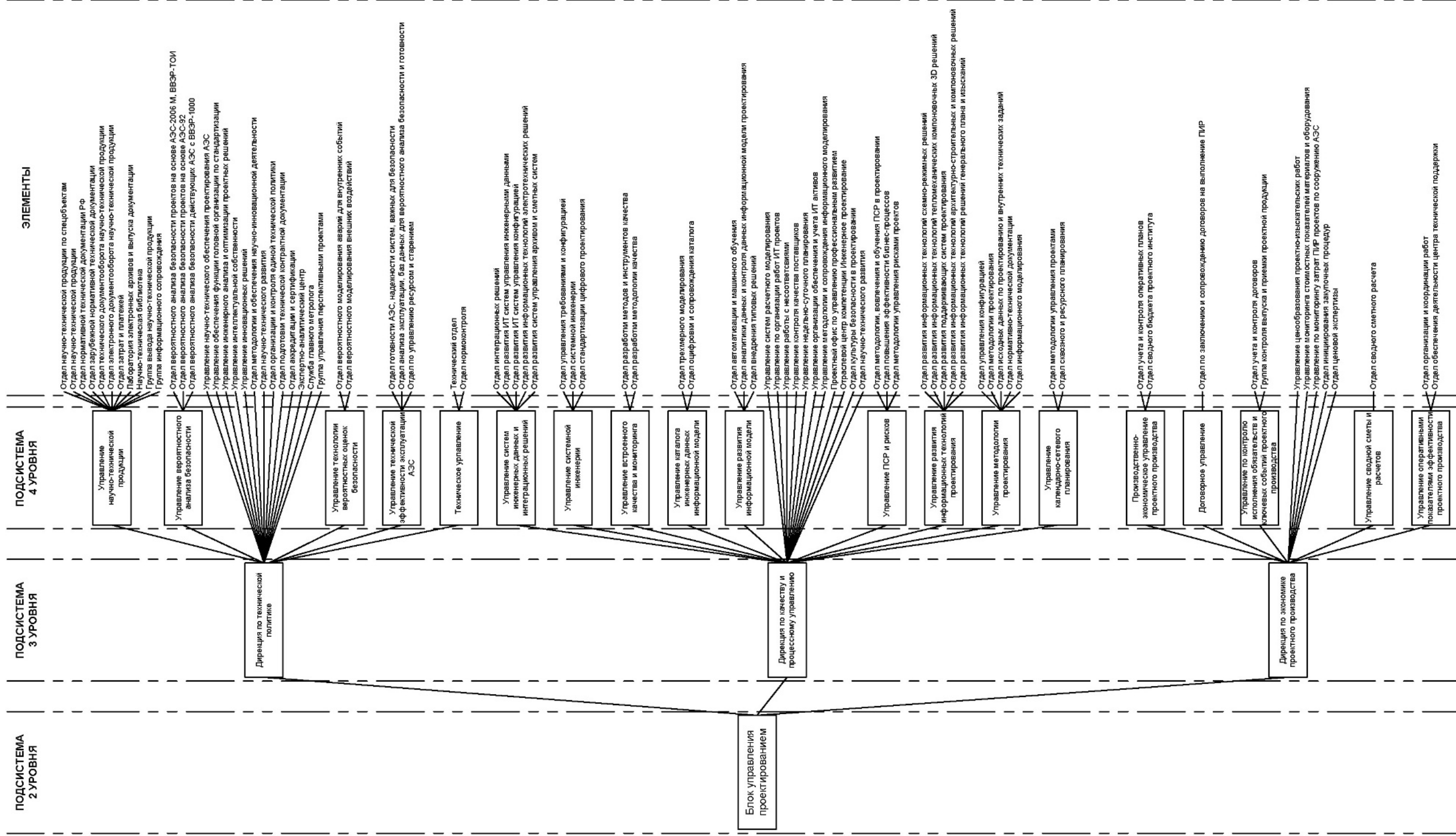


Рисунок 2.5. Организационная структура блока управления проектированием.

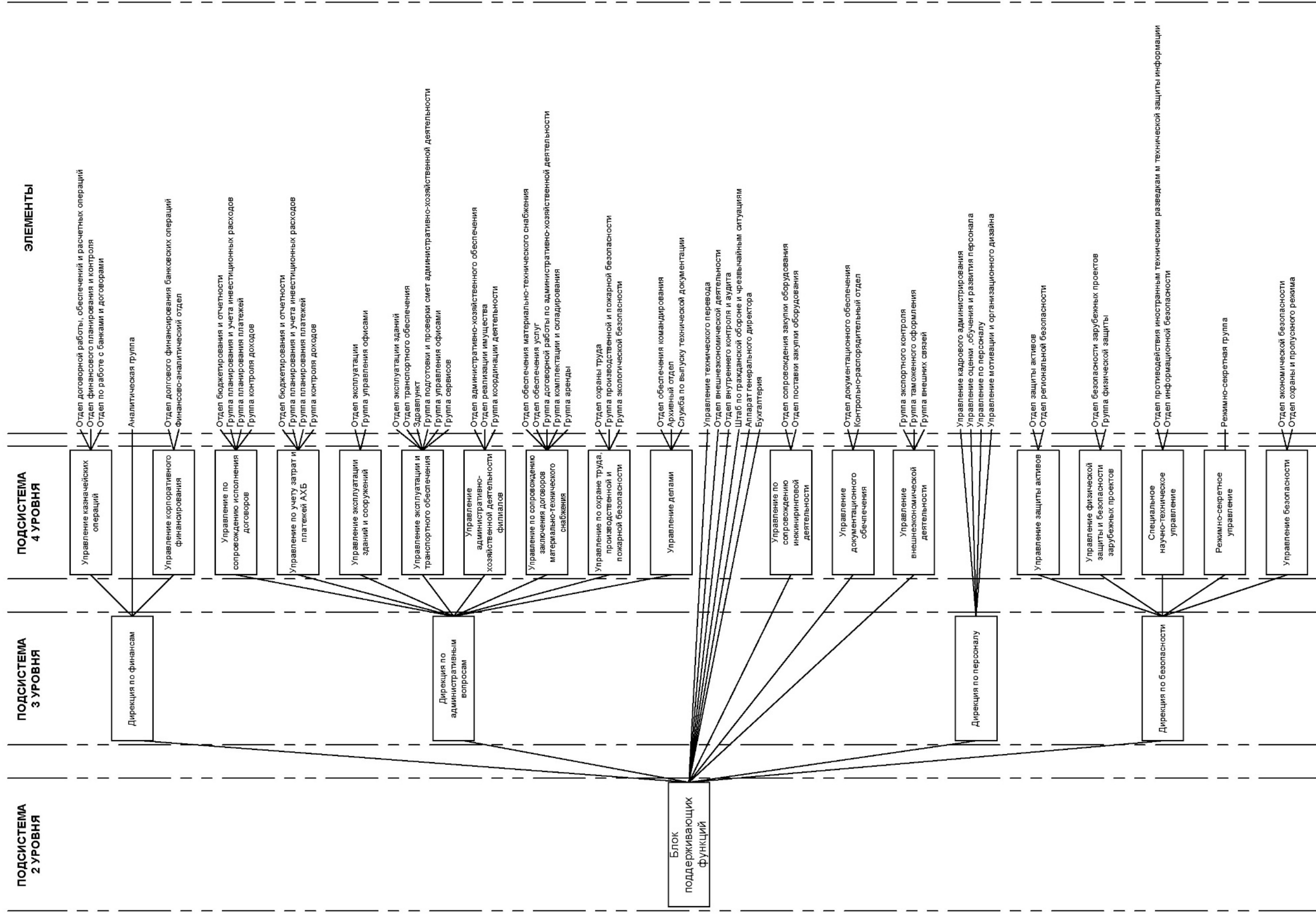


Рисунок 2.6. Организационная структура блока поддерживающих функций.

Блок подрядчика состоит из Генподрядчика и субподрядчиков. Также, как и с проектным блоком, внутри подсистемы блока подрядчика прямые связи существуют между Генподрядчиком и каждым из субподрядчиков в отдельности. Прямые горизонтальные связи между разными субподрядчиками отсутствуют. Внешней средой подсистемы помимо внешней среды целиковой системы будет сам строительный проект. Прямую связь со внешней средой имеет только Генподрядчик. Однако при реализации проектов сильно проявляют себя неформальные прямые связи между Генпроектировщиком и субподрядчиком, а также между субподрядчиками внутри блока подрядчика. Данные связи являются прямыми условно, поскольку не имеют юридической силы (весь документооборот между Генпроектировщиком и субподрядчиком или двумя субподрядчиками происходит посредством Генподрядчика).

В рамках одного строительного проекта (возведение одного или нескольких энергоблоков на одной площадке) в качестве Генподрядчика будем рассматривать филиал генподрядной организации, располагающийся на площадке строительства. Структура Генподрядчика состоит из следующих подсистем и элементов:

- Управление по экономике и финансам;
- Управление по производству;
- Управление по тепломонтажным работам;
- Управление по автоматизированным системам управления технологическими процессами и электротехническим оборудованием (АСУ ТП);
- Управление по строительно-монтажным работам;
- Управление по материально-техническому обеспечению;
- Управление главного инженера;
- Управление по общим вопросам;
- Управление специальной безопасности;
- Бухгалтерия;

- Отдел визовой поддержки (за рубежом) и работы с персоналом;
- Отдел контроля и подготовки строительного-монтажного персонала;
- Отдел медицинских советников.

Каждое управление состоит из функциональных отделов. Бухгалтерия и три последних отдела в структуре Генподрядчика являются самостоятельными элементами.

Так как зачастую в функциональные обязанности Генподрядчика входят в большей части организация и контроль за строительством, а производством непосредственно строительного продукта занимаются субподрядчики, рассмотрим возможную структуру субподрядной организации. Она состоит из следующих элементов:

- Бухгалтерия;
- Отдел по организации закупочных процедур;
- Отдел производственно-технической комплектации;
- Склад;
- Группа по системе менеджмента качества;
- Финансово-экономический отдел;
- Сметно-договорной отдел;
- Производственно-технический отдел;
- Конструкторско-технологическая группа;
- Отдел главного сварщика;
- Отдел оформления исполнительной документации;
- Служба контроля качества;
- Отдел геодезии;
- Отдел главного энергетика;
- Отдел охраны труда и экологии, промышленной и пожарной безопасности;
- Участок грузоподъемных машин и механизмов, автомобильного транспорта и малой механизации;

- Монтажные участки (один или несколько);
- Производственная база по изготовлению металлоконструкций;
- Бетонный завод;
- Строительная лаборатория;
- Отдел планирования и подготовки производства;
- Отдел по работе с персоналом;
- Группа по безопасности;
- Отдел информационных технологий;
- Административный отдел;
- Группа по правовым вопросам.

Организационная структура блока подрядчика представлена на рисунке 2.7.

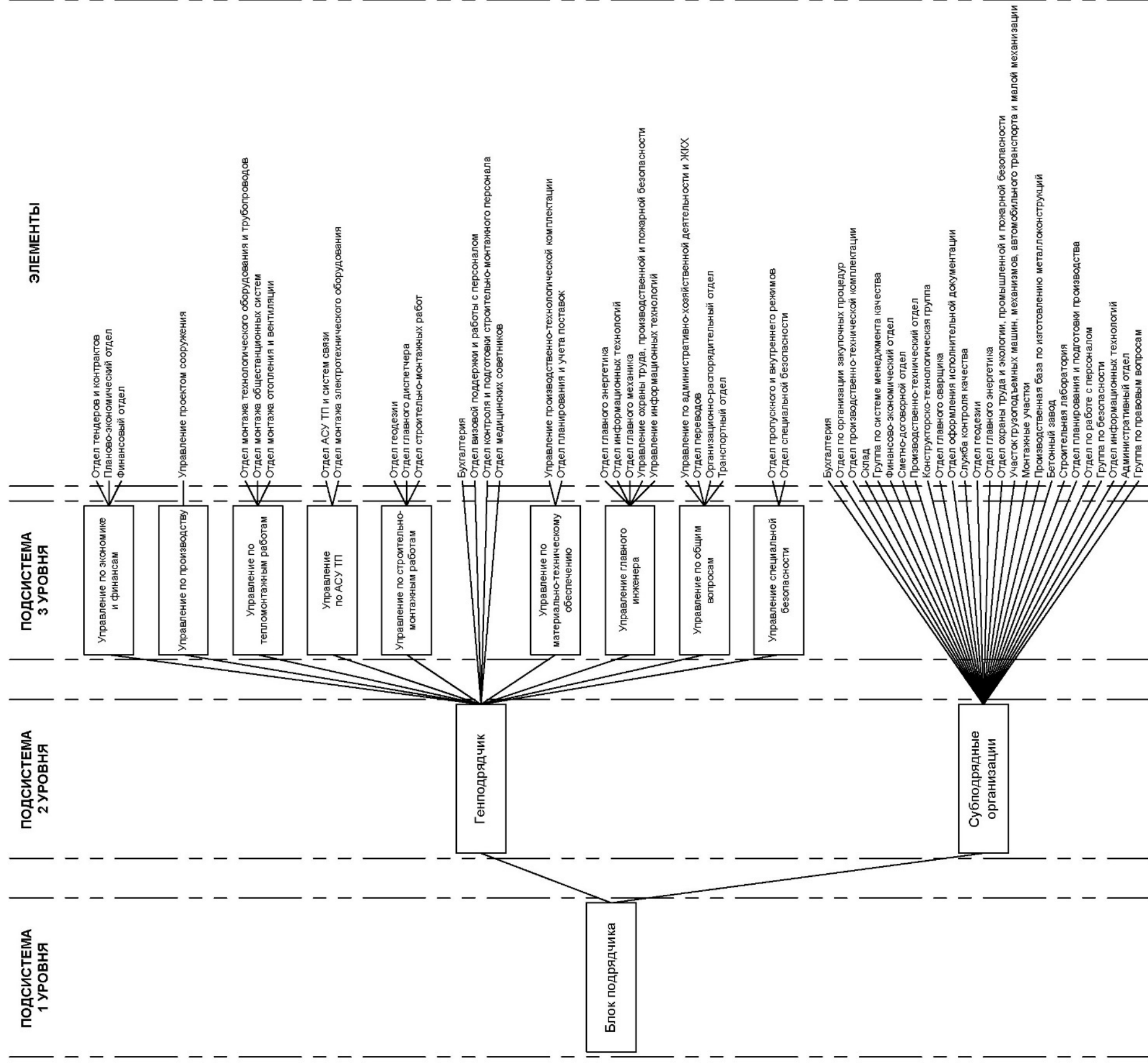


Рисунок 2.7. Организационная структура блока подрядчика.

В блок поставщиков материалов в качестве подсистем входят предприятия, поставляющие блоку подрядчика и заводскому блоку один или более видов материалов. Как правило, в качестве единиц подсистем предприятий выступают отделы и цеха.

В индустриальный блок входят предприятия, изготавливающие строительные конструкции. Как и в блоке поставщиков материалов, в качестве единиц подсистем предприятий заводского блока выступают отделы, управления и цеха. Структура производственного предприятия обычно состоит из следующих подсистем и элементов:

- Управление главного инженера;
- Управление главного механика;
- Управление по общим вопросам;
- Управление по подготовке производства;
- Производственные цеха;
- Отдел технического контроля;
- Отдел сварки;
- Отдел кадров;
- Планово-экономический отдел;
- Тендерная группа;
- Секретариат;
- Бухгалтерия.

Организационная структура индустриального блока представлена на рисунке 2.8.

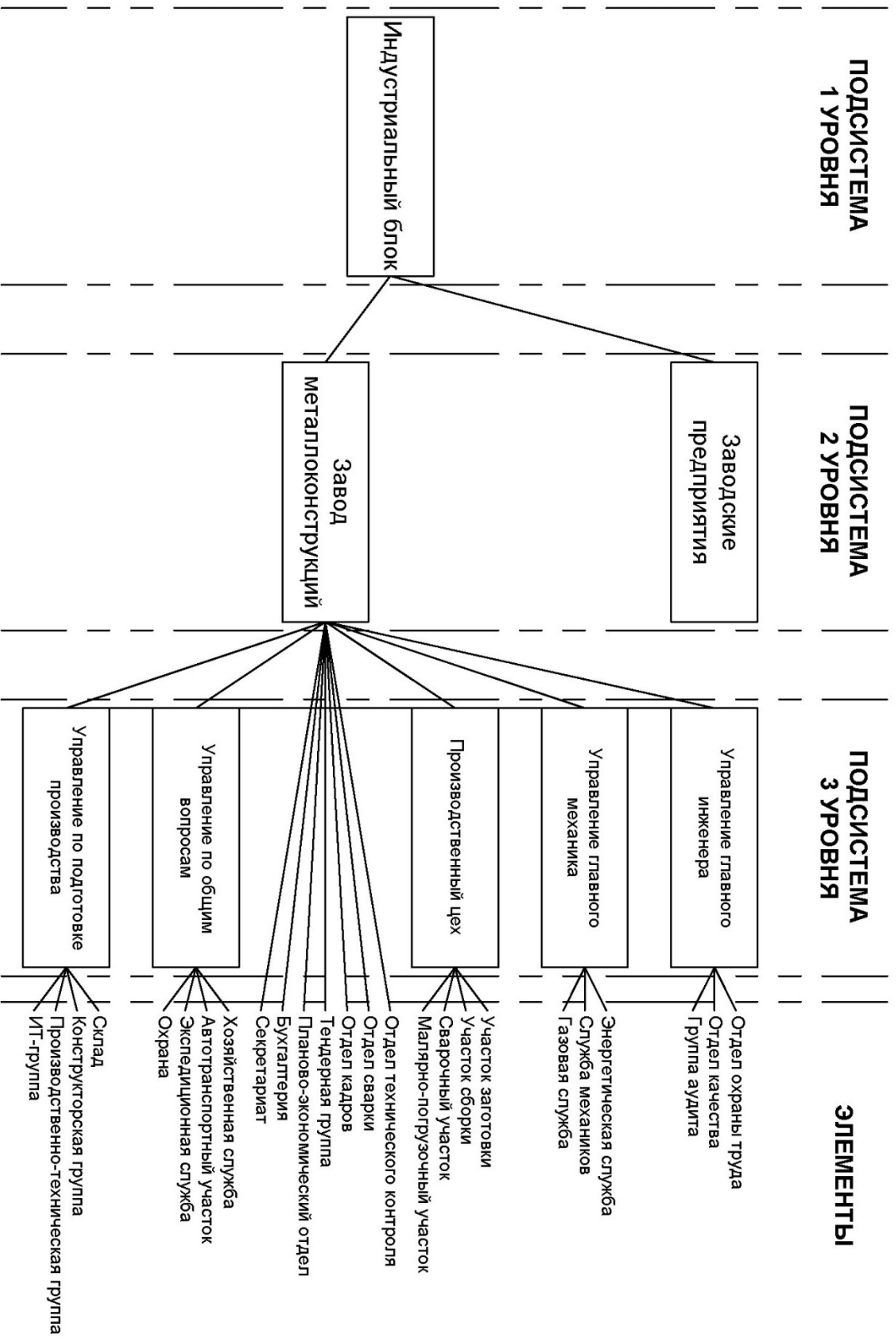


Рисунок 2.8. Организационная структура индустриального блока.

В логистический блок входят транспортные предприятия. В качестве единиц подсистем там используются службы и отделы. Структура транспортного предприятия на примере автотранспортного предприятия состоит из следующих подсистем и элементов:

- Отдел технико-экономического планирования;
- Отдел организации труда и заработной платы;
- Отдел бухгалтерского учета и финансовой деятельности;
- Отдел материально-технического снабжения;
- Отдел комплектования и подготовки кадров;
- Отдел общего делопроизводства и хозяйственного обслуживания;
- Отдел медицинского обслуживания и профилактического осмотра работников.
- Эксплуатационная служба;
- Техническая служба;
- Служба безопасности движения;
- Служба контроля автотранспорта;
- Автоколонны.

Организационная структура логистического блока представлена на рисунке 2.9.



Рисунок. 2.9. Организационная структура логистического блока.

В блоках поставщиков материалов, заводском блоке и логистическом блоке также может быть реализован подход с использованием субподрядных организаций.

Как правило, блок поставщиков материалов, заводской блок и логистический блок являются достаточно децентрализованными (если в них нет дополнительной управляющей надстройки). Взаимодействия между блоками происходят напрямую между предприятиями, а также между предприятиями этих блоков и блоками заказчика, подрядчика и проектного блока, не задействуя другие предприятия, входящие в блок поставщиков материалов, заводской блок и логистический блок. Таким образом связи между блоками для схемы, изображенной на рисунке 2.1, можно представить, как показано на рисунке 2.10.

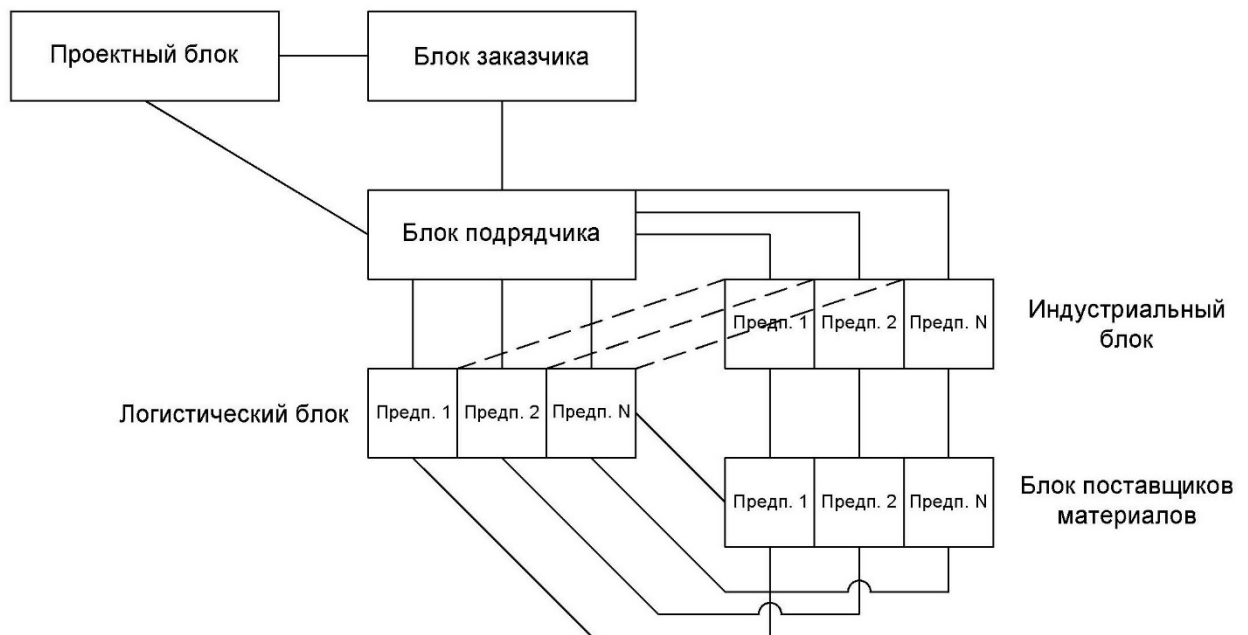


Рисунок. 2.10. Организационная структура строительного проекта с учетом децентрализации блоков.

2.3 Теоретические основы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС

На выполнение системой своей целевой функции требуются определенные ресурсы. Целевой функцией строительного проекта как системы является возведение АЭС, или для более принятого примера –

возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС. При возведении реакторного здания участниками строительного проекта используются следующие ресурсы:

- Трудовые человеческие ресурсы (Ч, чел-ч);
- Монтажные механизмы (М, маш-ч);
- Транспорт (Т, маш-ч);
- Производственные площадки (П, м²).

Возможно представить решение целевой функции в следующем виде (2.1):

$$F = f(Ч, М, Т, П) \quad (2.1), \text{ где}$$

F – целевая функция.

Рассмотрим перераспределение указанных ресурсов при различных технологиях возведения железобетонных конструкций реакторного здания АЭС. В качестве точки отсчета трансформации системы возьмем возведение только с использованием традиционной технологии (традиционное строительство). Также будем оценивать степень передачи ресурсов между блоками с помощью относительного параметра C . Данная система представлена на рисунке 2.11.

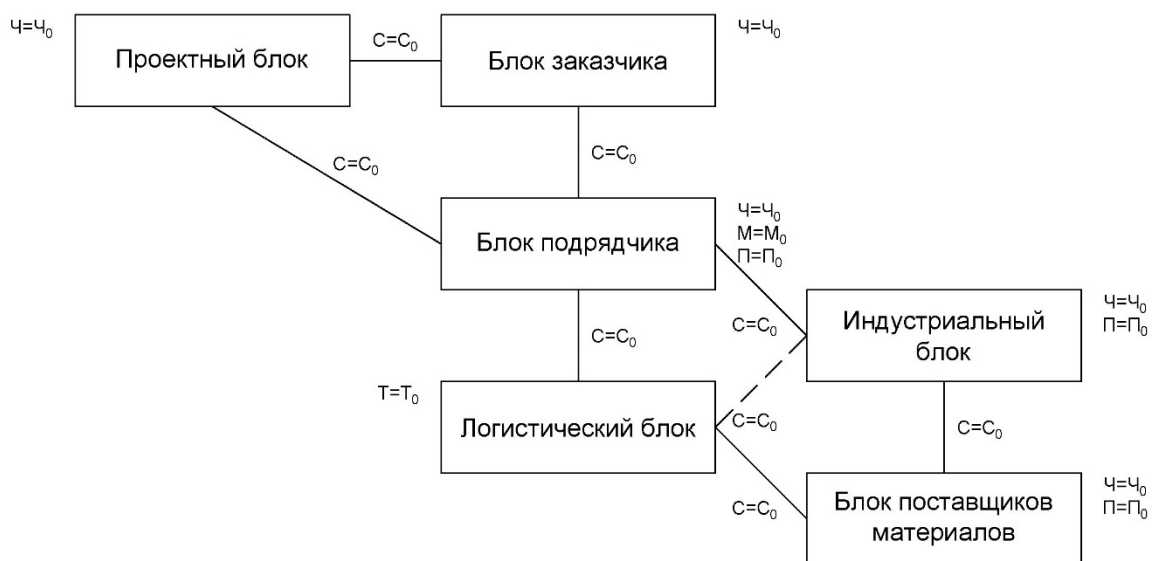


Рисунок. 2.11. Ресурсы строительного проекта при традиционном строительстве.

При использовании крупноблочного строительства возможны следующие варианты:

- Производство крупных армоблоков только мощностями индустриального блока в монтажной конфигурации (когда привозимый блок монтируется без доукрупнения);
- Производство мелких армоблоков только мощностями индустриального блока в монтажной конфигурации;
- Производство мелких армоблоков (фрагментов) только мощностями индустриального блока в разукрупненной конфигурации (когда привозимые фрагменты доукрупняются на площадках укрупнительной сборки на строительной площадке);
- Производство крупных армоблоков силами блока подрядчика в монтажной конфигурации;
- Производство мелких армоблоков силами блока подрядчика в монтажной конфигурации;
- Производство мелких армоблоков силами (фрагментов) блока подрядчика в разукрупненной конфигурации.

Также возможны гибридные варианты возведения, когда, либо используются частично обе технологии возведения (традиционная и крупноблочная), либо в производстве монтажных блоков могут быть частично задействованы и индустриальный блок, и блок подрядчика. Схема возможных вариантов используемых технологий и локаций производства представлена на рисунке 2.12.

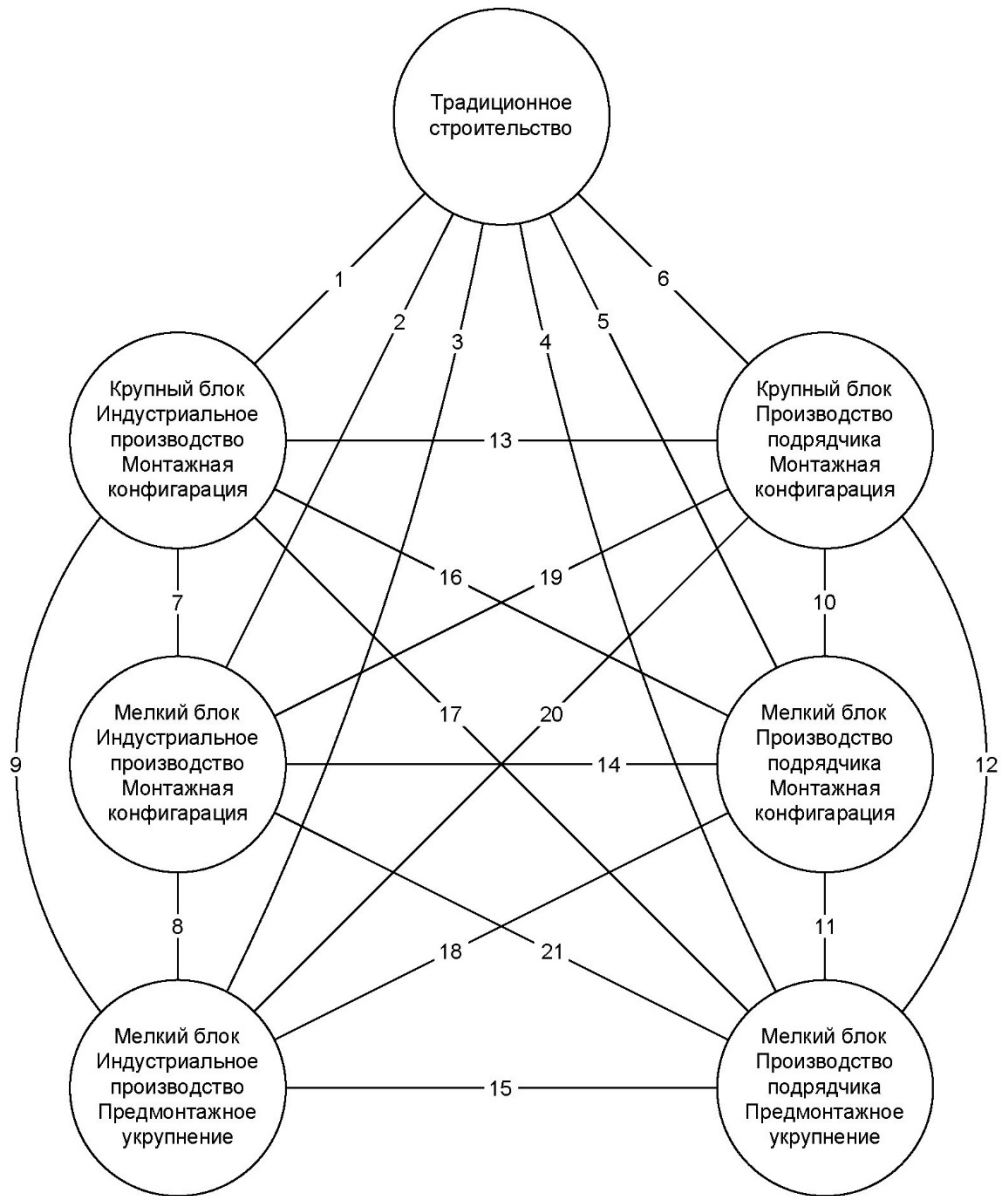


Рисунок. 2.12. Схема возможных вариантов.

Рассмотрим шесть крайних вариантов, когда производство крупных армоблоков осуществляется только одним блоком и только в одной конфигурации. Изменения требуемых ресурсов блоков строительного проекта представлены на рисунках 2.13-2.18. Изменение требуемых ресурсов для гибридных вариантов будет занимать промежуточное значение между 6 крайними вариантами в соответствии с рисунком 2.12.

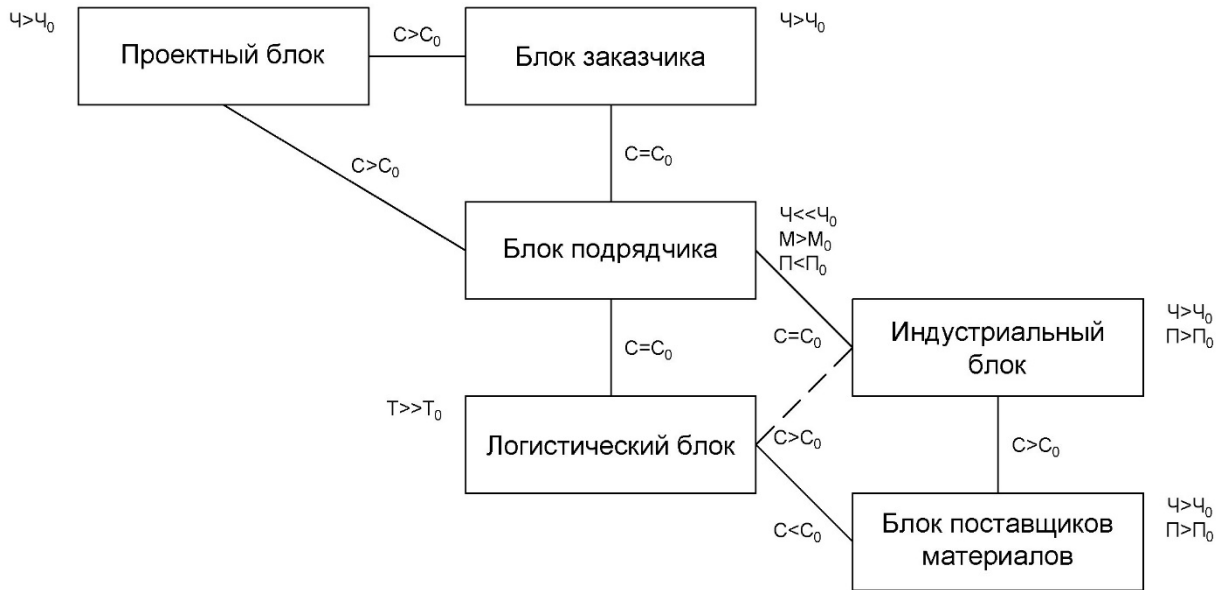


Рисунок. 2.13. Ресурсы строительного проекта при производстве крупных армоблоков только мощностями индустриального блока в монтажной конфигурации.

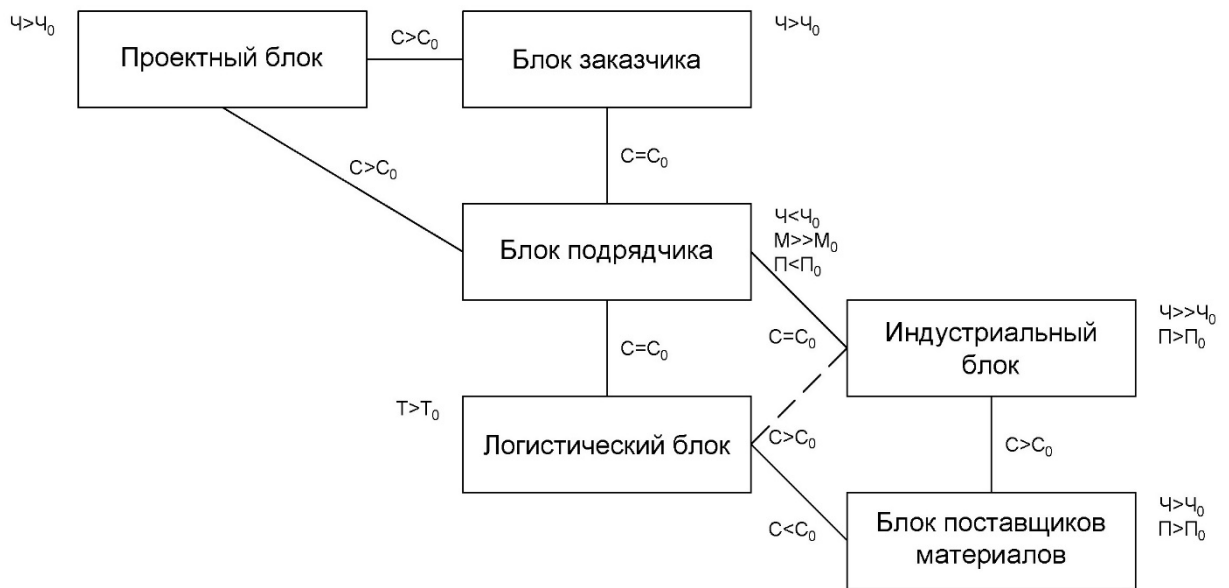


Рисунок. 2.14. Ресурсы строительного проекта при производстве мелких армоблоков только мощностями индустриального блока в монтажной конфигурации.

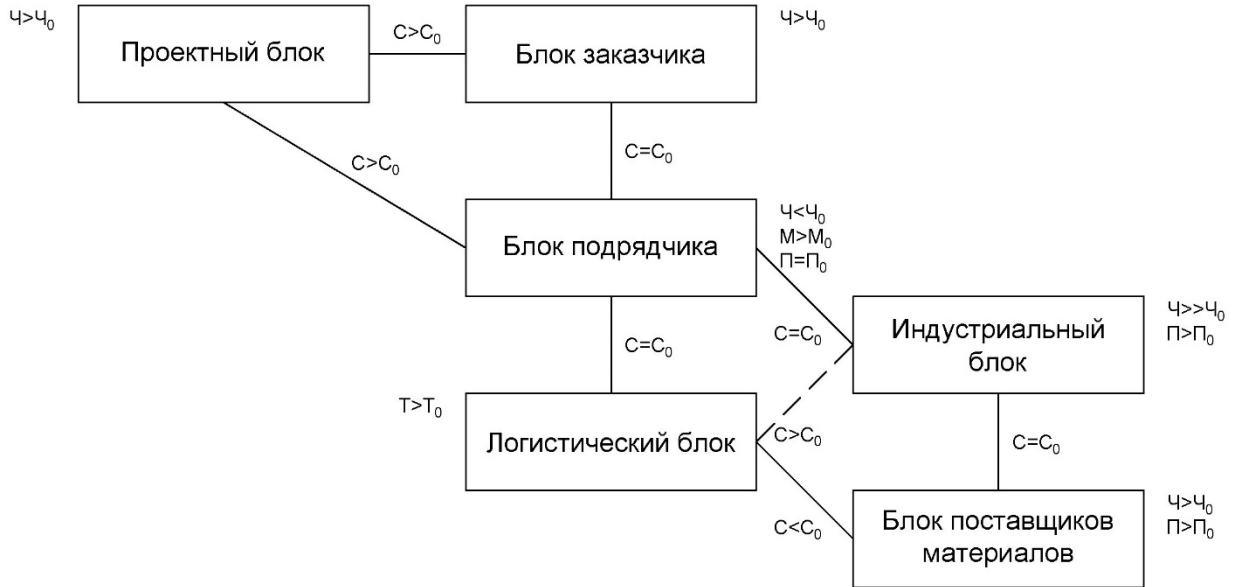


Рисунок. 2.15. Ресурсы строительного проекта при производстве мелких армоблоков (фрагментов) только мощностями индустриального блока в разукрупненной конфигурации.

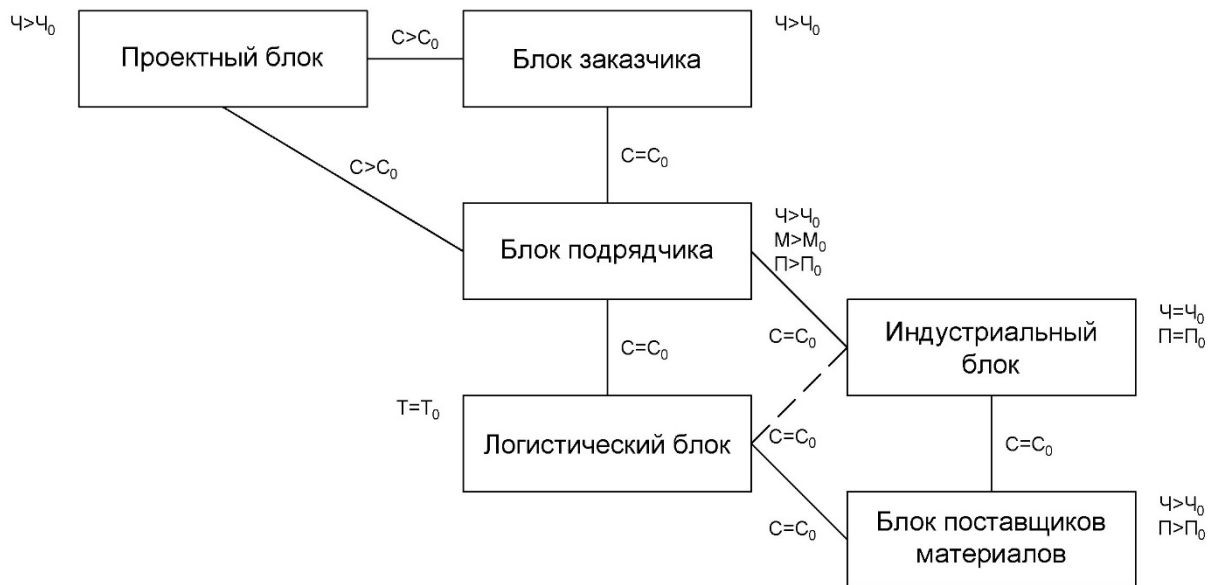


Рисунок. 2.16. Ресурсы строительного проекта при производстве крупных армоблоков только силами блока подрядчика в монтажной конфигурации.

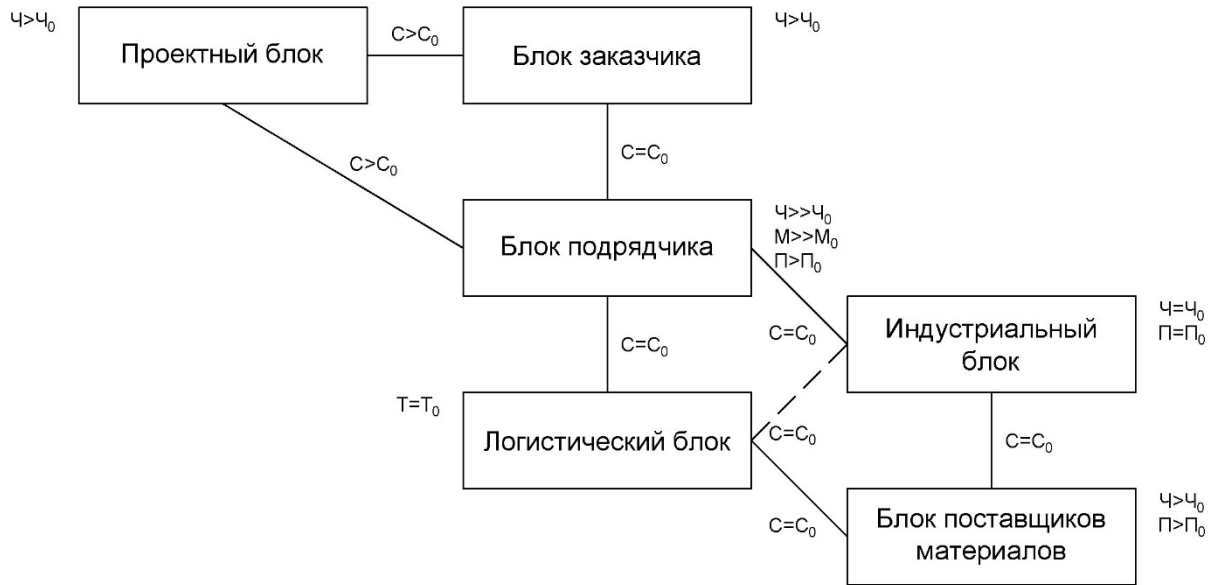


Рисунок. 2.17. Ресурсы строительного проекта при производстве мелких армоблоков только силами блока подрядчика в монтажной конфигурации.

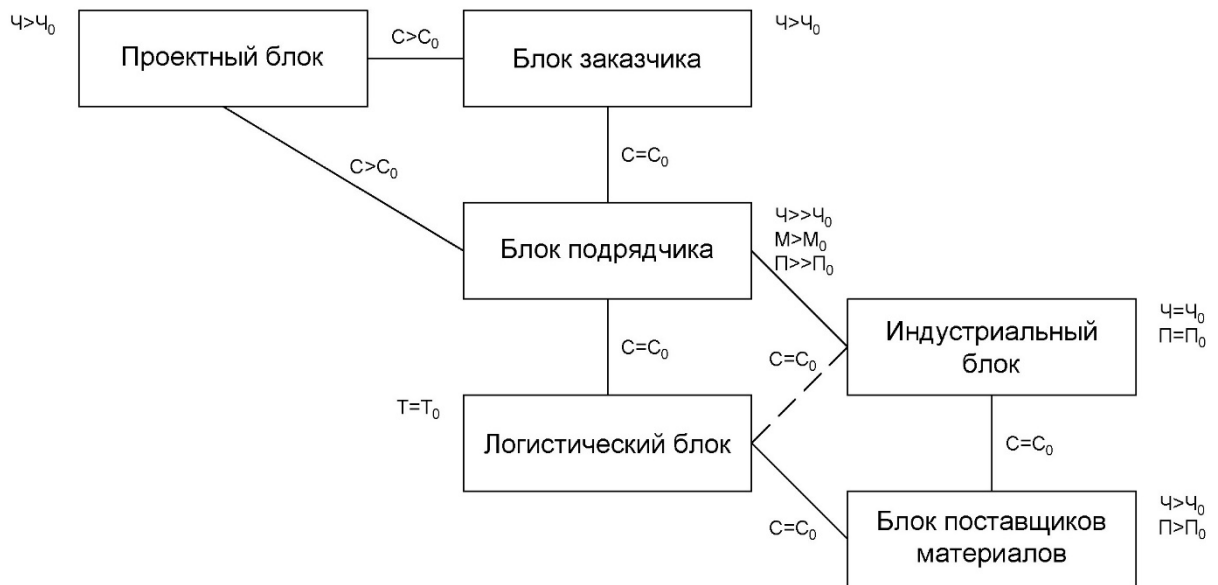


Рисунок. 2.18. Ресурсы строительного проекта при производстве мелких армоблоков (фрагментов) только силами блока подрядчика в разукрупненной конфигурации.

При производстве крупных армоблоков только мощностями индустриального блока возрастают трудозатраты индустриального блока, а, следовательно, требуется больше человеческих ресурсов и увеличение производственных площадок. Трудозатраты блока поставщиков материалов

также возрастают, поскольку армоблоки умеют большую материалоемкость по сравнению с железобетонной конструкцией, возведенной традиционным способом. Передача ресурсов через связь между этими двумя блоками растет. Поскольку требуется транспортировать крупные блоки, сильно возрастает потребность в транспортных ресурсах у логистического блока, в том числе на технику для перевозки негабаритных грузов. Связь между логистическим и индустриальным блоком усиливается, в то время как связь между логистическим блоком и блоком поставщиков материалов ослабевает, поскольку на строительную площадку доставляется больше готовых конструкций, чем при традиционном строительстве. И, соответственно, на стройплощадку доставляется меньше исходных стройматериалов. Поскольку поставляются крупные армоблоки, требования в человеческих ресурсах сильно понижаются, в то время как потребность в грузоподъемных механизмах, в том числе, большой грузоподъемности, повышается. Потребность с производственных площадках у блока подрядчика снижается, поскольку приходят готовые к монтажу конструкции. И, в отличие от традиционного строительства, не требуется изготовление арматурных позиций.

При производстве мелких армоблоков только мощностями индустриального блока в отличие от изготовления крупных армоблоков, еще больше возрастает потребность в человеческих ресурсах индустриального блока, поскольку удельная производительность падает с уменьшением размера блока. Логистическому блоку требуется большое количество транспортных ресурсов, однако отпадает надобность в транспортных средствах для перевозки негабаритных грузов. Остальные изменения ресурсов в логистическом, индустриальном блоке и блоке поставщиков материалов, а также связей между ними, аналогичны предыдущему случаю. Для блока подрядчика снижения человеческих ресурсов не столь значительно, как при использовании крупных армоблоков, поскольку необходимо выполнять большее количество стыковых соединений между армоблоками на монтаже.

Потребность в монтажных механизмах возрастает, поскольку требуется больше машино-часов для монтажа того же объема конструкций из-за меньшего размера монтируемого армоблока. Однако в данном случае не требуются краны высокой грузоподъемности. Снижение в производственных площадках блока подрядчика аналогично случаю с крупными армоблоками.

При производстве индустриальным блоком фрагментов, которые в последующем укрупняются на строительной площадке изменения ресурсов в системе логистический блок – индустриальный блок – блок поставщиков материалов аналогичны предыдущему случаю. Изменения касаются блока подрядчика. Общие трудозатраты рабочих подрядчика аналогичны предыдущему случаю с монтажом мелких армоблоков, однако это достигается за счет значительного уменьшения трудозатрат на монтаже аналогично случаю с монтажом крупных армоблоков, с добавлением трудозатрат на укрупнительную сборку. Из-за наличия укрупнительной сборки, потребности в производственных площадях выше, чем при монтаже армоблоков монтажной конфигурации.

При изготовлении армоблоков (крупных и мелких) только силами подрядчика, потребность к ресурсам для индустриального блока аналогична традиционному строительству. Но потребность в ресурсах для блока поставщиков материалов выше, поскольку материалоемкость армоблоков выше традиционных конструкций. Существенных транспортных затрат по сравнению с традиционным строительством не наблюдается, поэтому потребность в ресурсах логистического блока не возрастает. Основной рост потребности в ресурсах наблюдается в блоке подрядчика.

При производстве крупных армоблоков мощностями блока подрядчика увеличивается потребность блока в человеческих ресурсах, подъемных механизмах, в том числе высокой грузоподъемности, а также в дополнительных производственных площадках. При производстве мелких армоблоков в монтажной конфигурации еще сильнее возрастает потребность в человеческих ресурсах и монтажных механизмах. Потребность в

человеческих ресурсах возрастает, поскольку требуются ресурсы как на производство блоков, так и на большее, чем при крупноблочном монтаже, заделывание стыков. Потребность в кранах возрастает из-за необходимости большего количества монтажных циклов вследствие малого объема монтажного блока. При производстве фрагментов силами подрядчика с последующим укрупнением перед монтажом потребность в кранах аналогично крупноблочному монтажу, однако потребность в рабочих выше, поскольку дополнительные силы требуются на проведение укрупнительной сборки. Также требуются дополнительные производственные площадки для укрупнительной сборки, помимо производства самих блоков. Но следует отметить, что такой подход применяется крайне редко, поскольку от цеха подрядчика до строительной площадки, как правило, не возникает проблем транспортировки крупных армоблоков. Дополнительная укрупнительная сборка в таких случаях обычно используется для объединения нескольких крупных армоблоков в высокотоннажный монтажный блок (например, купольная часть ВЗО).

Во всех шести вышеописанных случаях трудозатраты в проектном блоке и блоке заказчика возрастают. Для проектирования конструкций в армоблочном исполнении требуется в несколько раз больше листов рабочей документации, что увеличивает ресурсные требования к блоку подрядчика. Из-за возросшего объема РД блоку заказчика требуется больше человеческих ресурсов для согласования документации. Усиливаются связи проектный блок – блок заказчика и проектный блок – блок подрядчика из-за увеличения проходящей по ним документации.

По схеме возможных вариантов (рисунок 2.12) возможно 21 сочетание из 7 вариантов: одного традиционного и 6 армоблочных вариантов строительства. Все 6 вариантов сочетания (сочетания 1-6) традиционного строительства с строительством в армоблоках отражают в том числе технологическую невозможность возвести абсолютно все конструкции в армоблоках, а также возможность частичного применения армоблоков для

возведения определенных конструкций здания наряду с традиционным строительством.

При сочетании 7 все блоки производятся индустриальным блоком и в монтажной конфигурации, однако размеры блоков могут быть различны. Это может быть связано либо с ограниченной возможностью транспортировки крупногабаритных монтажных блоков, либо с нехваткой кранов высокой грузоподъемности. При сочетании 8 индустриальным блоком все блоки производятся малых габаритов, однако часть из них укрупняется перед монтажом. Такой подход может применяться при ограниченном числе кранов высокой грузоподъемности и невозможности транспортировки крупных блоков. Сочетание 9 характеризует случай, когда на у блока подрядчика имеется достаточное количество кранов высокой грузоподъемности, однако возможности логистического блока либо транспортные ограничения не позволяют доставлять все блоки в монтажной конфигурации.

Сочетания 10, 11 и 12 возникают в случаях, аналогичных сочетаниям 7, 8 и 9. Однако следует учитывать тот факт, что сочетания 11 и 12 возникают крайне редко, поскольку производство блоком подрядчика армоблоков, требующих дальнейшего укрупнения, крайне ограничено.

Сочетания 13, 14, 15 характеризуют производство одного типа армоблоков в одинаковой конфигурации, распределенной в заданной доле между индустриальным блоком и блоком подрядчика. Такой подход снижает логистические ресурсы, однако требует больших производственных ресурсов от блока подрядчика.

Для сочетаний 16-21 наиболее применимыми являются сочетания 18-21. Сочетания 16 и 17 используются крайне редко, поскольку в данном случае требуется транспортировать крупные армоблоки до строительной площадки, что увеличивает ресурсные требования к логистическому блоку, при этом изготовление блоком подрядчика только мелких блоков увеличивает трудоемкость стыковке на монтаже или укрупнительной сборке.

Куда более логичным выглядят такие сочетания, как 19 и 20, когда силами блока подрядчика производятся армоблоки больших габаритов, поскольку они не имеют ограничений по перемещению к месту монтажа, а от индустриального блока доставляются армоблоки транспортных габаритов, которые монтируются либо укрупняются перед монтажом на площадках укрупнительной сборки. Такие сочетания характерны в тех случаях, когда ни один из блоков не обладает производственными ресурсами, необходимыми для покрытия запроса строительной площадки в полном объеме.

Сочетания 18 и 21 характерны в тех случаях, когда грузоподъемность монтажных механизмов ограничена, а также имеются транспортные ограничения, не позволяющие перевозить крупные армоблоки.

Для всех сочетаний потребность в ресурсах для каждого из блоков системы находится интерполяцией в пропорции с задействованием того или иного способа в сочетании. При сочетании 3 и более случаев ресурсы можно найти последовательной попарной интерполяцией.

Выводы по главе 2:

1. Оргструктура строительного проекта возведения АЭС является одной из самых развитых организационных комплексов строительной индустрии. Структура строительного комплекса АЭС представляет собой многоуровневую организационную конструкцию, сочетающую в себе реализацию как иерархических, так и распределительных принципов управления строительным процессом.

2. Разработанная «Росатомом» система управления стоимостью и сроками возведения ОИАЭ Total Cost Management Nuclear Construction – TCM NC – является базовой идеологией формирования структуры реализации проектов возведения АЭС.

3. В структуре системы управления возведением АЭС важное место занимает комплексное управление изменениями проекта, позволяющий корректировать и перераспределять ресурсную базу строительства в зависимости от внешних условий, что соответствует интересам инвесторам-участникам проекта.

4. Представлена типовая схема организационной структуры проекта строительства АЭС как системы взаимосвязанных блоков. Произведено ранжирование подсистем и элементов, в роли которых выступают различные строительные предприятия и их структурные единицы.

5. Выделены используемые системой строительного проекта ресурсы. Исследовано перераспределение ресурсов между участниками строительного проекта АЭС в различных сочетаниях вариантов возведения конструкций. Показано усиление или ослабление связей между блоками системы.

6. Определены принципы формирования организационной структуры строительного проекта на основе системы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТРУДОЗАТРАТ

3.1. Определение трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС.

Как рассматривалось в первой главе, при возведении зданий и сооружений АЭС могут использоваться разные методы устройства железобетонных конструкций. Причем эти методы могут использоваться совместно в разных долях от общего объема железобетонных конструкций. Так, например, анализ рабочей документации отечественных проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ показывает, что в конструкциях, возводимых крупноблочным методом, около 20% объема железобетонных конструкций возводится традиционным методом с помощью так называемых монолитных участков.

При использовании того или другого метода в определенных долях, происходит изменение организационно-технологических процессов пропорциональное перераспределению трудозатрат рабочих между данными методами. Далее предложен способ вычисления перераспределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания.

Для вычисления перераспределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания требуется определить зависимости трудозатрат для каждого из методов (традиционного и крупноблочного) от степени применения каждого метода, а также трудозатраты компонентов крупноблочного метода – индустриального производства армоблоков и монтажа армоблоков.

Для определения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций необходимо измерить трудозатраты на объекте-аналоге, поскольку имеющаяся нормативная документация (ЕНиР, ГЭСН) в полной мере не отражает трудозатраты используемой технологии [9, 10]. Для вычисления трудозатрат не требуется собирать полные данные о трудозатратах на объекте-аналоге. Достаточно разделить исследуемое здание и сооружение на характерные типы конструкций. Данные типы конструкций должны характеризоваться следующими параметрами:

- Единое положение конструкции (горизонтальное или вертикальное);
- Примерная однородность толщины конструкции;
- Примерная однородность степени армирования конструкции;
- Примерная однородность насыщения конструкции закладными изделиями.

Для дальнейших расчетов по предложенному способу требуется получить фактические данные о возведении одной или нескольких конструкциях (или их частях) обоими способами. Требуемыми данными 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 как отношение общих трудозатрат по каждой из операций к объему работ по каждой из операций в соответствующих единицах измерения. Далее для корректного сопоставления трудоемкостей требуется привести удельные трудозатраты к единой единице измерения. В качестве данной единицы выбраны трудозатраты на единицу объема бетона конструкции. Для приведения удельных трудозатрат к единой величине, трудозатраты умножаются на отношение объема работ по данному процессу к общему

объему бетона в исследуемой конструкции. Суммарные приведенные трудозатраты вычисляются суммированием приведенных трудозатрат по различным операциям.

Основываясь на полученных данных, можем получить общие трудозатраты (3.1) и удельные трудозатраты (3.2) на возведение указанных конструкций по формулам:

$$C_i = \overline{n_{men}} \cdot t_i \cdot t_{shift} \cdot n_{shift} \quad (3.1), \text{ где}$$

C_i – трудозатраты на возведение i -ой конструкции, чел-ч;

$\overline{n_{men}}$ – среднее количество рабочих в бригаде в сутки, чел;

t_i – продолжительность возведения i -ой конструкции, сут;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут⁻¹.

$$c_i = \frac{C_i}{V_i} \quad (3.2), \text{ где}$$

c_i – удельные трудозатраты на возведение i -ой конструкции, (чел-ч)/[ед. изм. V_i];

C_i – трудозатраты на возведение i -ой конструкции, чел-ч;

V_i – объем i -ой конструкции, ед. изм. V_i .

Для возможности сопоставления трудоемкостей на возведение различных конструкций требуется привести все трудоемкости к трудоемкостям процессов, требуемых для возведения единицы объема железобетонной конструкции. Для объемных величин данная трудоемкость совпадает с вычисленной ранее. Для остальных величин соотношение будет определяться из среднего расхода, равного отношению этой величины к объему железобетонной конструкции, представленного в формуле (3.3):

$$c_{ij}^V = c_{ij} \cdot \frac{V_{ij}}{V_i^{RC}} \quad (3.3), \text{ где}$$

c_{ij}^V – приведенные трудозатраты j -ого процесса на возведение i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции, (чел-ч)/м³;

c_{ij} – удельные трудозатраты j -ого процесса на возведение i -ой конструкции, (чел-ч)/[ед. изм. V_i];

V_{ij} – объем i -ой конструкции для j -ого процесса, ед. изм. V_i ;

V_i^{RC} – объем железобетона i -ой конструкции, m^3 .

Исходя из данных соотношений получим приведенные к требуемому для возведения $1 m^3$ железобетонной конструкции удельные трудоемкости различных процессов возведения рассматриваемых конструкций.

На основе данных об общих объемах основным железобетонных конструкций реакторного здания, а также массах расположенных в них арматуры и закладных изделий, определяются расходы арматуры и закладных изделий, выраженные в t/m^3 , по каждой из конструкций.

Для экстраполяции приведенных трудозатрат, вычисленных на основе рассматриваемой выборки, необходимо получить три коэффициента: коэффициент среднего расхода арматуры, коэффициент среднего расхода закладных изделий, коэффициент средней толщины конструкции. Все три коэффициента вычисляются как отношение параметра для конструкции, для которой выполняется экстраполяция, к конструкции из рассматриваемой выборки, наиболее сходной с той, на которую выполняется экстраполяция. Общие приведенные трудозатраты на возведение каждой конструкции реакторного здания получают экстраполяцией, как суммирование пооперационных приведенных трудозатрат, умноженных или разделенных на соответствующий коэффициент (среднего расхода арматуры, среднего расхода закладных изделий, средней толщины конструкции).

На основе анализа объемов строительных материалов различных конструкций реакторного здания вычислим средний расход арматуры на $1 m^3$ железобетонной конструкции. Средний расход определим по формуле (3.4):

$$m_{ir} = \frac{M_{ir}}{V_i^{RC}} \quad (3.4), \text{ где}$$

m_{ir} – средний расход арматуры на $1 m^3$ i -ой конструкции, t/m^3 ;

M_{ir} – масса арматуры i -ой конструкции, t ;

V_i^{RC} – объем железобетона i -ой конструкции, м³.

Экстраполируем трудозатраты конструкций, включенных в выборку по сбору данных на возведение всех конструкций реакторного здания. Для этого примем пропорциональность с тремя коэффициентами:

- Коэффициент среднего расхода арматуры;
- Коэффициент среднего расхода закладных изделий;
- Коэффициент средней толщины конструкции.

Коэффициент среднего расхода арматуры примем как отношение среднего расхода арматуры для рассматриваемой конструкции к среднему расходу арматуры конструкции из выборки, сходной по конструкции. Такой подход позволяет учесть разность долей трудозатрат на армирование в конструкциях с различным насыщением арматурой. Формула расчета коэффициента среднего расхода арматуры представлена ниже (3.5):

$$a_r = \frac{m_{kr}}{m_r^s} \quad (3.5), \text{ где}$$

a_r – коэффициент среднего расхода арматуры;

m_{kr} – средний расход арматуры на 1 м³ k -ой железобетонной конструкции, кг/м³;

m_r^s – средний расход арматуры на 1 м³ конструкции из рассматриваемой выборки, сходной по конструкции с k -ой конструкцией, кг/м³;

Коэффициент среднего расхода закладных изделий примем как отношение среднего расхода закладных изделий для рассматриваемой конструкции к среднему расходу закладных изделий конструкции из выборки, сходной по конструкции. Такой подход позволяет учесть разность долей трудозатрат на установку закладных изделий в конструкциях с различным насыщением закладными изделиями. Формула расчета коэффициента среднего расхода закладных изделий представлена ниже (3.6):

$$a_e = \frac{m_{ke}}{m_e^s} \quad (3.6), \text{ где}$$

a_e – коэффициент среднего расхода закладных изделий;

m_{ke} – средний расход закладных изделий на 1 м³ k-ой железобетонной конструкции, кг/м³;

m_e^s – средний расход закладных изделий на 1 м³ конструкции из рассматриваемой выборки, сходной по конструкции с k-ой конструкцией, кг/м³;

Коэффициент средней толщины конструкции вычислим как соотношение средних толщин рассматриваемой конструкции и конструкции из рассматриваемой выборки со средним расходом арматуры, наиболее близким по значению к среднему расходу арматуры вычисляемой конструкции. Коэффициент вычисляется по формуле (3.7):

$$a_\delta = \frac{\delta_k}{\bar{\delta}_s} \quad (3.7), \text{ где}$$

a_δ – коэффициент средней толщины конструкции;

δ_k – средняя толщина k-ой железобетонной конструкции, м;

$\bar{\delta}_s$ – средняя толщина конструкции из рассматриваемой выборки, сходной по конструкции с k-ой конструкцией, м;

При производстве работ по возведению железобетонных конструкций присутствуют процессы, зависящие от толщины возводимой конструкции и не зависящие от толщины конструкции. Удельные трудозатраты на армирование и установку закладных деталей прямо пропорционально зависят от коэффициентов среднего расхода арматуры и среднего расхода закладных деталей соответственно и не зависят от коэффициента средней толщины. Абсолютные трудозатраты на бетонирование и уход за бетоном прямо пропорционально зависят только от объема бетона. Следовательно, удельные трудозатраты на бетонирование и уход за бетоном (на 1 м³ конструкции) не зависят от каких-либо выше озвученных параметров, а зависят только от характера конструкции. Трудозатраты на опалубочные работы зависят от поверхности конструкции. Следовательно, чем больше толщина конструкции при неизменном объеме конструкции, тем меньше площадь наружной

поверхности. Поэтому трудозатраты на опалубку обратно пропорционально зависят от коэффициента средней толщины конструкции.

Экстраполяция трудозатрат будет производиться по следующей формуле (3.8):

$$c_k = a_r \cdot c_i^r + a_e \cdot c_i^e + \frac{c_i^f}{a_\delta} + c_i^c + c_i^m \quad (3.8), \text{ где}$$

c_k – удельные трудозатраты на возведение k -ой конструкции реакторного здания, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции, (чел-ч)/м³;

a_r – коэффициент среднего расхода арматуры;

a_e – коэффициент среднего расхода закладных изделий;

a_δ – коэффициент средней толщины конструкции;

c_i^r – приведенные трудозатраты армирования, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^c – приведенные трудозатраты бетонирования i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^m – приведенные трудозатраты ухода за бетоном i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^e – приведенные трудозатраты установки закладных изделий i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^f – приведенные трудозатраты опалубки i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

Экстраполяция трудозатрат на промышленное изготовление армоблоков для всех видов конструкций (3.9):

$$c_k = a_r \cdot c_i^r + a_e \cdot c_i^e + \frac{c_i^{pf}}{a_\delta} + \frac{c_i^a}{a_\delta} + c_i^t \quad (3.9), \text{ где}$$

c_k – удельные трудозатраты на возведение k -ой конструкции реакторного здания, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции, (чел-ч)/м³;

a_r – коэффициент среднего расхода арматуры;

a_e – коэффициент среднего расхода закладных изделий;

a_δ – коэффициент средней толщины конструкции;

c_i^r – приведенные трудозатраты армирования, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^t – приведенные трудозатраты установки вертикальных горизонтальных ферм i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^a – приведенные трудозатраты установки и сварка анкерующих уголков i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^e – приведенные трудозатраты установки закладных изделий i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^{pf} – приведенные трудозатраты изготовления несъемной опалубки i -ой конструкции, требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

Трудоемкость установки армоопалубочных блоков зависит от массы армоблоков. В свою очередь масса армоблока зависит от насыщенности конструкции арматурой и площади несъемной опалубки. Трудозатраты на установку армоопалубочных для конструкций реакторного здания вычислим с помощью экстраполяции (3.10):

$$c_k^{inst} = u_1 \cdot a_r \cdot c_{IC}^{inst} + u_2 \cdot \frac{c_{IC}^{inst}}{a_\delta} + u_3 \cdot c_{IC}^{inst} \quad (3.10), \text{ где}$$

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

a_r – коэффициент среднего расхода арматуры;

a_δ – коэффициент средней толщины конструкции;

c_{IC}^{inst} – удельные трудозатраты на установку армоблоков ВЗО, (чел-ч)/м³;

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

Общие приведенные трудозатраты крупноблочного возведения железобетонных конструкций АЭС получаются суммированием трудозатрат на промышленное изготовление армоблоков и монтаж армоблоков на строительной площадке.

Общие трудозатраты на возведение железобетонных конструкций реакторного здания получим суммированием произведений приведенных трудозатрат на объем данной конструкции. Суммирование трудозатрат произведем по формуле (3.11):

$$C_m = \sum_k c_k^m \cdot V_k^{RC} \quad (3.11), \text{ где}$$

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

c_k^m – приведенные удельные трудозатраты на возведение k -ой конструкции реакторного здания методом m , требуемые для возведения единицы объема железобетонной конструкции, (чел-ч)/м³;

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

Каждое из этих произведений можно представить в виде линейной функции, на которой по оси абсцисс отложен объем конструкции, а по оси ординат – требуемые на возведение трудозатраты. Так как 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 - для нижней границы линейные функции расположены в порядке возрастания угла наклона к оси абсцисс, для верхней границы – в порядке убывания. Получим графики, представленные на рисунках 3.1-3.4.

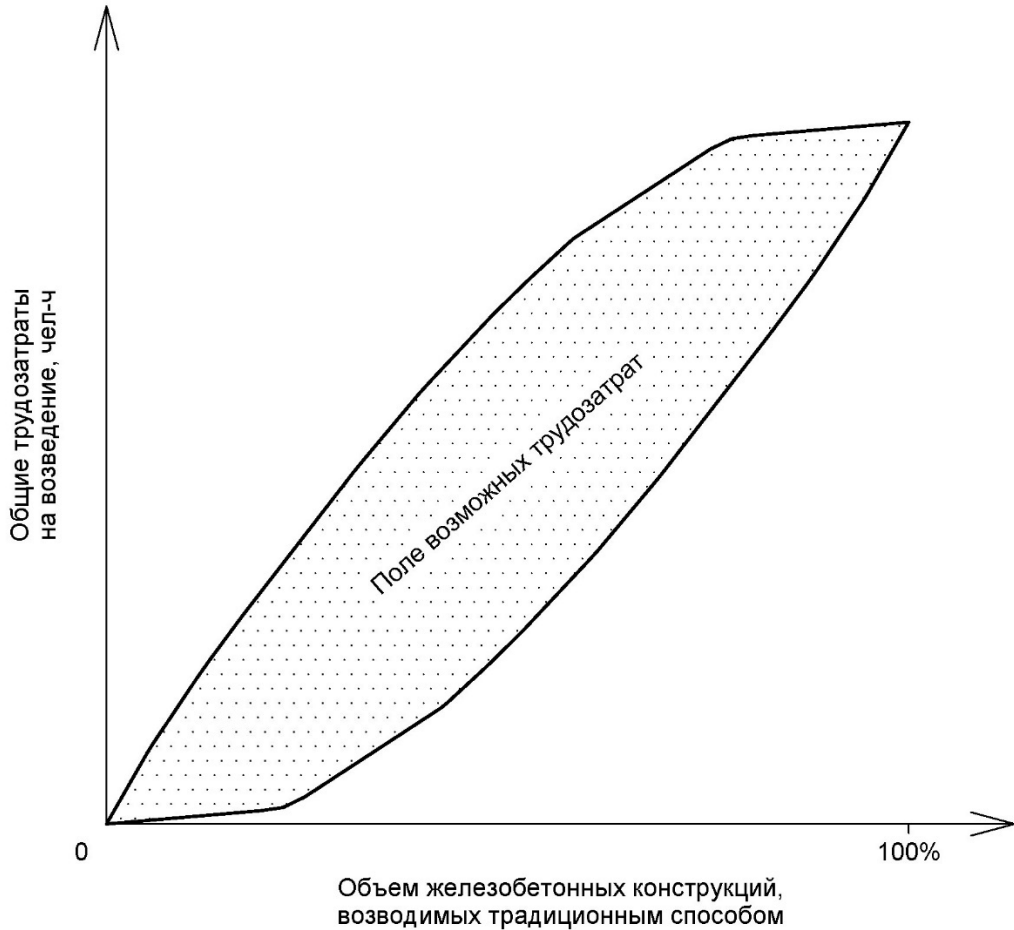


Рисунок. 3.1. График трудозатрат на возведение традиционным способом в зависимости от доли применения данного способа при возведении реакторного здания АЭС.

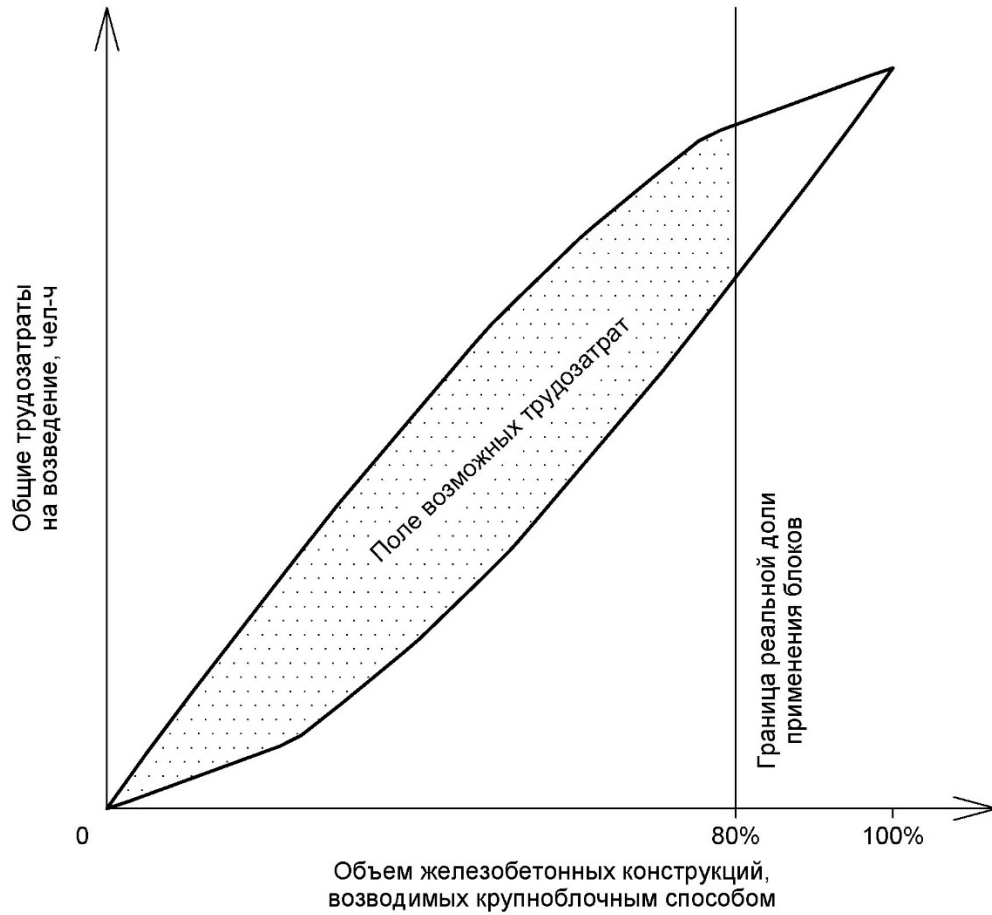


Рисунок.3.2. График трудозатрат на крупноблочное возведение в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС.

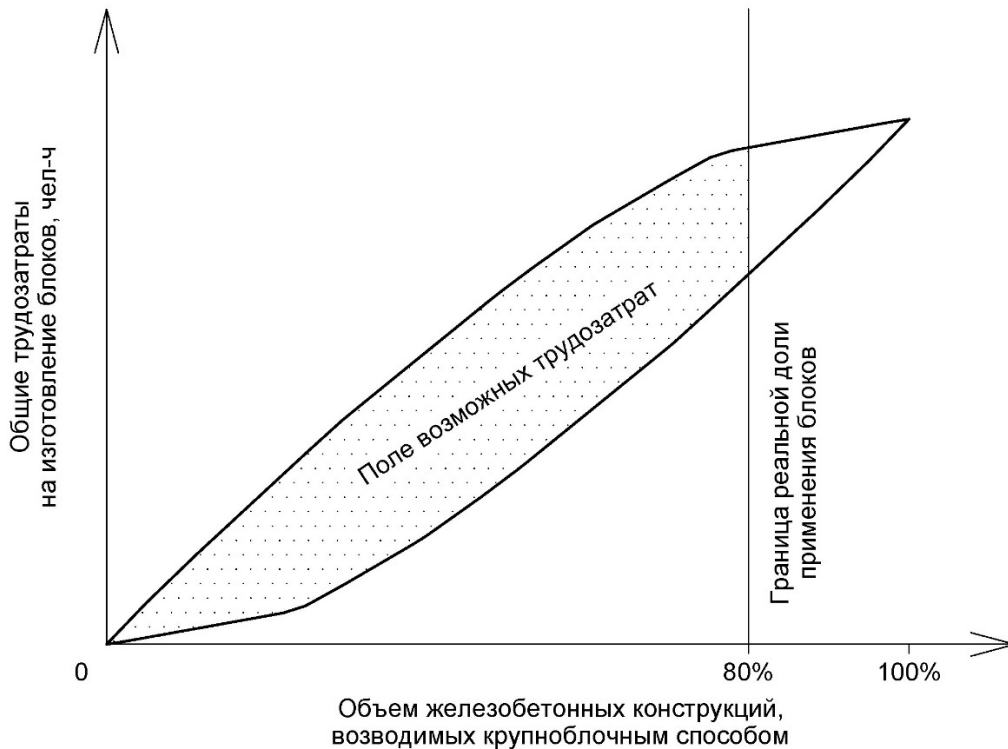


Рисунок 3.3. График трудозатрат на промышленное производство в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС

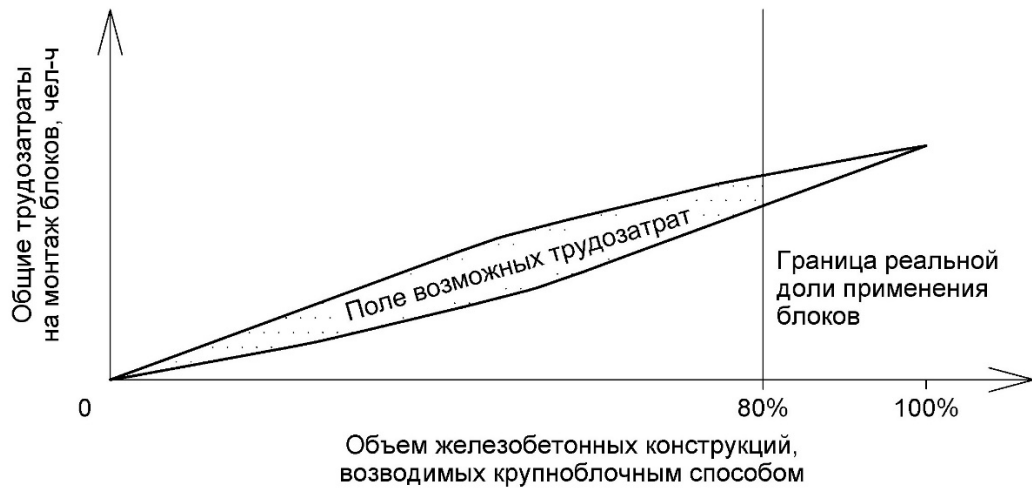


Рисунок 3.4. График трудовозатрат на монтаж армоблоков в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС.

Полученные вышеописанным методом графики для каждого из методов аппроксимируем по методу наименьших квадратов. Для этого подберем функции, наиболее точно аппроксимирующие узловые точки экстремальных ломанных. В качестве данной функции лучше всего подходит квадратичная функция вида $y = ax^2 + bx + c$. Коэффициенты a , b , c найдем, используя метод наименьших квадратов.

Объединяя полученные данные, построим диаграмму распределения трудовозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания (рисунок 3.5). Она представляет собой сумму аппроксимированных квадратичными функциями зависимостей величин трудовозатрат на крупноблочное возведение и отдельно на индустриальное производство и монтаж армоблоков в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС, а также аппроксимированной инвертированной зависимости величины трудовозатрат на возведение традиционным способом в зависимости от доли применения данного способа при возведении реакторного здания АЭС.

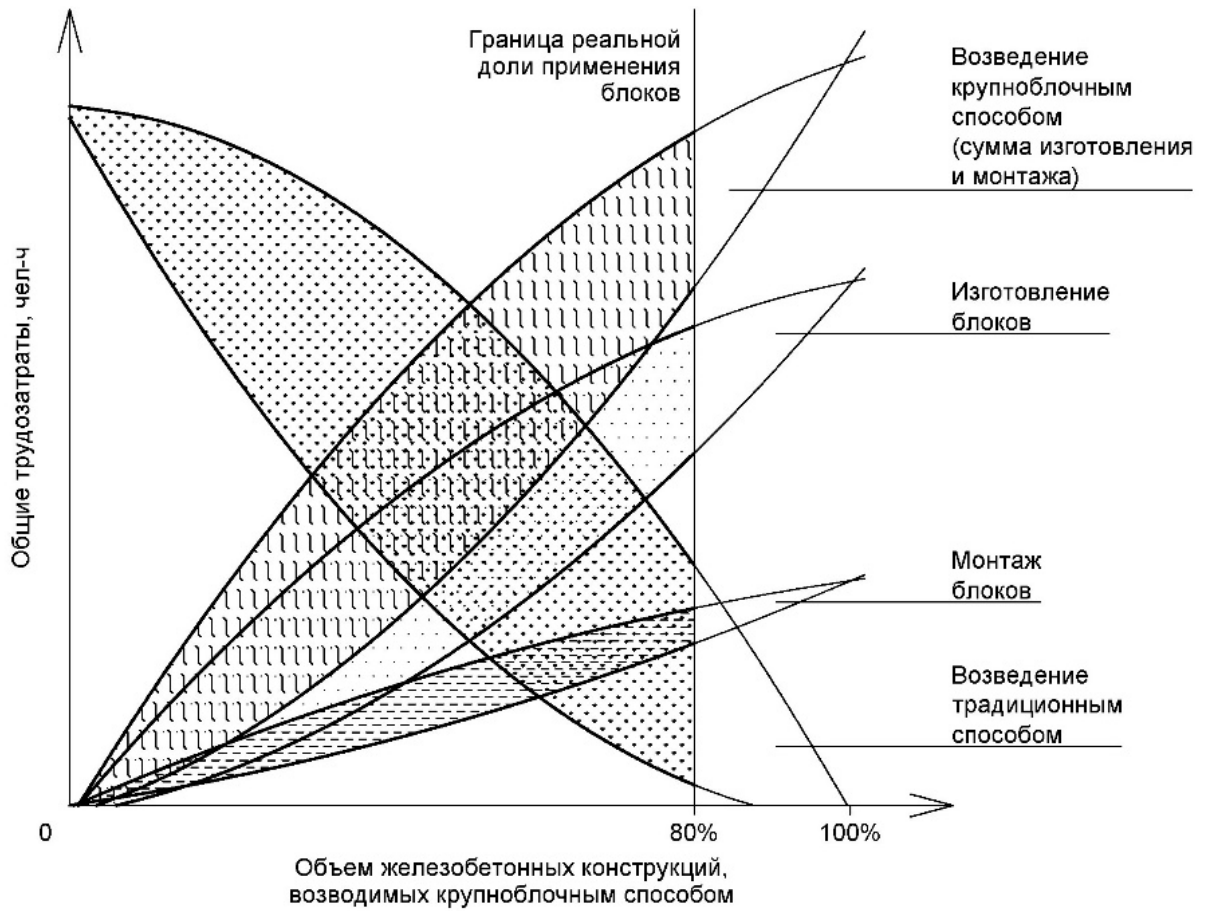


Рисунок 3.5. Диаграмма распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания.

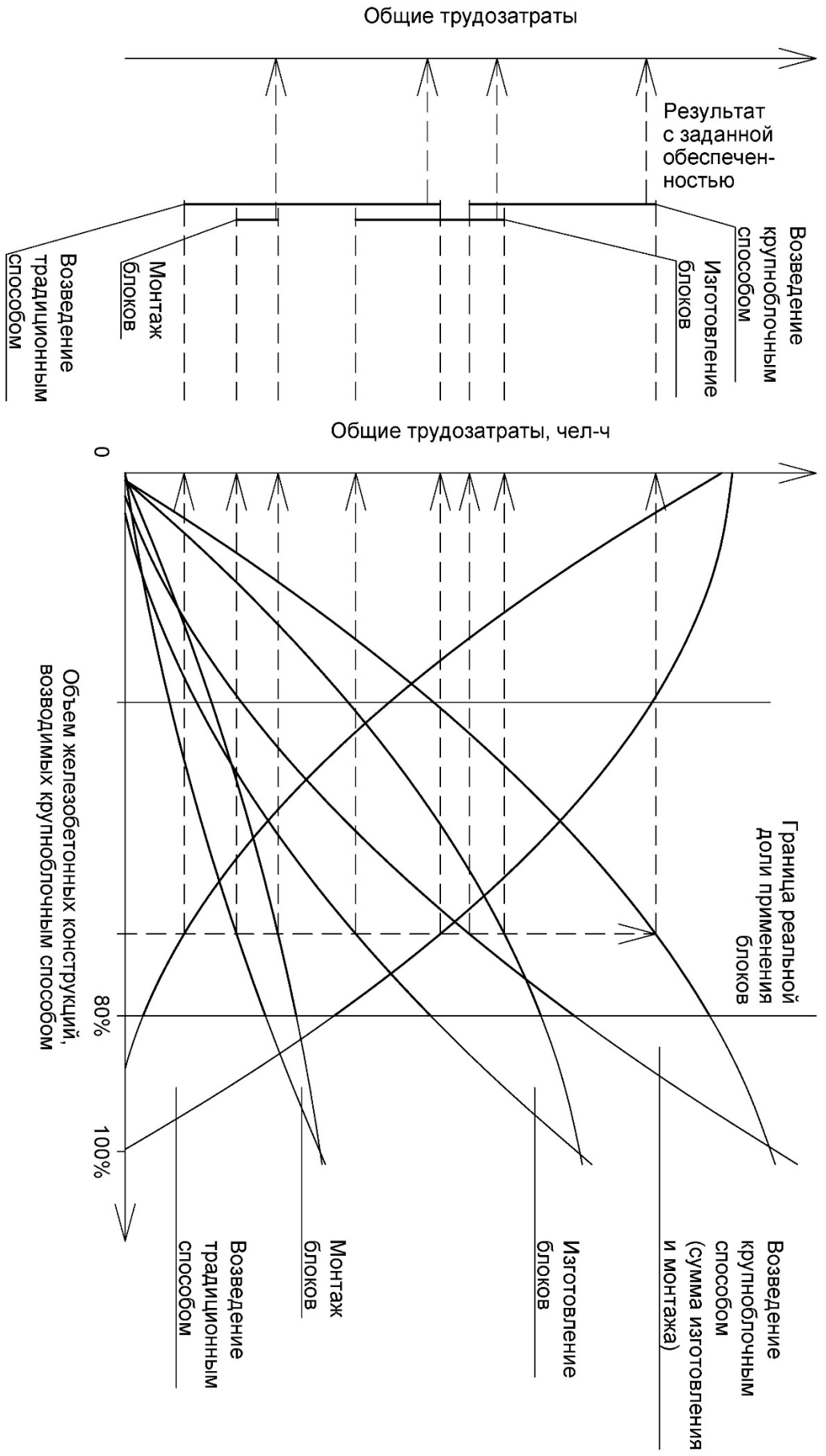


Рисунок 3.6. Определение трудозатрат по диаграмме распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания при заданном объеме применения крупноблочной технологии и принятой обеспеченности

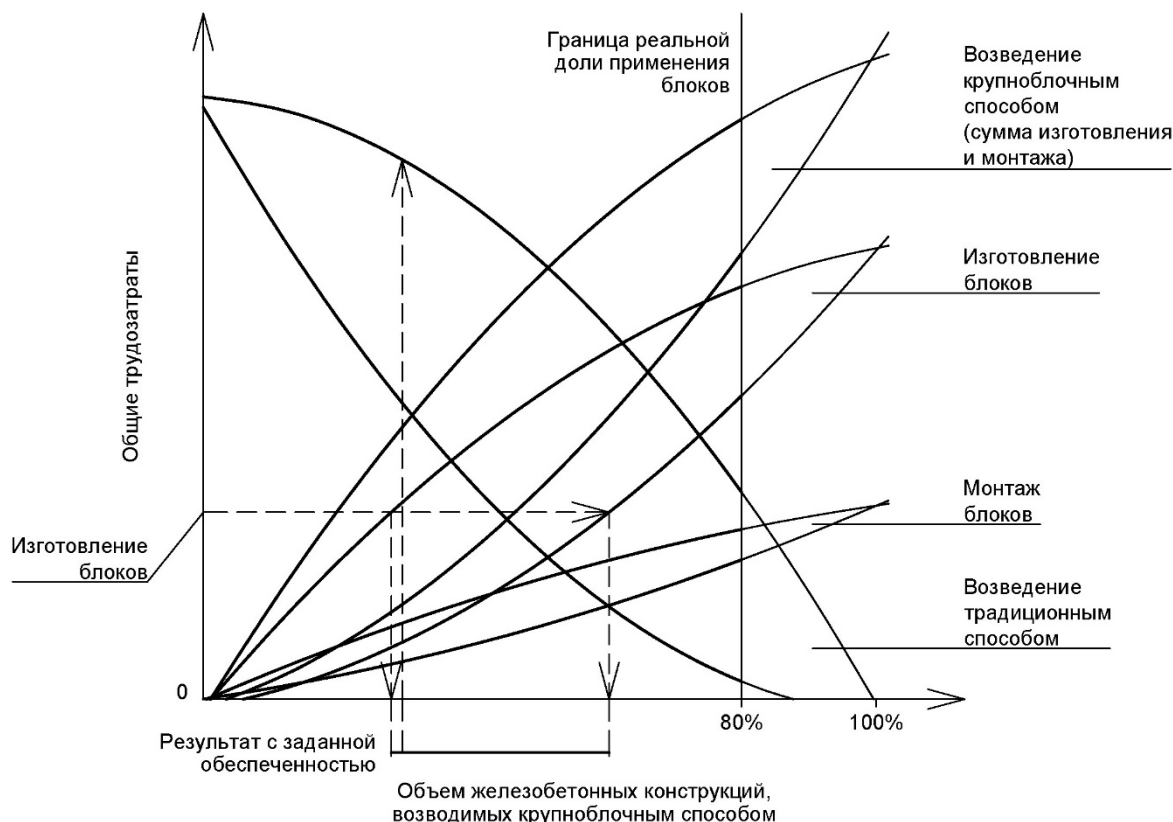


Рисунок 3.7. Определение трудовых затрат по диаграмме распределения трудовых затрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости по известному ресурсу.

Зависимость трудовых затрат от степени укрупнения армоблока определяется по следующему предложенному способу. Данный способ, как и предыдущий, строится на экстраполяции замеров пооперационных трудовых затрат на части характерных типов конструкций, возводимых крупноблочным методом.

Для определения трудовых затрат на монтаж армоблоков различных габаритов необходимо вычислить долю трудовых затрат на устройство стыков в общей доле трудовых затрат на монтаж армоблоков. Трудовые затраты на стыковку армоблоков прямо пропорциональны количеству стыков для армоблоков одинаковой толщины. При существующих технологиях, как правило, в месте стыка устраивается нащельник шириной 0.5-1.0 м (чаще около 0.5 м).

При стыковке с присутствует либо доборная арматура, перпендикулярная петлям Передерия и арматура ядра, либо доборы арматуры на муфтовых соединениях, рабочая арматура в ортогональном направлении и

поперечная арматура. В качестве допущения примем расход устанавливаемой в данных местах арматурных стержней равным расходу арматуры в остальных частях конструкции. Удельная трудоемкость арматурных работ на местах стыков равна удельной трудоемкости армирования отдельными стержнями такой же железобетонной конструкции. Так как ширина армоблока, в большинстве случаев, в основе и в местах стыка одинакова, объемы бетона в основе армоблока пропорциональны площади несъемной опалубки армоблока, в то же время как объем бетона в месте стыков пропорционален площади нащельников. Следовательно, соотношение объемов бетона в основе армоблока и местах стыка мы можем заменить соотношением площадей несъемной опалубки армоблока и нащельников.

Площадь нащельников будет равняться (3.12):

$$S_g = P \cdot \frac{1}{2} \cdot b_g - 4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot b_g\right)^2 = b_g \cdot \left(\frac{P}{2} - b_g\right) \quad (3.12), \text{ где}$$

S_g – площадь нащельника, м²;

P – периметр армоблока, м;

b_g – ширина нащельника, м.

Учитывая, что соотношения сторон армоблоков редко превышают 1:3, то граничные значения периметров армоблоков принимают значения от $4\sqrt{S}$ (для соотношения сторон 1:1) до $4.6\sqrt{S}$ (для соотношения сторон 1:3), где S – лицевая площадь армоблока (с одной стороны).

При ширине нащельников 0.5 м площадь нащельников будет равняться (3.13):

$$S_g = (1.00 \dots 1.15) \cdot \sqrt{S_f} - 0.25 \quad (3.13), \text{ где}$$

S_g – площадь нащельника, м²;

S – лицевая площадь армоблока, м².

Из формулы (3.12) для площади перейдем к объему конструкций стыков. Для конструкций с одинаковой толщиной объем стыка будет равняться площади нащельника, умноженной на среднюю толщину конструкции. Объем

железобетонной конструкции, ограниченной несъемной опалубкой, будет равняться площади несъемной опалубки, умноженной на среднюю толщину конструкции. Таким образом объем стыка будет равняться (3.14):

$$V_k^{join} = \delta_k \cdot \left((1.00 \dots 1.15) \sqrt{S_k} - 0.25 \right) = (1.00 \dots 1.15) \sqrt{V_k \cdot \delta_k} - 0.25 \cdot$$

δ_k (3.14), где

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

S_k – площадь лицевой поверхности (с одной стороны) k-ой железобетонной конструкции, м²;

V_k – объем k-ой железобетонной конструкции, м³;

δ_k – средняя толщина k-ой железобетонной конструкции, м.

Трудозатраты на устройство стыковых соединений складываются из трудозатрат на армирование стыковых соединений и из трудозатрат на устройство несъемной опалубки в месте соединения (устройства нащельников). Армирование стыковых соединений примем равным основному армированию, выполняемому на строительной площадке, поскольку стыковое соединение требует сопоставимое количество стержневой арматуры. Следовательно, расход арматуры на стыковое соединение можно принять равным расходу арматуры в основном армировании армоблока. Используя фактические данные о продолжительности, требуемом числе рабочих и сменности по каждой технологической операции, вычислим трудозатраты на армирование стыков (3.15):

$$C_i^{join} = \overline{n_{men}} \cdot t_i^{join} \cdot t_{shift} \cdot n_{shift} \quad (3.15), \text{ где}$$

C_i^{join} – трудозатраты на армирование стыков армоблоков i-ой конструкции из рассматриваемой выборки, чел-ч;

$\overline{n_{men}}$ – среднее количество рабочих в бригаде в сутки, чел;

t_i^{join} – продолжительность армирования стыков армоблоков i-ой конструкции, сут;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут⁻¹.

Аналогично трудозатраты на устройство нащельников составят (3.16):

$$C_i^{gap} = \overline{n_{men}} \cdot t_i^{gap} \cdot t_{shift} \cdot n_{shift} \quad (3.16), \text{ где}$$

C_i^{gap} – трудозатраты на устройство нащельников армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, чел-ч;

$\overline{n_{men}}$ – среднее количество рабочих в бригаде в сутки, чел;

t_i^{gap} – продолжительность устройства нащельников армоблоков i -ой конструкции, сут;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут⁻¹.

Удельные трудозатраты на армирование 1 м³ стыка армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки (3.16):

$$c_i^{join} = \frac{C_i^{join}}{S_{join} \cdot \delta_i} \quad (3.16), \text{ где}$$

c_i^{join} – удельные трудозатраты на армирование стыков армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

C_i^{join} – трудозатраты на устройство нащельников армоблоков i -ой конструкции, чел-ч;

S_{join} – общая площадь стыков армоблоков i -ой конструкции, м²;

δ_i – толщина армоблока i -ой конструкции, м.

Аналогично удельные трудозатраты на устройство нащельников 1 м³ стыков армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки составляют (3.17):

$$c_i^{gap} = \frac{C_i^{gap}}{S_{join} \cdot \delta_i} \quad (3.17), \text{ где}$$

c_i^{gap} – удельные трудозатраты на устройство нащельников армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

C_i^{gap} – трудозатраты на устройство нащельников армоблоков i -ой конструкции, чел-ч;

S_{join} – общая площадь стыков армоблоков i -ой конструкции, m^2 ;

δ_i – толщина армоблока i -ой конструкции, m .

Трудозатраты на устройство стыковых соединений вычислим по формуле (1.18):

$$c_k^{join} = a_r \cdot c_i^{join} + \frac{c_i^{gap}}{a_\delta} \quad (3.18), \text{ где}$$

c_k – удельные трудозатраты на устройство стыков k -ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/ m^3 ;

a_r – коэффициент среднего расхода арматуры, находится по формуле (3.5);

a_δ – коэффициент средней толщины конструкции, находится по формуле (3.6);

c_i^{join} – удельные трудозатраты на армирование стыков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/ m^3 ;

c_i^{gap} – удельные трудозатраты на устройство нащельников i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/ m^3 .

Трудозатраты на установку армоблока (без устройства стыков) складываются из подъема армоблока на отметку, выставления армоблока в проектное положение, раскрепления и растроповки армоблока. Трудозатраты на установку армоблока составят (3.19):

$$C_i^{inst} = \overline{n_{men}} \cdot t_i^{inst} \cdot t_{shift} \cdot n_{shift} \quad (3.19), \text{ где}$$

C_i^{inst} – трудозатраты на установку армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, чел-ч;

$\overline{n_{men}}$ – среднее количество рабочих в бригаде в сутки, чел;

t_i^{inst} – продолжительность установки армоблоков i -ой конструкции, сут;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут $^{-1}$.

Таким образом, удельные трудозатраты на 1 m^3 установки армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки составляют (3.20):

$$c_i^{inst} = \frac{c_i^{inst}}{V_i} \quad (3.20), \text{ где}$$

c_i^{inst} – удельные трудозатраты на установку армоблоков i -ой конструкции из рассматриваемой выборки, (чел-ч)/м³;

c_i^{inst} – трудозатраты на установку армоблоков i -ой конструкции, чел-ч;

V_i – объем армоблоков i -ой конструкции, м³.

Трудозатраты на установку армоопалубочных для остальных конструкций реакторного здания вычисляются по формуле (3.10).

Общие трудозатраты на монтаж армоблока складываются из удельных трудозатрат по категориям, умноженных на объем категории (3.21):

$$C_k^{mount} = V_k^{join} \cdot c_k^{join} + V_k \cdot (c_k^{inst} + c_k^{conc} + c_k^{care}) \quad (3.21), \text{ где}$$

C_k^{mount} – трудозатраты на установку армоблока k -ой конструкции реакторного здания, чел-ч;

c_k^{join} – удельные трудозатраты на армирование стыков k -ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

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

c_k^{conc} – удельные трудозатраты на бетонирование k -ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

c_k^{care} – удельные трудозатраты на уход за бетоном k -ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

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

V_k – объем k -ой железобетонной конструкции, м³.

Подставив значение объем стыка из формулы (3.14), получим (3.22):

$$C_k^{mount} = ((1.00 \dots 1.15) \sqrt{V_k \cdot \delta_k} - 0.25 \cdot \delta_k) \cdot c_k^{join} + V_k \cdot (c_k^{inst} + c_k^{conc} + c_k^{care}) \quad (3.22), \text{ где}$$

C_k^{mount} – трудозатраты на установку армоблока k -ой конструкции реакторного здания, чел-ч;

c_k^{join} – удельные трудозатраты на армирование стыков k-ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

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

c_k^{conc} – удельные трудозатраты на бетонирование k-ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

c_k^{care} – удельные трудозатраты на уход за бетоном k-ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/м³;

V_k – объем k-ой железобетонной конструкции, м³;

δ_k – средняя толщина k-ой железобетонной конструкции, м.

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

$\beta = c_k^{inst} + c_k^{conc} + c_k^{care}$, $\gamma = 0.25 \cdot \delta_k \cdot c_k^{join}$. Для каждой из конструкций получим функцию зависимости трудозатрат на монтаж армоблока в зависимости от объема армоблока вида (3.23):

$$C_k^{mount} = (\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot \sqrt{V_k} + \gamma \cdot V_k - \beta \quad (3.23), \text{ где}$$

C_k^{mount} – трудозатраты на установку армоблока k-ой конструкции реакторного здания, чел-ч;

V_k – объем k-ой железобетонной конструкции, м³;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ – коэффициенты.

Получим теперь приведенные удельные трудозатраты монтажа в зависимости от объема армоблока (1.24):

$$c_k^{mount} = \frac{C_k^{mount}}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2)}{\sqrt{V_k}} - \frac{\beta}{V_k} + \gamma \quad (3.24), \text{ где}$$

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

C_k^{mount} – трудозатраты на установку армоблока k-ой конструкции реакторного здания, чел-ч;

V_k – объем k-ой железобетонной конструкции, м³;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ – коэффициенты.

График полученной зависимости изображен на рисунке 3.8. График представлен пространством между двумя ограничивающими кривыми, зависящими от соотношения сторон монтируемого блока.



Рисунок 3.8. Зависимость трудозатрат на монтаж армоблока в зависимости от объема армоблока.

При увеличении объема армоблока удельные трудозатраты на 1 м^3 конструкции уменьшаются. Однако при использовании крупных армоблоков возникают определенные проблемы организационного характера. Крупные армоблоки необходимо изготавливать либо в непосредственной близости к строительной площадке, либо доставлять на площадку большегрузным транспортом, либо укрупнять на месте из привезенных небольших фрагментов. Последний из перечисленных методов называется укрупнительной сборкой. Для него необходимы площадки укрупнительной сборки в непосредственной близости от возводимого объекта (желательно, в зоне действия монтажного крана). Определим степень потребности в трудозатратах и площадях для укрупнительной сборки армоблоков различной величины.

Удельные затраты на укрупнительную сборку равны сумме трудозатрат на устройство стыковых соединений (3.18). Объем стыковых соединений при укрупнительной сборке будет равно разности объема стыков всех фрагментов, из которых выполняется сборка, и объема стыков по периметру укрупненного армоблока. Допустим, что все собираемые фрагменты одинаковы по габаритам. Математически это будет выражаться следующим образом (3.25):

$$V_{pa} = V_f^{join} \cdot n_f - V_k^{join} \quad (3.25), \text{ где}$$

V_{pa} – объем стыков армоблока, выполняемых на укрупнительной сборке, к-ой железобетонной конструкции, м³;

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

V_k^{join} – объем стыков монтируемого армоблока к-ой железобетонной конструкции, м³;

n_f – количество фрагментов армоблока к-ой железобетонной конструкции.

V_f^{join} , V_k^{join} выводятся через V_f , V_k соответственно аналогично формуле (3.14). Количество фрагментов армоблока будет равняться соотношению объемов монтируемого армоблока V_k и фрагмента V_f , из которых собирается армоблок. Откуда (3.26):

$$V_f = V_k \cdot n_f \quad (3.26), \text{ где}$$

V_f – объем фрагментов к-ой железобетонной конструкции, м³;

V_k – объем к-ой железобетонной конструкции, м³;

n_f – количество фрагментов армоблока к-ой железобетонной конструкции.

Трудозатраты на укрупнительную сборку получим, умножив объем укрупнительной сборки на удельные трудозатраты стыковых соединений (3.27):

$$C_{pa} = c_k^{join} \cdot (V_f^{join} \cdot n_f - V_k^{join}) = c_k^{join} \cdot \left(\left((1.00 \dots 1.15) \sqrt{V_k \cdot n_f \cdot \delta_k} - 0.25 \cdot \delta_k \right) \cdot n_f - \left((1.00 \dots 1.15) \sqrt{V_k \cdot \delta_k} - 0.25 \cdot \delta_k \right) \right) = (1.00 \dots 1.15) \cdot c_k^{join} \cdot \sqrt{V_k \cdot \delta_k} \cdot (n_f^{3/2} - 1) - 0.25 \cdot c_k^{join} \cdot \delta_k \cdot (n_f - 1) = (\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot \sqrt{V_k} \cdot (n_f^{3/2} - 1) + \gamma \cdot V_k \cdot (n_f - 1) \quad (3.27), \text{ где}$$

C_{pa} – трудозатраты укрупнительной сборки армоблока k -ой железобетонной конструкции, м^3 ;

c_k^{join} – удельные трудозатраты на армирование стыков k -ой конструкции реакторного здания, (чел-ч)/ м^3 ;

V_f^{join} – объем стыков фрагментов армоблока k -ой железобетонной конструкции, м^3 ;

V_k^{join} – объем стыков монтируемого армоблока k -ой железобетонной конструкции, м^3 ;

n_f – количество фрагментов армоблока k -ой железобетонной конструкции;

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

V_k – объем k -ой железобетонной конструкции, м^3 ;

δ_k – средняя толщина k -ой железобетонной конструкции, м;

$\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ – коэффициенты.

Получим теперь приведенные удельные трудозатраты укрупнительной сборки в зависимости от объема армоблока (3.28):

$$c_{pa} = \frac{C_{pa}}{V_k} = \frac{(\alpha_1 \dots \alpha_2) \cdot (n_f^{3/2} - 1)}{\sqrt{V_k}} + \gamma \cdot (n_f - 1) \quad (3.28), \text{ где}$$

c_{pa} – удельные трудозатраты укрупнительной сборки армоблока k -ой конструкции реакторного здания, чел-ч/ м^3 ;

C_{pa} – трудозатраты укрупнительной сборки армоблока k -ой конструкции реакторного здания, чел-ч;

V_k – объем монтируемого армоблока k -ой железобетонной конструкции, м^3 ;

n_f – количество фрагментов армоблока k -ой железобетонной конструкции;

$\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ – коэффициенты.

3.2. Определение граничных условий строительного проекта при возведении АЭС крупноблочным методом.

Очевидно, что строительный проект существует в среде определенных ограничений и условий. Ограничения могут носить организационный, технологический и экономический характер. В данной работе не рассматриваются ограничения экономического, поскольку они сильно зависят от локализации проекта. Однако крайне оправдано наложение экономических аспектов и ограничений на предложенную модель для принятия решений и выполнения организационных задач при реализации инвестиционно-строительного проекта.

При анализе производственных процессов на строительной площадке АЭС были выделены следующие ограничения:

- 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.

Поскольку продолжительность строительства АЭС является определяющей при реализации ИСП и, в том числе, влияет на стоимость строительства и срок окупаемости, его учет является важнейшим при формировании строительного проекта. Продолжительность строительства складывается из продолжительности подготовительного этапа и основного этапа строительства. На продолжительность подготовительного этапа будет влиять количество зданий и сооружений строительной базы, размеры строительной площадки, количество площадок укрупнительной сборки, количество внутриплощадочных дорог и т.п. Продолжительность основного периода строительства определяется продолжительностями разного вида работ (бетонных, монтажных, электротехнических, пусконаладочных и пр.). Работы подготовительного и основного периодов производятся с частичным и полным запараллеливанием, поэтому невозможно определить общую продолжительность строительства как алгебраическую сумму продолжительностей отдельных работ каждого из периодов. Поэтому говоря о продолжительности строительства АЭС будем акцентироваться на продолжительности бетонных работ на реакторном здании. При сокращении продолжительности производства бетонных работ на реакторном здании можно говорить и приблизительно оценить сокращение продолжительности строительства всего комплекса зданий и сооружений АЭС, поскольку реакторное здание стоит на критическом пути.

При определении продолжительности производства работ можем принять усредненную зависимость от трудозатрат, при которой принимается среднее количество трудовых ресурсов, задействованное при работах без учета распределения по длине данной работы (3.29):

$$T = \frac{C}{k_t \cdot \bar{n}_{lr}} \quad (3.29), \text{ где}$$

T – общая продолжительность производства бетонных работ, сут;

C – общие трудозатраты на бетонные работы, чел-ч;

$\overline{n_{lr}}$ – усредненное количество трудовых ресурсов, чел;

k_t – коэффициент реального рабочего времени.

Коэффициент реального рабочего времени представляет собой отношение времени рабочих смен, умноженное на их количество, к суточному времени (3.30):

$$k_t = \frac{t_{shift} \cdot n_{shift}}{24 \text{ ч}} \quad (3.30), \text{ где}$$

k_t – коэффициент реального рабочего времени;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут⁻¹.

При использовании различных методов возведения железобетонных конструкций реакторного здания (например, традиционного и крупноблочного) общая трудоемкость определяется как арифметическая сумма трудоемкостей различных методов возведения (3.31):

$$C = \sum_m C_m^{cs} \quad (3.31), \text{ где}$$

C – общие трудозатраты на бетонные работы, чел-ч;

C_m^{cs} – суммарные трудозатраты на возведение реакторного здания методом m , производимые непосредственно на площадке, чел-ч.

Для традиционного метода возведения суммарные трудозатраты на возведение реакторного здания, производимые непосредственно на площадке, будут равняться общим суммарным трудозатратам, поскольку на площадке происходят все технологические процессы по возведению железобетонных конструкций. Для крупноблочного метода непосредственно на строительной площадке производится только монтаж изготовленных и укрупненных армоблоков. Поэтому в суммарных трудозатратах C_m^{cs} не будут учитываться трудозатраты на промышленное изготовление армоблоков и их укрупнительную сборку.

Таким образом, перераспределение трудозатрат между различными методами возведения будет влиять на продолжительность производства бетонных работ и общую продолжительность возведения АЭС в целом.

Квалификация трудовых ресурсов влияет на перечень возможных выполняемых работ. Для работ по монтажу армоблоков требуется большое количество монтажников-арматурщиков 3, 4 и 5 разрядов, а также сварщики 5 разряда (особенно большая потребность в сварщиках при использовании армоблоков с металлической несъемной опалубкой). Также высокая квалификация предъявляется к рабочим на заводских производствах: требуются монтажники 5 и 6 разрядов, стропальщики и слесари 5 разряда, и сварщики 6 разряда. Как видно, средняя разрядность рабочих при строительстве крупноблочным методом очень высока, что является проблемой.

Особо остро данная проблема проявляется при реализации ИСП за рубежом в странах с невысоким уровнем экономического развития. Квалификация местных кадров крайне низка. Поэтому приходится либо организовывать обучающие центры, либо перевозить большой контингент рабочих из России. В первом случае на обучение рабочих навыкам соответствующей квалификации требуется достаточно большое количество временных ресурсов, что увеличивает общий срок реализации ИСП. Доставка рабочих из России – это дополнительные расходы на организацию транспортировки, проживания и фонд оплаты труда (который будет выше, чем при использовании местного населения). Однако в этом случае менее критична проблема общих сроков реализации проекта.

Но требуется также учитывать, что использование местной рабочей силы может быть одним из условий страны-заказчика. Причем требуемая доля местного контингента в общих трудовых ресурсах по контрактным обязательствам может достигать 70-80%. Это может стать решающим при выборе метода возведения строительных конструкций. Для реализации традиционного метода возведения железобетонных конструкций требуемый

средний разряд рабочих ниже, а сроки обучения навыкам короче. Также требуется куда меньшее количество сварщиков, особенно высококвалифицированных.

Как было показано в формуле (3.29), общая продолжительность строительства обратно пропорциональна количеству рабочих, одновременно выполняющих свои функции на строительной площадке. Однако, как было показано выше, общая численность кадров соответствующей квалификации на рынке труда ограничена, из-за чего на строительной площадке не будет достаточного количества трудовых ресурсов, чтобы выполнить требуемую работу в срок. В таком случае продолжительность строительства будет возрастать прямо пропорционально степени снижения доступных трудовых ресурсов.

Еще одним ограничением численности трудовых ресурсов может стать высокая насыщенность фронта работ трудовыми ресурсами. При большом количестве находящихся на одном объекте рабочие создают друг другу помехи. Среди основных факторов снижения производительности труда – недостаточная площадь для нормальной работы, снижение мотивации, снижение качества работы, ухудшение санитарно-гигиенических условий труда, психологический эффект и прочее. Рациональное количество трудовых ресурсов вычисляется по формуле, полученной В.А. Ундозеровым [72] (3.32):

$$n_{opt} = C_1 - \sqrt{C_1 \cdot (C_1 - n_{max})} \quad (3.32), \text{ где}$$

n_{opt} – рациональное количество трудовых ресурсов, чел;

C_1 – параметр, чел,;

n_{max} – максимальная численность рабочих, при которой практически невозможно выполнение работы, чел.

Из формулы (3.32) явно видно, что при высоком насыщении фронта работ трудовыми ресурсами формула (3.31) несправедлива и должна быть модифицирована с учетом формулы (3.32). Однако при оптимальной численности рабочих, одновременно задействованных при возведении

объекта, пропорциональность суммарной выработки количеству рабочих сохраняется, и формулу (3.31) возможно применять.

Предприятия строительной индустрии, где изготавливаются армоблоки, могут находиться как в непосредственной близости от строительной площадки, так и на удалении от нее. В непосредственной близости от строительной площадки находятся предприятия, которые специально возводят для строительства АЭС. Они могут располагаться на территории строительно-монтажной базы. В таком случае ограничения на транспортировку минимальны. Поскольку транспортировка производится на небольшое расстояние, возможно использование специальных платформ для перевозки крупногабаритных объектов. Однако недостатком возведения предприятий строительной индустрии в непосредственной близости к площадке является то, что требуется окупить затраты на строительство этих предприятий за цикл возведения всех энергоблоков станции, поскольку в дальнейшем данное предприятие может оказаться невостребованным для нужд промышленного и гражданского строительства. Тогда необходима оценка экономической эффективности сооружения предприятий только на период возведения АЭС.

Возможен вариант использования существующих индустриальных производств для нужд возведения АЭС. Варианты транспортировки армоблоков сильно зависят от расположения предприятий строительной индустрии относительно площадки строительства станции, а также расположения самой площадки строительства, особенно в рамках приближенности ее к судоходным акваториям. При наличии выхода к судоходным рекам, озерам, морям или океанам максимальный габарит армоблоков также может быть достаточно большим. В данном случае габарит армоблоков должен определяться наличием соответствующих грузоподъемных механизмов и инфраструктуры портов. При отсутствии доступа к судоходным путям используются два основных вида транспорта – железнодорожный и автомобильный.

Максимальным габаритом подвижного состава, принятым на территории Российской Федерации, согласно ГОСТ 9238 [4], является габарит Т, который имеет 5.3 м в высоту и 3.75 м в ширину. При высоте уровня пола платформы 1.3...1.4 м, получим максимальный поперечный габарит груза 3.90х3.75 м. Максимальная длина стандартных железнодорожных платформ составляет 18.4 м (4-осная платформа модели 13-926). Таким образом, максимальный объем перевозимого армоблока будет равняться $3.9 \cdot 18.4 \cdot \delta_k = 71.76 \cdot \delta_k$. Однако при толщине конструкции более 3.9 м максимальный объем фрагмента будет равен $3.9 \cdot 3.75 \cdot \delta_k = 14.63 \cdot \delta_k$. Ограничение по массе армоблока – 73 т. Удельную массу армоблоков в различных конструкциях определим на основе масс армирования, представленных в табл. 1 в виде среднего расхода арматуры, и масс несъемной опалубки и ферм, указанных в тексте ранее (3.33):

$$m_k = m_{kr} + m_t + \frac{m_f}{\delta_k} \quad (3.33), \text{ где}$$

m_k – удельная масса армоблока на 1 м³ k-ой железобетонной конструкции, кг/м³;

m_{kr} – средний расход арматуры на 1 м³ k-ой железобетонной конструкции, кг/м³;

m_t – удельная масса ферм на 1 м³ железобетонной конструкции, кг/м³;

m_f – удельная масса 1 м² несъемной опалубки, кг/м²;

δ_k – средняя толщина k-ой железобетонной конструкции, м.

На основе удельных масс армоблоков определим предельные объемы перевозимых фрагментов армоблоков, исходя из грузоподъемности платформ (3.34):

$$V_f^{lim} = \frac{B}{m_k} \quad (3.34), \text{ где}$$

V_f^{lim} – предельный по массе объем перевозимого фрагмента армоблока, м³;

m_k – удельная масса армоблока на 1 м³ k-ой железобетонной конструкции, кг/м³;

B – грузоподъемность, кг.

Еще одним фактором, влияющим на крупноблочное возведение АЭС является схема механизации монтажа. Важным являются как количество, так и грузоподъемность кранового оборудования. Классическая схема механизации для реакторного здания предполагает использование 4 башенных кранов, расположенных по 4 сторонам реакторного здания, и 1 тяжеловесный гусеничный кран (как правило, грузоподъемностью 750-1150 т). Теоретически возможно увеличение числа кранов до 8 башенных и 4 гусеничных на одно реакторное здание. Однако это требует дополнительного исследования на выявление создания взаимных помех при совместной работе кранов.

Для определения потребности в крановом оборудовании необходимо определить их технические возможности для монтажа армоблоков. Объемы бетона, ограничиваемые армоблоками, монтируемыми с помощью башенных кранов, вычисляются по формуле (3.35):

$$V_k^{lim} = \frac{B}{m_k} \quad (3.35), \text{ где}$$

V_k^{lim} – предельный объем бетона, ограничиваемого монтируемым армоблоком, м³;

m_k – удельная масса армоблока на 1 м³ k-ой железобетонной конструкции, кг/м³;

B – грузоподъемность, кг.

Если величина армоблоков, доставляемых на строительную площадку, в 2 и более раз ниже, чем предельный объем монтируемого краном армоблока, возможно применение укрупнительной сборки, трудоемкость которой определялась ранее в разделе 3.1. Количество фрагментов разукрупнения монтажного армоблока выглядит следующим образом (3.36):

$$n_f = \frac{V_k^{lim}}{V_f^{lim}} \quad (3.36), \text{ где}$$

n_f – количество фрагментов армоблока k -ой железобетонной конструкции;

V_k^{lim} – предельный объем монтируемого армоблока, м^3 ;

V_f^{lim} – предельный объем перевозимого фрагмента армоблока, м^3 .

Для гусеничных кранов степень разукрупнения определяется моделью крана. Для тяжеловесных гусеничных кранов ограничения по объему бетона, укладываемого в монтируемый армоблок, определяются в первую очередь устойчивостью армоблока заданных габаритов на монтаже. Это задача отдельного исследования.

Возможность и объемы использования укрупнительной сборки определяются характеристиками строительных площадок. Как правило, для возведения АЭС отводится площадка на удалении от существующей застройки, таким образом, стесненные условия строительства отсутствуют. Однако здания и сооружения комплекса АЭС возводятся параллельно, и физические ограничения могут возникать из-за большой плотности расположения зданий и сооружений на генеральном плане АЭС. Потребность в площади площадок укрупнительной сборки и в грузоподъемных механизмах будем определять на 1 чел-ч трудоемкости укрупнительной сборки. Формула определения удельной ресурсоемкости для каждого параметра будет записываться в следующем виде (3.37):

$$r_i = \frac{Q_i}{n_{men} \cdot t_{shift} \cdot n_{shift}} \quad (3.37), \text{ где}$$

r_i – удельная ресурсоемкость i -го параметра;

Q_i – количественная мера i -го параметра;

n_{men} – количество рабочих в бригаде в 1 смену, чел;

t_{shift} – продолжительность смены (рабочее время), ч;

n_{shift} – количество смен в сутках, сут^{-1} .

3.3. Обоснование трудозатрат проектного, индустриального и логистического блоков строительного проекта

Так как предполагается, что применение технологии крупноблочного возведения железобетонных конструкций зданий и сооружений комплекса АЭС влияет не только на блок подрядчика, а также на другие блоки строительного проекта, рассмотрим учет трудозатрат проектного, индустриального и логистического блоков строительного проекта.

В проектном блоке возрастает трудоемкость производства проектной и рабочей документации. Причем основная доля повышения трудоемкости приходится на выпуск рабочей документации. В техническом проекте атомной электростанции приводятся основные технологические решения по конструкциям армоблоков для разных типов конструкций (по 1-2 наиболее типовых блока на каждую конструкцию проектируемого здания). В то время как при выпуске рабочей документации требуется проработка каждого армоблока, унификация которых представляется мало возможной из-за сложной трассировки технологических и вспомогательных систем, которые требуют различной геометрии железобетонных конструкций здания, а также наличия специальных трубных проходов и закладных изделий. По рабочей документации при использовании армопалубочных конструкций объем проектной продукции возрастает по сравнению с технологией традиционного строительства. Вычислив соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации каждой железобетонной конструкции для различных технологий возведения, требуется найти усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации. Получим данное значение по формуле (3.38):

$$\bar{r}_s = \frac{\sum_i r_i V_i}{\sum_i V_i} \quad (3.38), \text{ где}$$

\bar{r}_s – усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации для различных технологий возведения железобетонных конструкций;

r_i —соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации i -ой железобетонной конструкции для различных технологий возведения;

V_i – объем бетона i -ой железобетонной конструкции, м³;

Как правило, каждый армоблок является уникальным, в первую очередь из-за расположения закладных изделий и проходов. Однако в конструкциях армоблоков имеются также достаточно похожие элементы, что позволяет частично использовать элементы одного армоблока для проектирования другого. Это означает, что к значению \bar{r}_s , при подсчете трудозатрат возможно применить некий понижающий коэффициент. Трудозатраты на разработку рабочей документации при использовании армоопалубочных конструкций будут иметь вид (3.39):

$$C_b^d = k_r \cdot \bar{r}_s \cdot C_t^d, \quad (3.39), \text{ где}$$

C_b^d – трудозатраты на разработку рабочей документации при использовании армоопалубочных конструкций, чел-ч;

C_t^d – трудозатраты на разработку рабочей документации при традиционном строительстве, чел-ч;

\bar{r}_s – усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации для различных технологий возведения железобетонных конструкций;

k_r —понижающий коэффициент.

Учет изменения трудозатрат индустриального блока аналогичен учету трудозатрат на индустриальное производство по формуле (3.9). Требуемые для производства ресурсы можно аналогично найти по формуле (3.37).

Трудозатраты логистического блока зависят от двух основных параметров: объема перевозок и дальности перевозок. При расчете трудозатрат к чистому времени перевозки армоблоков прибавляется также время простоя при загрузке и разгрузке транспортного средства. Трудоемкость

одного рейса будет вычисляться на основе его продолжительности по времени. Продолжительность рейса находится следующим образом (3.40):

$$t_{run} = \frac{2 \cdot L_{trans}}{\overline{v}_{trans}} + t_l + t_{ul} + n_{ts} \cdot \overline{t}_{ts}, \quad (3.40), \text{ где}$$

t_{run} – продолжительность одного рейса по перевозке армоблоков, ч;

L_{trans} – дальность перевозки, м;

\overline{v}_{trans} – средняя скорость перевозки армоблоков, км/ч;

t_l – продолжительность загрузки армоблоков, ч;

t_{ul} – продолжительность выгрузки армоблоков, ч;

n_{ts} – количество технических остановок;

\overline{t}_{ts} – среднее время технической остановки, ч.

Для автомобильного транспорта средняя скорость перевозки груза по дорогам с усовершенствованным покрытием (асфальтобетонные и цементобетонные дороги) составляет 49 км/ч [17]. Коэффициент 2 перед значением дальности учитывает обратный рейс транспортного средства порожняком (возможные перевозки сторонних грузов на обратном рейсе не учитываются). На основе продолжительности одного рейса вычислим его трудозатраты (3.41):

$$c_{run} = n_d \cdot t_{run}, \quad (3.41), \text{ где}$$

c_{run} – трудозатраты на выполнение одного рейса по перевозке армоблоков, чел-ч;

n_d – количество человек в транспортном средстве, чел;

t_{run} – продолжительность одного рейса по перевозке армоблоков, ч.

При использовании автомобильного транспорта, как правило, в транспортном средстве находится 1-3 человека (1-2 водителя и опционально экспедитор).

Общее количество требуемых рейсов вычисляется исходя из общего объема грузоперевозок, который равняется сумме масс (или объемов) всех перевозимых армоблоков, и грузоподъемности (или максимального

допустимого объема груза) транспорта. Формулы для вычисления требуемого количества рейсов выглядит следующим образом (3.42):

$$N_{run} = \max \left(\frac{\sum_i M_i}{\sum_i B_i}; \frac{\sum_i V_i}{\sum_i V_i^{lim}} \right), \quad (3.42), \text{ где}$$

N_{run} – количество рейсов, требуемое для перевозки общего объема армоблоков;

M_i – масса i -ого армоблока, т;

B_i – грузоподъемность i -ого транспортного средства, т.

V_i – объем i -ого армоблока, м³;

V_i^{lim} – предельный перевозимый i -ым транспортным средством объем груза, м³.

Общие трудозатраты на перевозку армоблоков будут равняться (3.43):

$$C_{ship} = N_{run} \cdot (c_{run} + c_l + c_{ul}), \quad (3.43), \text{ где}$$

C_{ship} – общие трудозатраты на перевозку армоблоков, чел-ч;

N_{run} – количество рейсов, требуемое для перевозки общего объема армоблоков;

c_{run} – трудозатраты на выполнение одного рейса по перевозке армоблоков, чел-ч;

c_l – трудозатраты загрузки армоблоков, чел-ч;

c_{ul} – трудозатраты выгрузки армоблоков, чел-ч.

3.4. Методика формирования организационной структуры строительного проекта

Предлагаемая методика формирования организационной структуры строительного проекта основывается на системе перераспределения трудозатрат. Рассматривается перераспределение трудозатрат 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:

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

Критическая численность персонала элемента или подсистемы характеризует максимальное число персонала, при котором система (элемент или подсистема) остается устойчивой и управляемой. При превышении критической численности удельная эффективность системы снижается, поскольку управляющие сигналы не могут в установленном режиме достигать исполнителей. Поддержание такой неустойчивой системы нерентабельно. Как правило, для решения данной проблемы можно прибегнуть к реорганизации структуры организации.

Например, если критическое число персонала достигается в отделе, рационально разделить данный отдел на два (или более). Причем сделать это возможно двумя основными путями: линейно и функционально. При линейном разделении происходит образование двух отделов, выполняющих одинаковые функции, но руководимые различными управленцами. При функциональном разделении функции новых отделов будут различаться. Линейное разделение актуально при имеющейся достаточно узкой специализации изначального отдела, либо при неделимости технологического процесса, происходящего внутри отдела. Например, образование двух монтажных участков из одного, достигшего критической численности. Функциональное разделение рационально применять при широком

функционале изначального отдела, который может совмещать различные функции. Например, разделение производственно-технического отдела на производственный отдел и технический отдел.

Требование специализации выражается в появлении новых технологических процессов, для выполнения которых невозможно использование существующих в организационной структуре элементов. Как правило, такие технологические процессы требуют особой квалификации персонала, а также специализированных средств производства и механизации.

Предложена следующая последовательность действий (рисунок 3.9):



Рисунок 3.9. Последовательность формирования организационной структуры строительного проекта.

3.5. Блок-схема алгоритма формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС.

На основе системы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС и способа 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. Блок-схема показана на рисунке 3.10. Данная блок-схема алгоритма иллюстрирует техническую реализуемость методики формирования организационной структуры строительного проекта.

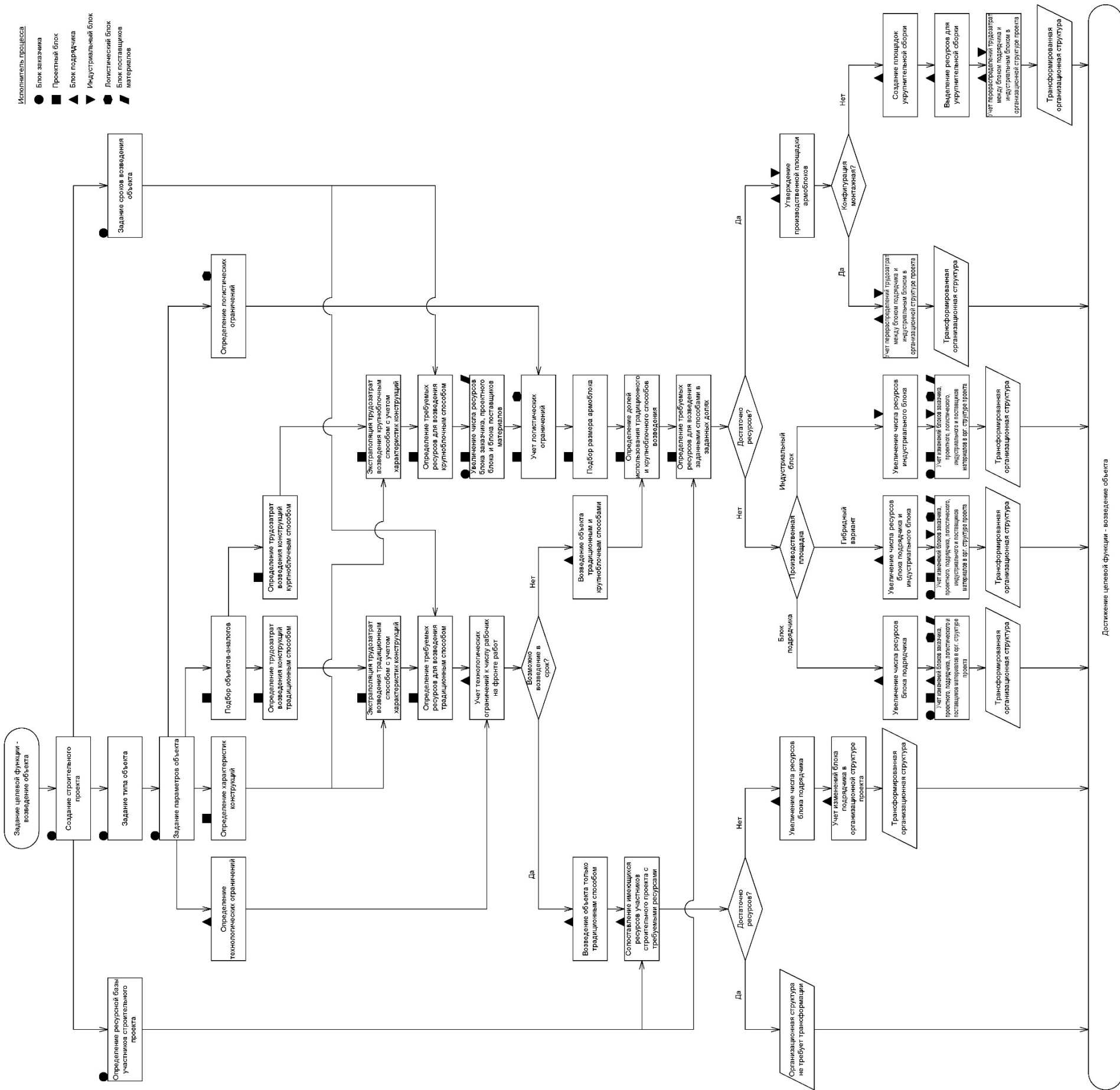


Рисунок 3.10. Блок-схема алгоритма формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС.

Выводы по главе 3:

1. На основе проведенных исследований разработан способ определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС. Построена диаграмма распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания. Сделан вывод о целесообразности использования фактических данных о трудозатратах на объекте аналоге. Выявлено, что при формировании организационной структуры строительного проекта величины трудозатрат представляют собой вероятностный интервал значений, уточняемых с заданной обеспеченностью.
2. Проведен учет граничных условий строительного проекта при возведении АЭС крупноблочным методом, которые требуется учитывать при формировании организационной структуры строительного проекта.
3. Предложена методика формирования организационной структуры строительного проекта, позволяющая сформировать оргструктуру, отвечающую выбранной технологии возведения АЭС.
4. Построена блок-схема алгоритма формирования организационной структуры проекта при крупноблочном возведении АЭС на основе способа определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока, учета граничных условий при возведении АЭС крупноблочным методом, а также системы перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта АЭС.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ, ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Практическое применение и апробация предложенной методики.

Рассмотрим применение вышеизложенной методики на примере возведения железобетонных конструкций реакторного здания проекта АЭС-2006. Сбор статистических данных проводился при строительстве первого энергоблока АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш, Пабна, Ишварди, Пакши роад стэйшн).

Для оценки трудозатрат на возведение железобетонных конструкций традиционным методом собирались данные по возведению перекрытия обстройки на отм. +16.450 в осях 3-5, контурных и внутренних стен обстройки с отм. +11.950 до отм. +16.450 в осях 3-5 реакторного здания. Для оценки трудозатрат индустриального производства и монтажа армоблоков собирались данные по изготовлению и монтажу армоблоков третьего яруса внутреннего контаймента (ВЗО). Исходными данными являлись геометрические характеристики конструкций: толщина конструкций, объем конструкций; продолжительность, требуемое число рабочих и сменность по каждой технологической операции. Собранные статистические данные по традиционному методу возведения представлены в таблице 4.1. Правомерность использования приведенных данных подтверждена справкой (приложение Б).

Таблица 4.1. Результаты сбора статистических данных о технологических процессах возведения конструкций реакторного здания

Конструкция	Вид работы	Объем	Ед. изм.	Средняя толщина, м	Ср. кол-во чел. в сутки	Продолжительность, суток
Контурная стена	Армирование	88.8	т	0.525	33	35
	Установка закладных изделий	7.6	т		19	18
	Установка опалубки	1291.7	м ²		33	12
	Бетонирование	339.4	м ³		30	3
	Уход за бетоном	339.4	м ³		6	6
Внутренние стены обстройки	Армирование	87.7	т	0.425	62	56
	Установка закладных изделий	22.7	т		18	54
	Установка опалубки	2872.3	м ²		31	28
	Бетонирование	609.7	м ³		30	5
	Уход за бетоном	609.7	м ³		6	6
Перекрытие обстройки	Установка палубы	1517.0	м ²	0.535	31	14
	Армирование	100.1	т		62	35
	Установка закладных изделий	12.8	т		17	14
	Установка опалубки	167.0	м ²		20	5
	Бетонирование	808.0	м ³		30	3
	Уход за бетоном	808.0	м ³		6	6

По формулам (3.1) и (3.2) вычислим общие и удельные трудозатраты возведения изучаемых конструкций реакторного здания. Результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Общие и удельные трудозатраты возведения конструкций реакторного здания

Конструкция	Вид работы	Общие трудозатраты, чел-ч	Удельные трудозатраты, (чел-ч)/[ед. изм.]	Ед. изм.
Контурная стена	Армирование	20790	234.12	чел-ч/т
	Установка закладных изделий	6156	810.00	чел-ч/т
	Установка опалубки	7128	5.52	чел-ч/м ²
	Бетонирование	1620	4.77	чел-ч/м ³
	Уход за бетоном	648	1.91	чел-ч/м ³
Внутренние стены обстройки	Армирование	62496	712.61	чел-ч/т
	Установка закладных изделий	17496	770.75	чел-ч/т
	Установка опалубки	15624	5.44	чел-ч/м ²
	Бетонирование	2700	4.43	чел-ч/м ³
	Уход за бетоном	648	1.06	чел-ч/м ³
Перекрытие обстройки	Установка палубы	7812	5.15	чел-ч/м ²
	Армирование	39060	390.21	чел-ч/т
	Установка закладных изделий	4284	334.69	чел-ч/т
	Установка опалубки	1800	10.78	чел-ч/м ²
	Бетонирование	1620	2.00	чел-ч/м ³
	Уход за бетоном	648	0.80	чел-ч/м ³

Исходя из данных соотношений (3.3) получим приведенные к требуемому для возведения 1 м³ железобетонной конструкции удельные

трудоемкости различных процессов возведения рассматриваемых конструкций. Полученные величины представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Приведенные трудозатраты возведения конструкций реакторного здания, приведенные к требуемому для возведения 1 м³ железобетонной конструкции значению

Конструкция	Вид работы	Приведенные трудозатраты, (чел-ч)/м ³	Доля в общих трудозатратах на конструкцию, %
Контурная стена	Армирование	61.26	57.2
	Установка закладных изделий	18.14	16.9
	Установка опалубки	21.00	19.6
	Бетонирование	4.77	4.5
	Уход за бетоном	1.91	1.8
Внутренние стены обстройки	Армирование	102.50	63.2
	Установка закладных изделий	28.70	17.7
	Установка опалубки	25.63	15.8
	Бетонирование	4.43	2.7
	Уход за бетоном	1.06	0.7
Перекрытие обстройки	Установка палубы	9.67	14.1
	Армирование	48.34	70.7
	Установка закладных изделий	5.30	7.8
	Установка опалубки	2.23	3.3
	Бетонирование	2.00	2.9
	Уход за бетоном	0.80	1.2

Таким образом, для каждой конструкции трудоемкость возведения 1 м³ железобетонной конструкции будет равняться арифметической сумме приведенных удельных трудозатрат для каждого технологического процесса при возведении данной конструкции. В итоге получим следующие величины суммарных приведенных трудозатрат на возведение конструкций реакторного здания. Эти значения приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Суммарные приведенные трудозатраты возведения 1 м³ железобетонной конструкции реакторного здания

Конструкция	Суммарные удельные трудозатраты, (чел-ч)/м ³
Контурная стена	107.08
Внутренние стены обстройки	162.32
Перекрытие обстройки	68.34

Превышение суммарных приведенных трудозатрат на возведение внутренних стен обстройки в 1.5 раза по сравнению с приведенными трудозатратами на возведение контурных стен может объясняться более сложной конфигурацией внутренних стен обстройки, насыщенностью их проходками, а также их меньшей средней толщиной. Так как в реакторном

здании имеются стены различной конфигурации – как более простой, так и более сложной – в качестве полученных величин примем средние значения, вычисленные за счет нахождения средних арифметических исходных характеристик. Средняя толщина конструкции стен равна 0.475 м. Усредненные значения для стен из рассматриваемой выборки приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Удельные трудозатраты возведения усредненных стен реакторного здания, а также удельные трудозатраты возведения усредненных стен реакторного здания, приведенные к требуемому для возведения 1 м³ железобетонной конструкции значению

Вид работы	Удельные трудозатраты, (чел-ч)/[ед. изм.]	Ед. изм.	Приведенные трудозатраты, (чел-ч)/м ³	Доля в общих трудозатратах на конструкцию, %
Армирование	440.82	чел-ч/т	81.98	59.6
Установка закладных изделий	791.29	чел-ч/т	25.26	18.4
Установка опалубки	5.53	чел-ч/м ²	24.28	17.7
Бетонирование	4.55	чел-ч/м ³	4.55	3.3
Уход за бетоном	1.37	чел-ч/м ³	1.37	1.0
Суммарные приведенные трудозатраты, (чел-ч)/м ³			137.44	

Вычислим трудозатраты стыковки и монтажа армоблоков ВЗО. Для армоблоков ВЗО толщиной 1.2 м для 12 армоблоков одного пояса установка доборной арматуры требует 26 суток. При этом задействовано 14 рабочих в смену. Работы производятся в 2 смены. Продолжительность смены 10 часов. Таким образом, при толщине конструкции 1.2 м и насыщении арматурой 201.44 кг/м³ трудозатраты на армирование стыков будут равны:

$$C_{IC}^{join} = 14 \cdot 26 \cdot 10 \cdot 2 = 7280 \text{ чел} - \text{ч.}$$

Для устройства нащельников требуется 19 суток при задействии 6 человек в смену. Работы также производятся в 2 смены по 10 часов. Трудозатраты на устройство нащельников составят:

$$C_{IC}^{gap} = 6 \cdot 19 \cdot 10 \cdot 2 = 2280 \text{ чел} - \text{ч.}$$

Для пояса из 12 армоблоков ВЗО площадь стыков составляет 153 м². Таким образом, удельные трудозатраты на армирование 1 м³ стыка армоблоков ВЗО составляют (6):

$$c_{IC}^{join} = \frac{7280}{153 \cdot 1.2} = 39.65 \text{ (чел - ч)}/\text{м}^3.$$

Удельные трудозатраты на устройство нащельников 1 м³ стыков армоблоков ВЗО составляют (7):

$$c_{IC}^{gap} = \frac{2280}{153 \cdot 1.2} = 12.42 \text{ (чел - ч)}/\text{м}^3.$$

Для установки армоблока требуется 12 суток при задействии 28 человек в смену. Работы также производятся в 2 смены по 10 часов. Трудозатраты на установку армоблока составят:

$$C_{IC}^{inst} = 28 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 2 = 6720 \text{ чел - ч}.$$

Для пояса из 12 армоблоков ВЗО объем армоблоков составляет 2386 м³. Таким образом, удельные трудозатраты на 1 м³ установки армоблоков ВЗО составляют:

$$c_{IC}^{inst} = \frac{6720}{2386} = 2.82 \text{ (чел - ч)}/\text{м}^3.$$

В армоблоке ВЗО масса арматуры на 1 м³ составляет 201.44 кг/м³, а масса несъемной опалубки 125.6 кг/м², что при толщине армоблока 1.2 м составляет 104.66 кг/м³. Также в армоблоке имеются связевые фермы, удельная масса которых составляет 25.40 кг/м³. Соотношение армирования, несъемной опалубки и ферм, округляя, примем 0.61:0.31:0.08. Таким образом, для формулы (3.10) получим следующие коэффициенты: $u_1 = 0.61$, $u_2 = 0.31$, $u_3 = 0.08$.

Таким образом, мы имеем суммарные приведенные трудозатраты для двух типов конструкций из рассматриваемой выборки – вертикальных (стен) и горизонтальных (перекрытий). При упоминании конструкций, сходных по конструкции, будем иметь ввиду один из двух типов конструкций из рассматриваемой выборки. На основе замеренных данных о трудозатратах на возведение обозначенных конструкций вычислим приведенные трудозатраты на возведение других железобетонных конструкций реакторного здания. Для вычисления приведенных трудозатрат была проанализирована проектная и рабочая документация всего реакторного здания АЭС «Руппур». На основе

технологической схожести (положения в пространстве, средней толщины, насыщенности арматурой и закладными изделиями) были выделены 19 различных характерных конструкций реакторного здания:

1. Фундаментная плита;
2. Транспортный портал. Конструкции фундамента;
3. Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала;
4. Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза;
5. Контурные стены обстройки;
6. Цилиндрическая часть наружной защитной оболочки (НЗО);
7. Купол наружной защитной оболочки (НЗО);
8. Строительные конструкции межоболочечного пространства;
9. Внутренние стены обстройки;
10. Перекрытия обстройки;
11. Зона локализации аварии (ЗЛА). Шахта реактора;
12. Зона локализации аварии (ЗЛА). Шахты ревизии внутрикорпусных устройств (ВКУ) и блока защитных труб (БЗТ);
13. Зона локализации аварии (ЗЛА). Бассейн выдержки;
14. Зона локализации аварии (ЗЛА). Стены;
15. Зона локализации аварии (ЗЛА). Опоры парогенераторов;
16. Зона локализации аварии (ЗЛА). Перекрытие;
17. Цилиндрическая часть внутренней защитной оболочки (ВЗО);
18. Купол внутренней защитной оболочки (ВЗО);
19. Строительные конструкции системы пассивного отвода тепла (СПОТ).

Схема разбивки реакторного здания по характерным конструкциям представлена на рисунках 4.1 и 4.2.

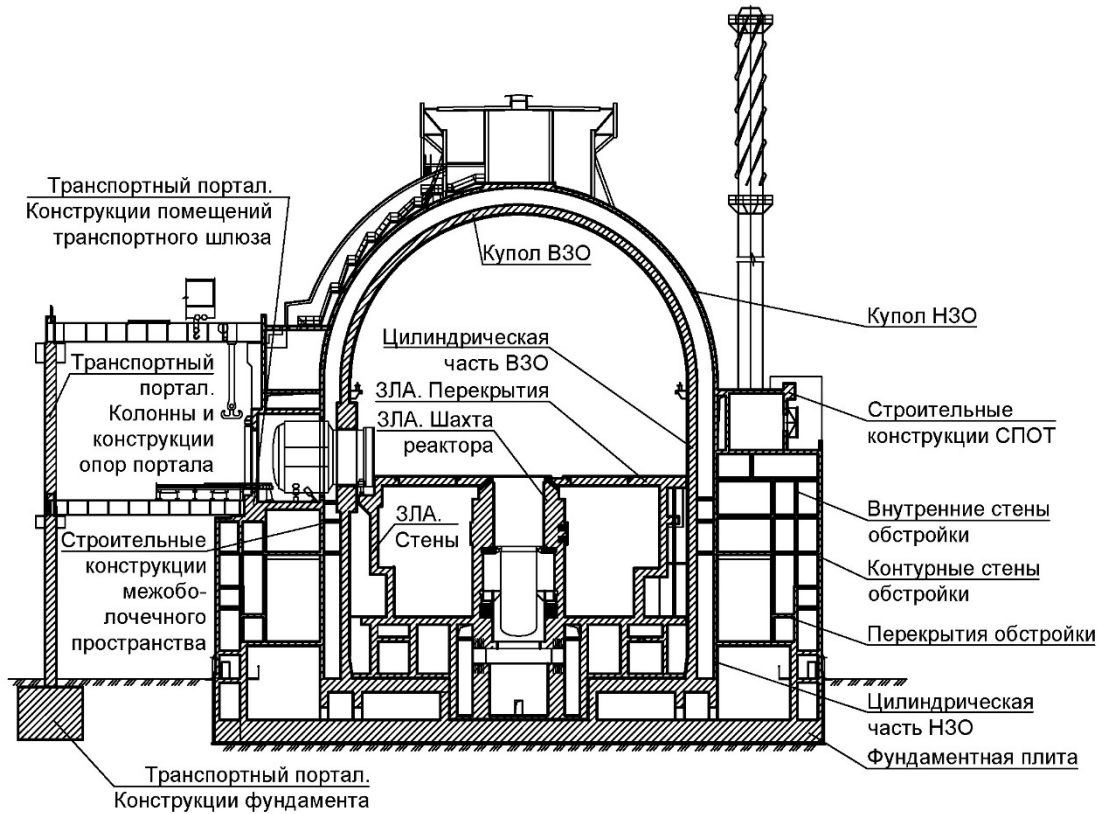


Рисунок. 4.1. Схема разбивки реакторного здания по конструкциям в разрезе по транспортному portalу.

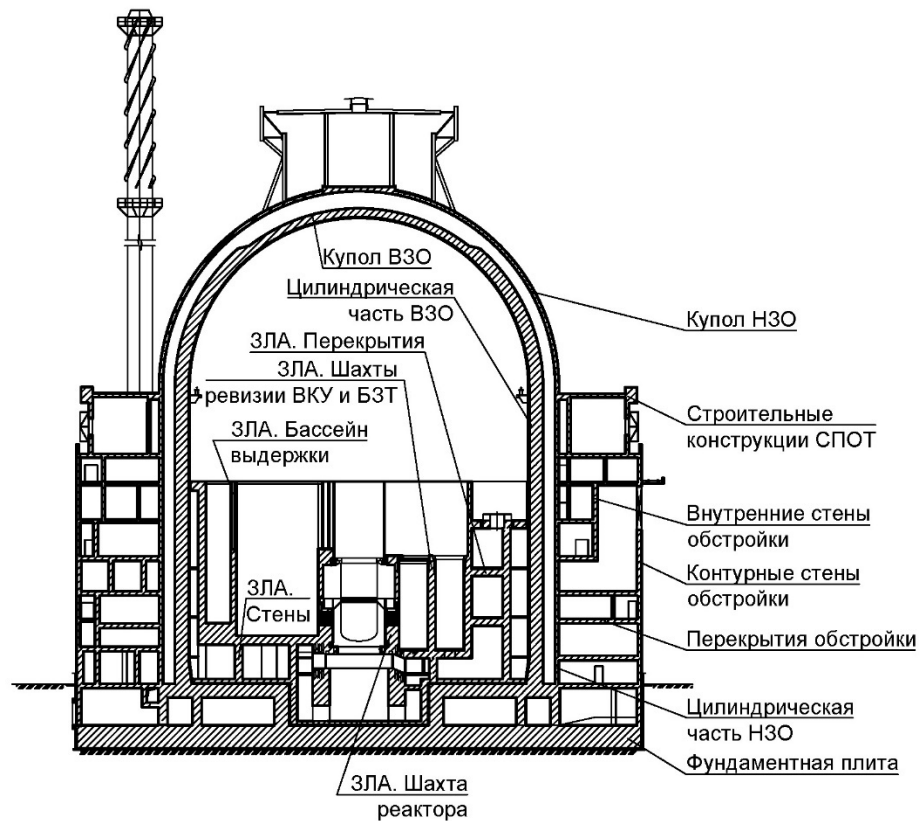


Рисунок. 4.2. Схема разбивки реакторного здания по конструкциям в разрезе по бассейну выдержки и шахтам ревизии ВКУ и БЗТ.

На основе анализа объемов строительных материалов различных конструкций реакторного здания вычислим средний расход арматуры на 1 м³ железобетонной конструкции. Средний расход определим по формуле (3.4). Средний расход арматуры и средняя толщины конструкций приведены в таблице 4.6.

Таблица. 4.6. Распределение объемов монолитного бетона и арматуры по конструкциям реакторного здания, средние толщины и расход арматуры

Наименование конструкции	Объем бетона, м ³	Масса арматуры, т	Масса закладных изделий, т	Средний расход арматуры, кг/м ³	Средняя толщина конструкции, м	Средний расход закладных изделий, кг/м ³
Фундаментная плита	17062	154	11	9.03	3.00	0.64
Транспортный портал. Конструкции фундамента	2379	67	-	28.16	6.85	-
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	593	205	-	345.70	1.50	-
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	1214	212	46	174.63	0.80	37.89
Контурные стены обстройки	4420	1125	135	254.52	0.55	30.54
Цилиндрическая часть НЗО	3688	886	-	240.24	0.50	-
Купол НЗО	1060	135	11	127.36	0.50	10.38
Строительные конструкции межбололочного пространства	498	98	33	196.79	0.20	66.27
Внутренние стены обстройки	12213	1823	372	149.27	0.50	30.46
Перекрытия обстройки	15037	1808	256	120.24	0.50	17.02
ЗЛА. Шахта реактора	2389	156	19	65.30	2.60	7.95
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	682	104	-	152.49	1.10	-
ЗЛА. Бассейн выдержки	1263	223	20	176.56	1.30	15.84
ЗЛА. Стены	6123	871	213	142.25	1.00	34.79
ЗЛА. Опоры парогенераторов	478	52	26	108.79	1.65	54.39
ЗЛА. Перекрытие	3202	699	89	218.30	1.20	27.80
Цилиндрическая часть ВЗО	6945	1399	6	201.44	1.20	0.86
Купол ВЗО	3999	517	65	129.28	1.20	16.25
Строительные конструкции СПОТ	5105	1135	88	222.29	0.50	17.23

Экстраполируем трудозатраты конструкций, включенных в выборку по сбору фактических данных на возведение всех конструкций реакторного

здания по формулам (3.8-3.10). Значения экстраполированных трудозатрат для различных конструкций реакторного здания приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Приведенные удельные трудозатраты на возведение конструкций реакторного здания при использовании традиционной и крупноблочной технологий

Наименование конструкции	Традиционная технология	Крупноблочная технология		
	Приведенные трудозатраты, (чел-ч)/м ³	Приведенные трудозатраты изготовления армоблоков, (чел-ч)/м ³	Приведенные трудозатраты монтажа армоблоков, (чел-ч)/м ³	Общие приведенные трудозатраты, (чел-ч)/м ³
Фундаментная плита	8.55	18.03	18.41	36.44
Транспортный портал. Конструкции фундамента	14.72	16.29	16.35	32.64
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	166.00	75.88	22.07	97.95
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	140.06	83.16	28.48	111.64
Контурные стены обстройки	173.55	104.33	34.72	139.05
Цилиндрическая часть НЗО	134.89	90.49	36.71	127.20
Купол НЗО	96.84	78.92	36.71	115.63
Строительные конструкции межблочечного пространства	122.42	93.42	34.83	128.25
Внутренние стены обстройки	129.15	92.62	36.71	129.33
Перекрытия обстройки	65.28	81.29	36.71	118.00
ЗЛА. Шахта реактора	48.11	31.45	18.97	50.42
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	83.63	52.40	24.73	77.13
ЗЛА. Бассейн выдержки	110.49	61.03	23.20	84.23
ЗЛА. Стены	119.40	70.98	25.73	96.71
ЗЛА. Опоры парогенераторов	122.23	67.12	21.40	88.52
ЗЛА. Перекрытие	97.90	74.97	23.90	98.87
Цилиндрическая часть ВЗО	106.52	58.47	23.90	82.37
Купол ВЗО	92.07	55.61	23.90	79.51
Строительные конструкции СПОТ	149.33	96.73	36.71	133.44

Вычислим соотношение трудозатрат на возведение всех железобетонных конструкций реакторного здания по формуле (3.11) и получим, что на возведение железобетонных конструкций реакторного здания традиционным способом (армирование россыпью) требуется порядка 7.7 млн. чел-ч (7721430 чел-ч), а на возведение того же объема в армоблоках – порядка 8.3 млн. чел-ч (8318883 чел-ч). Данные величины сопоставимого порядка:

увеличение трудозатрат при использовании армоблоков составляет 7.7%, что сопоставимо с погрешностью выбранной методики экстраполяции. Однако при возведении реакторного здания в армоблочных конструкциях затраты на промышленное изготовление армоблоков составляют около 5.8 млн. чел-ч (5787966 чел-ч), на монтаж – около 2.5 млн. чел-ч (2530917 чел-ч). Таким образом, трудозатраты непосредственно на строительной площадке (монтаж) составляют 32.8% от трудозатрат на строительной площадке при использовании традиционной технологии возведения. На рисунках 4.3-4.6 представлены графики трудозатрат возведения железобетонных конструкций реакторного здания различными методами и для отдельных этапов возведения.

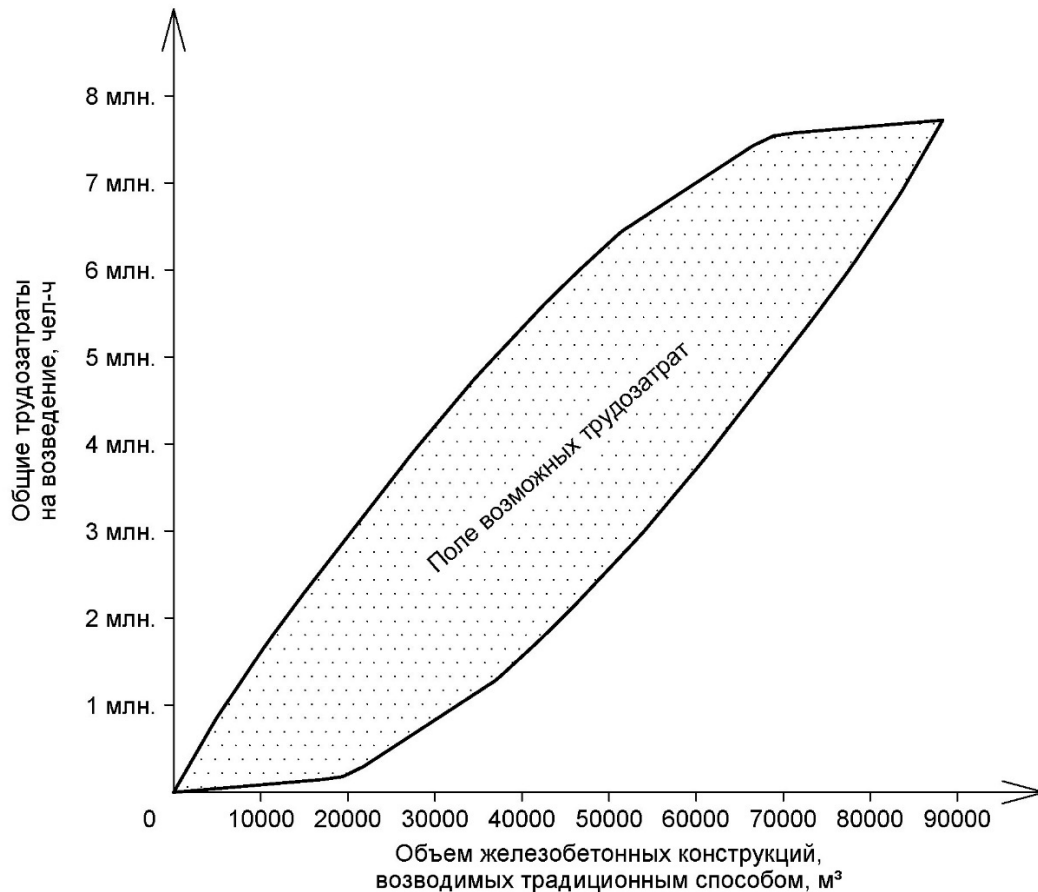


Рисунок. 4.3. Величина трудозатрат на возведение традиционным способом в зависимости от доли применения данного способа при возведении реакторного здания АЭС.

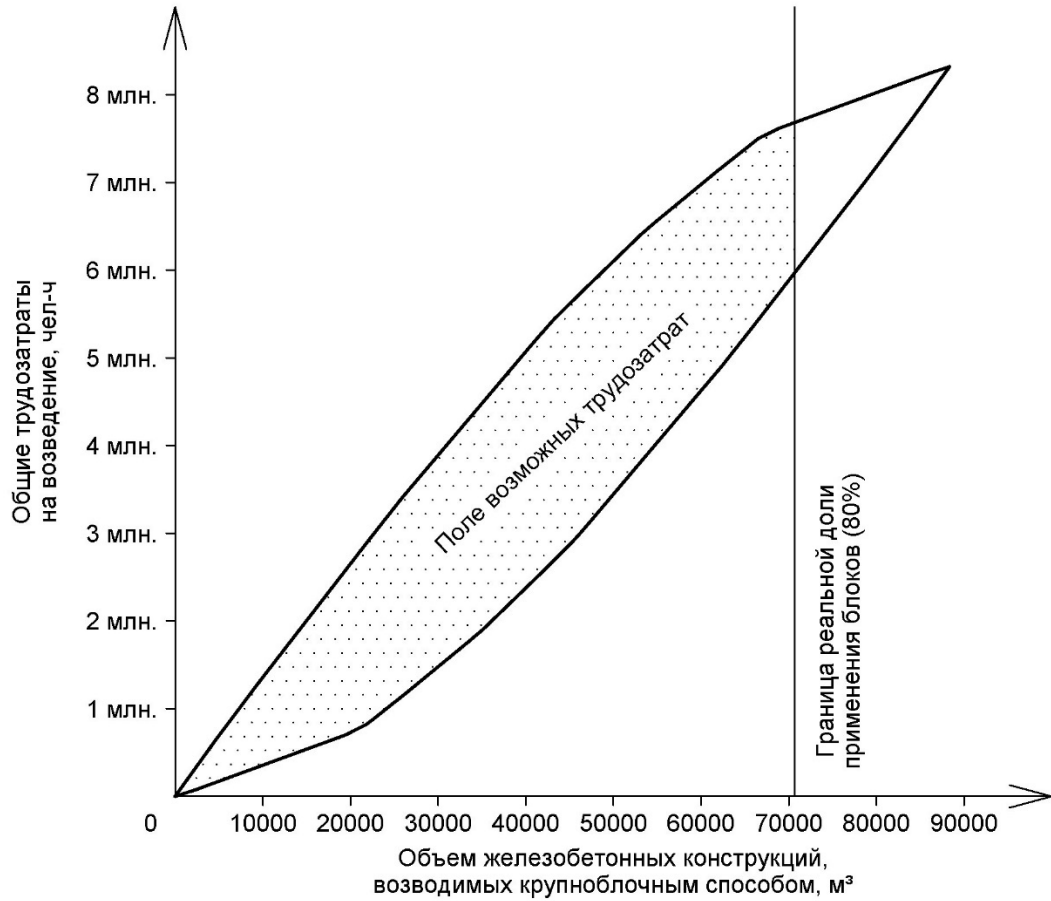


Рисунок.4.4. Величина трудовых затрат на крупноблочное возведение в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС.

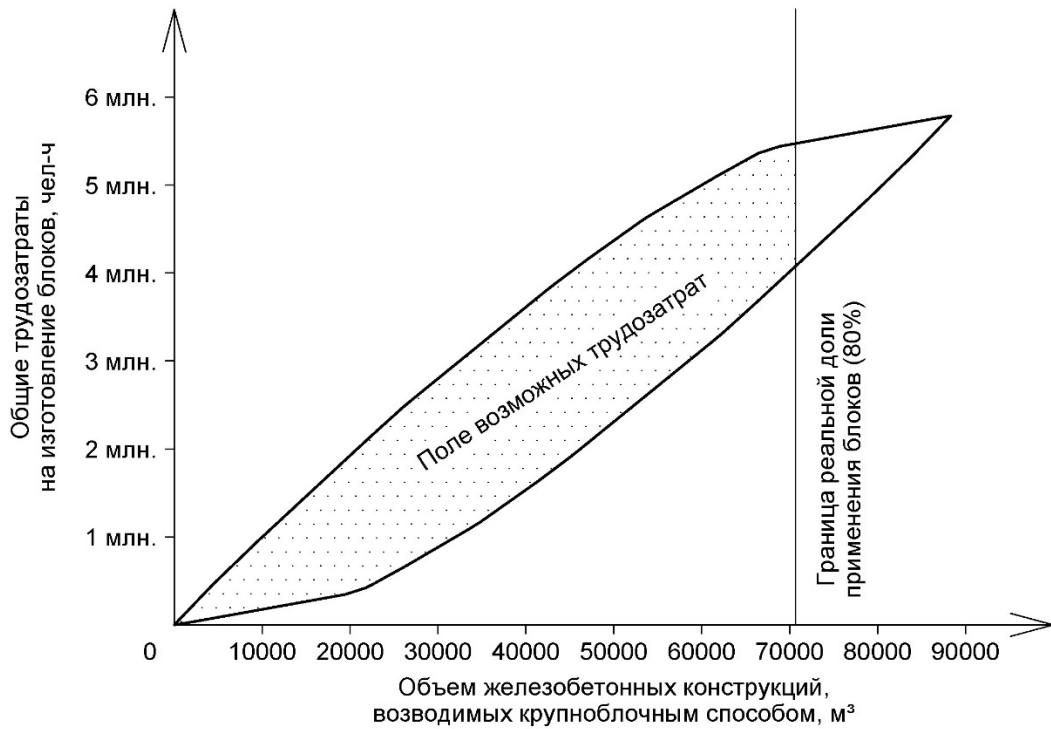


Рисунок 4.5. Величина трудовых затрат на промышленное производство в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС

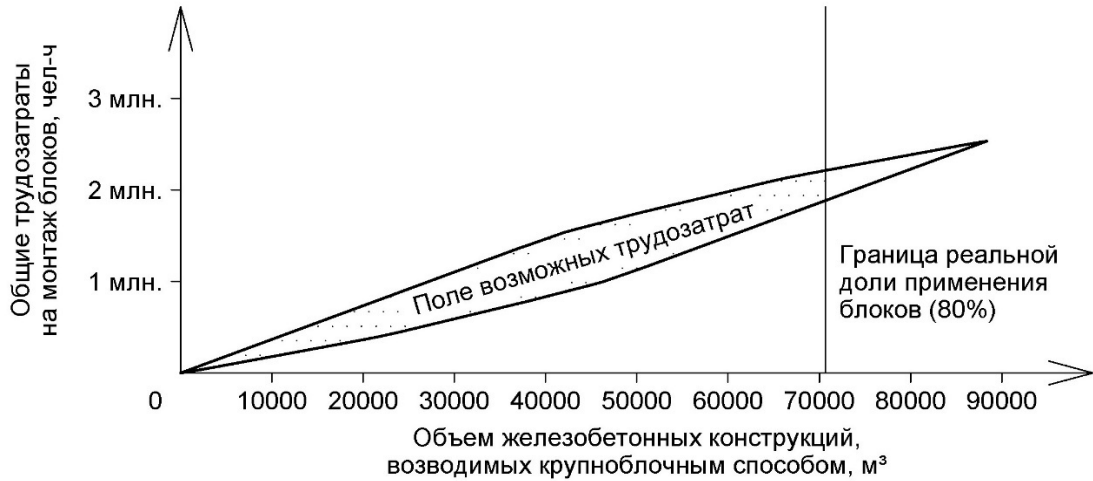


Рисунок 4.6. Величина трудозатрат на монтаж армоблоков в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС.

Ломаные линии, ограничивающие пространство возможных трудозатрат, аппроксимируем с помощью метода наименьших квадратов. Наиболее подходящими для аппроксимации являются квадратичные функции. Получим следующие функции, ограничивающие пространства возможных трудозатрат (таблица 4.9). В данных функциях x – количество железобетонных конструкций в м^3 , возводимое выбранным методом, y – общие трудозатраты в чел-ч.

Таблица 4.8. Функции аппроксимации границ пространств возможных трудозатрат при различных методах возведения железобетонных конструкций реакторного здания

График	Граница	Функция аппроксимации
Возведение традиционным методом	Верхняя	$y = -0.00094x^2 + 173.00x - 43224$
	Нижняя	$y = 0.00094x^2 + 6.98x - 185667$
Возведение традиционным методом (инвертированный график)	Верхняя	$y = -0.00094x^2 - 6.98x + 7907097$
	Нижняя	$y = 0.00094x^2 - 173.00x + 7764654$
Возведение крупноблочным методом	Верхняя	$y = -0.00073x^2 + 161.40x - 147387$
	Нижняя	$y = 0.00073x^2 + 32.81x - 113206$
Изготовление армоблоков	Верхняя	$y = -0.00056x^2 + 117.79x - 111964$
	Нижняя	$y = 0.00056x^2 + 18.41x - 117335$
Монтаж армоблоков	Верхняя	$y = -0.00016x^2 + 43.10x - 17787$
	Нижняя	$y = 0.00016x^2 + 14.54x + 2100$

После сопоставления полученных графиков получим диаграмму распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания (рисунок 4.7). График величины трудозатрат

на возведение традиционным способом инвертируем, таким образом получив зависимость трудозатрат на возведение традиционным способом от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания АЭС.

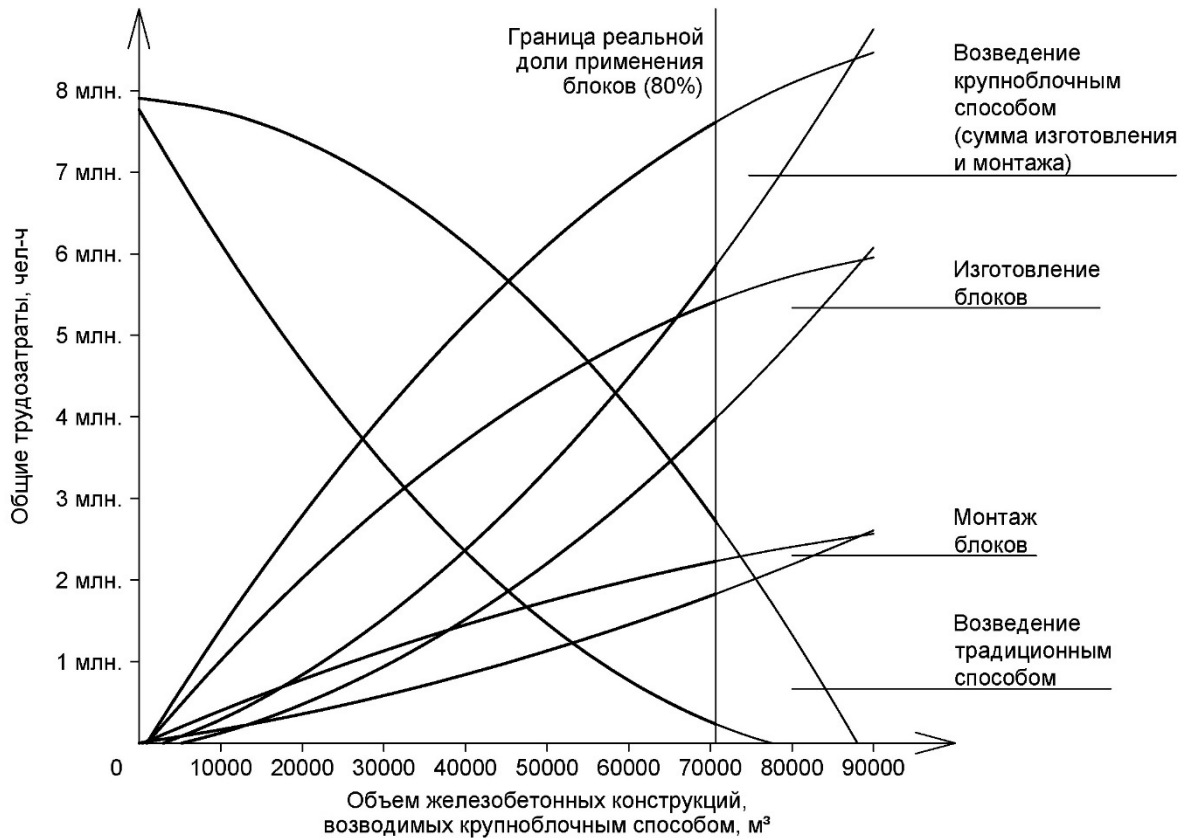


Рисунок 4.7. Диаграмма распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания.

Используя данный график, мы можем найти требуемые общие трудозатраты на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС отдельно для каждого метода возведения, а также для элементов крупноблочного метода. Для этого нам надо задаться предполагаемым процентом возведения реакторного здания с помощью армоблоков. Допустим, примем, что в армоблоках возводятся 60 тыс. м³ железобетонных конструкций. Поскольку, на данном этапе мы не уточняем, какие именно конструкции будут возводиться крупноблочным методом, мы получим трудозатраты по каждому

методу и этапу в виде диапазонов трудозатрат. Получим следующие результаты:

- Возведение традиционным способом – от 0.8 млн. чел-ч до 4.1 млн. чел-ч
- Возведение крупноблочным способом – от 4.5 млн. чел-ч до 6.9 млн. чел-ч

В крупноблочном способе:

- Изготовление армоблоков – от 3.0 млн. чел-ч до 4.9 млн. чел-ч
- Монтаж армоблоков – от 1.5 млн. чел-ч до 2.0 млн. чел-ч

Для получения конкретных значений надо задаться обеспеченностью, которая выражает определенную степень надежности полученных результатов. При подсчете трудозатрат с увеличением обеспеченностью повышаются трудозатраты. Примем обеспеченность 95%. Тогда получим следующие результаты:

- Возведение традиционным способом – 3.9 млн. чел-ч
- Возведение крупноблочным способом – 6.8 млн. чел-ч

В крупноблочном способе:

- Изготовление армоблоков – 4.8 млн. чел-ч
- Монтаж армоблоков – 2.0 млн. чел-ч

Как видно, суммарные трудозатраты для возведения реакторного здания составляют $3.9+6.8=10.7$ млн. чел-ч, что превышает на 29-39% трудозатраты на возведение реакторного здания каким-либо одним способом. Это возникает при использовании высокой степени обеспеченности (выше 50%), что предполагает создание запаса трудовых ресурсов при высокой степени неопределенности. При использовании обеспеченности 50% получим следующие результаты:

- Возведение традиционным способом – 2.4 млн. чел-ч
- Возведение крупноблочным способом – 5.7 млн. чел-ч

В крупноблочном способе:

- Изготовление армоблоков – 4.0 млн. чел-ч
- Монтаж армоблоков – 1.7 млн. чел-ч

Суммарные трудозатраты для возведения реакторного здания в данном случае составляют $2.4+5.7=8.1$ млн. чел-ч, что сопоставимо с трудозатратами каждым из методов по отдельности. Однако, в данном случае отсутствует запас, связанный с изменениями в проекте, которые касаются перечня возводимых конструкций тем или иным образом.

Процесс вычисления трудозатрат по диаграмме распределения трудозатрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания. представлен на рисунке 4.8.

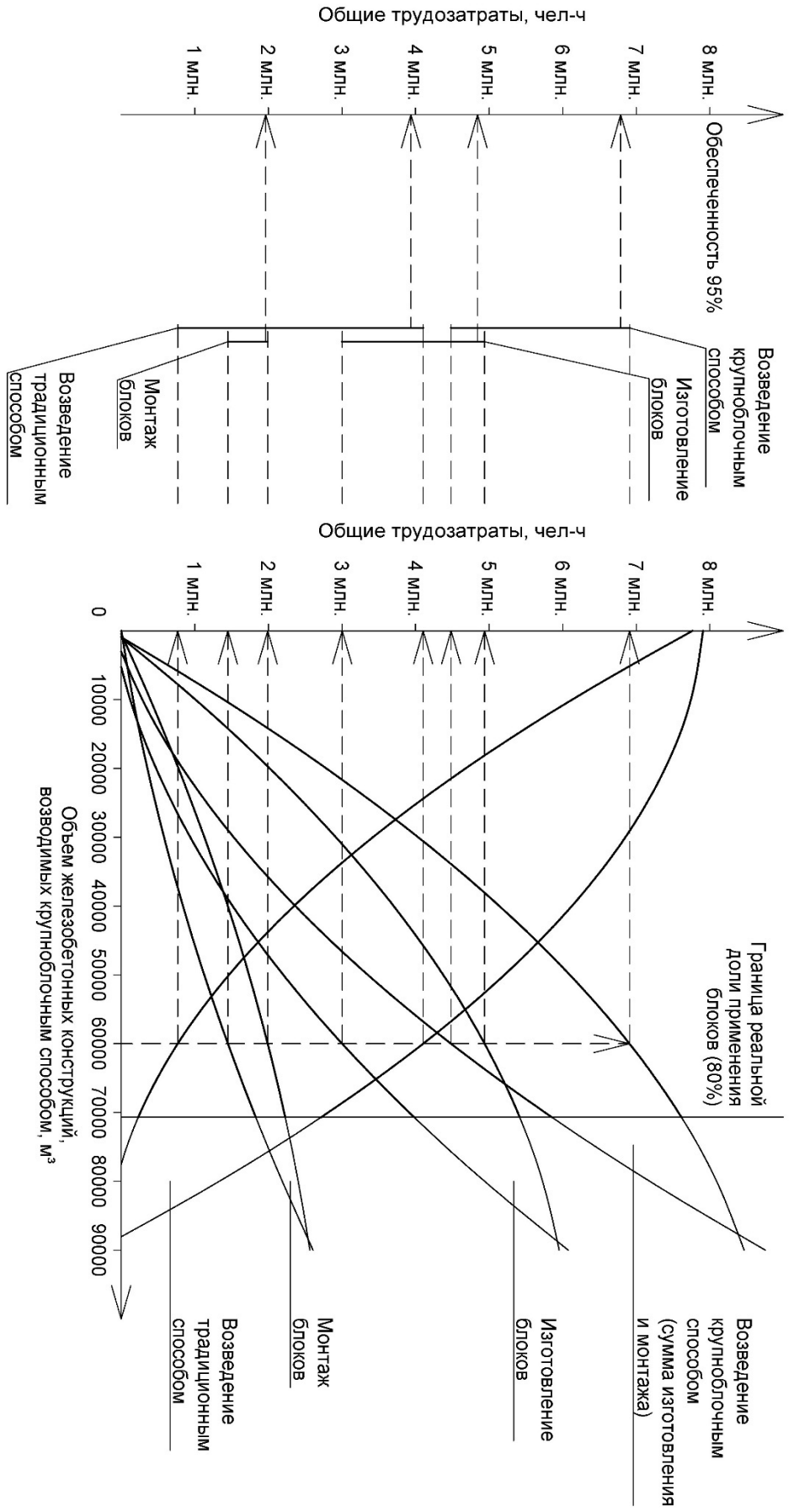


Рисунок 4.8. Определение трудовых затрат по диаграмме распределения трудовых затрат на возведение железобетонных конструкций реакторного здания АЭС в зависимости от доли применения армоблоков при возведении реакторного здания при заданном объеме применения крупноблочной технологии и принятой обеспеченности.

Проведем учет вариативности размера монтажного армоблока. Трудозатраты на бетонирование c_k^{conc} составляют 4.55 (чел-ч)/м³, трудозатраты на уход за бетоном c_k^{care} составляют 1.37 (чел-ч)/м³. Данные трудозатраты не зависят от толщины конструкции, насыщенности арматурой и т.п., поэтому примем их для всех конструкций. Вычислим коэффициенты α_1 , α_2 , β , γ для различных конструкций реакторного здания. Значения коэффициентов представлены в таблице 4.9.

Табл. 4.9. Коэффициенты функции зависимости трудозатрат на монтаж армоблока в зависимости от объема армоблока

Наименование конструкции	α_1	α_2	β	γ
Фундаментная плита	11.68	13.43	5.06	6.57
Транспортный портал. Конструкции фундамента	20.20	23.23	13.22	6.54
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	95.51	109.83	29.24	9.80
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	47.41	54.52	10.60	8.95
Контурные стены обстройки	57.25	65.84	10.61	10.23
Цилиндрическая часть НЗО	54.51	62.69	9.64	10.30
Купол НЗО	38.80	44.62	6.86	9.33
Строительные конструкции межоболочечного пространства	50.65	58.25	5.66	13.07
Внутренние стены обстройки	41.85	48.13	7.40	9.52
Перекрытия обстройки	37.81	43.48	6.68	9.27
ЗЛА. Шахта реактора	29.97	34.46	12.08	7.11
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	45.69	52.54	11.98	8.40
ЗЛА. Бассейн выдержки	52.70	60.60	15.02	8.46
ЗЛА. Стены	42.90	49.34	10.73	8.41
ЗЛА. Опоры парогенераторов	39.11	44.97	12.56	7.71
ЗЛА. Перекрытие	60.68	69.78	16.62	8.88
Цилиндрическая часть ВЗО	57.04	65.60	15.62	8.74
Купол ВЗО	41.48	47.70	11.36	8.12
Строительные конструкции СПОТ	52.02	59.82	9.20	10.14

Выведем графики величин удельных трудозатрат на монтаж армоопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока для каждой конструкции реакторного здания. Графики представлены на рисунках 4.9-4.12.

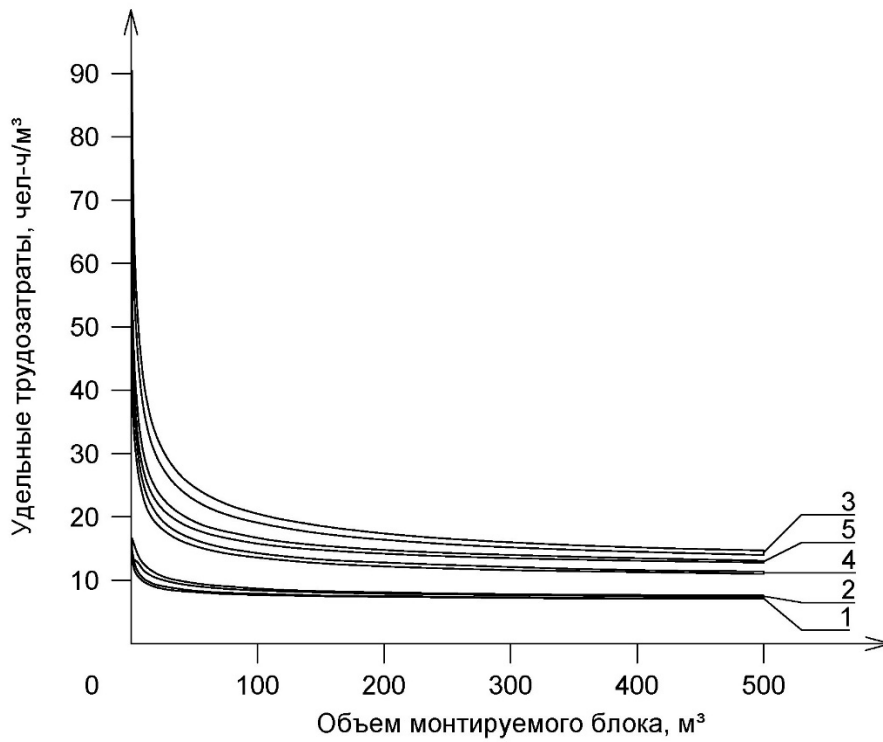


Рисунок 4.9. Графики величин удельных трудозатрат на монтаж армопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока для конструкций 1-5.

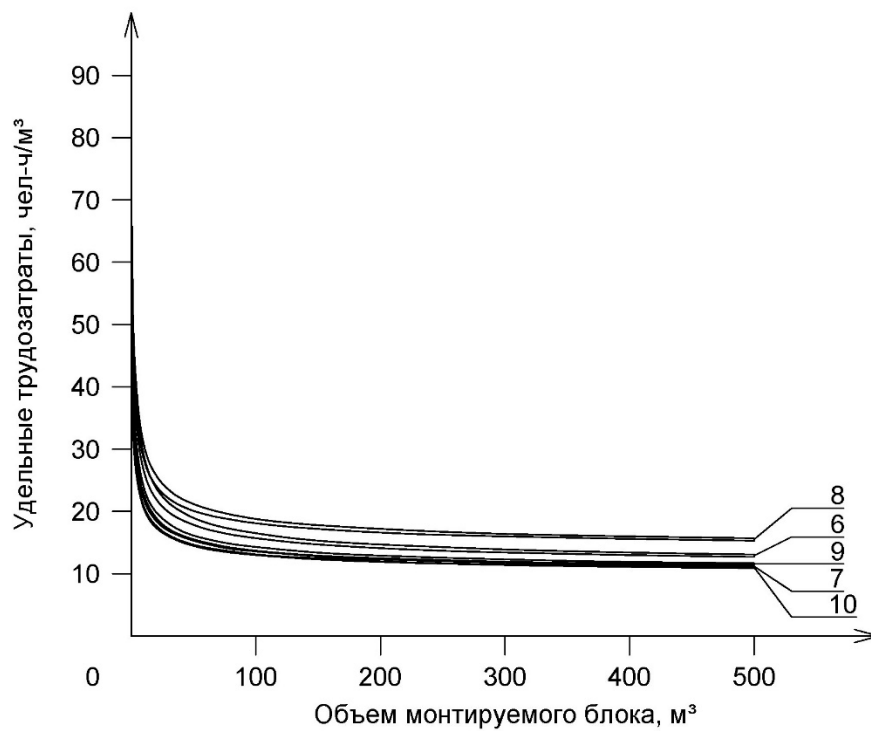


Рисунок 4.10. Графики величин удельных трудозатрат на монтаж армопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока для конструкций 6-10.

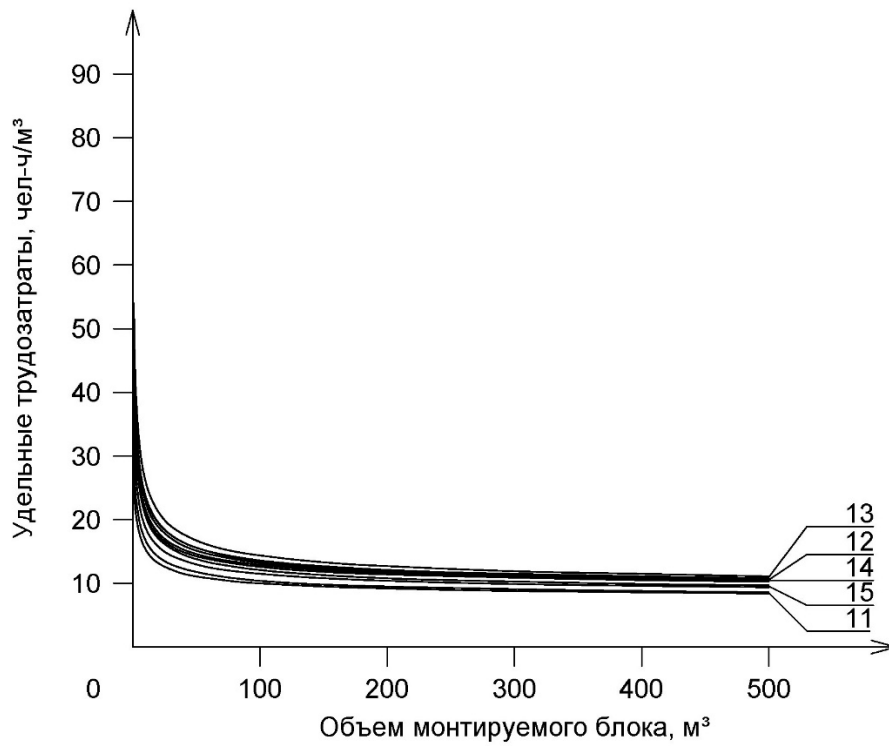


Рисунок 4.11. Графики величин удельных трудозатрат на монтаж армопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока для конструкций 11-15.

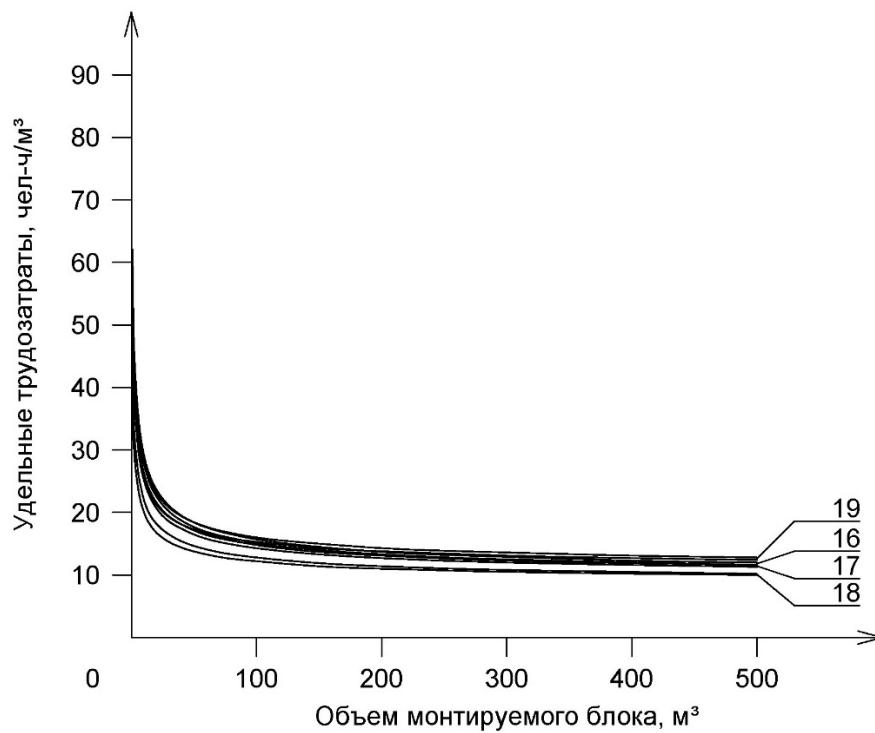


Рисунок 4.12. Графики величин удельных трудозатрат на монтаж армопалубочных блоков в зависимости от объема единичного блока для конструкций 16-19.

Рассмотрим учет возможного разукрупнения монтажного блока. Количество фрагментов, на которые разделяется армоблок перед укрупнительной сборкой определяется логистическими ограничениями: габаритными размерами и массой фрагментов. Логистические ограничения определяются видом транспорта, его характеристиками и транспортными ограничениями. Вычислим удельные массы армоблоков и предельные объемы фрагментов армоблоков для различных конструкций реакторного здания, перевозимых железнодорожным и автомобильным транспортом. Результаты по железнодорожному транспорту представлены в таблице 4.10, по автомобильному – в таблице 4.11.

Табл. 4.10. Удельные массы армоблоков и предельные объемы фрагментов для различных конструкций реакторного здания, перевозимых железнодорожным транспортом

Наименование конструкции	Удельная масса армоблока, кг/м ³	Предельный объем фрагмента, м ³	
		По массе	По габаритам
Фундаментная плита	76.29	956.84	215.28
Транспортный портал. Конструкции фундамента	71.90	1015.32	100.22
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	454.83	160.50	107.64
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	357.03	204.46	57.41
Контурные стены обстройки	508.29	143.62	39.47
Цилиндрическая часть НЗО	516.84	141.24	35.88
Купол НЗО	403.96	180.71	35.88
Строительные конструкции межбололочного пространства	850.19	85.86	14.35
Внутренние стены обстройки	425.87	171.41	35.88
Перекрытия обстройки	396.84	183.95	35.88
ЗЛА. Шахта реактора	139.01	525.15	186.58
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	292.07	249.94	78.94
ЗЛА. Бассейн выдержки	298.58	244.49	93.29
ЗЛА. Стены	293.25	248.93	71.76
ЗЛА. Опоры парогенераторов	210.31	347.11	118.40
ЗЛА. Перекрытие	348.37	209.55	86.11
Цилиндрическая часть ВЗО	331.51	220.21	86.11
Купол ВЗО	259.35	281.47	86.11
Строительные конструкции СПОТ	498.89	146.33	35.88

Табл. 4.11. Удельные массы армоблоков и предельные объемы фрагментов для различных конструкций реакторного здания, перевозимых автомобильным транспортом

Наименование конструкции	Удельная масса армоблока, кг/м ³	Предельный объем фрагмента, м ³	
		По массе	По габаритам
Фундаментная плита	76.29	262.15	18.00
Транспортный портал. Конструкции фундамента	71.90	278.17	41.10
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	454.83	43.97	43.97
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	357.03	56.02	26.66
Контурные стены обстройки	508.29	39.35	18.33
Цилиндрическая часть НЗО	516.84	38.70	16.66
Купол НЗО	403.96	49.51	16.66
Строительные конструкции межблочного пространства	850.19	23.52	6.66
Внутренние стены обстройки	425.87	46.96	16.66
Перекрытия обстройки	396.84	50.40	16.66
ЗЛА. Шахта реактора	139.01	143.88	15.60
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	292.07	68.48	36.65
ЗЛА. Бассейн выдержки	298.58	66.98	43.32
ЗЛА. Стены	293.25	68.20	33.32
ЗЛА. Опоры парогенераторов	210.31	95.10	54.98
ЗЛА. Перекрытие	348.37	57.41	39.98
Цилиндрическая часть ВЗО	331.51	60.33	39.98
Купол ВЗО	259.35	77.12	39.98
Строительные конструкции СПОТ	498.89	40.09	16.66

Из полученных величин видно, что во всех случаях предельные объемы фрагментов для различных конструкций реакторного здания, перевозимых железнодорожным и автомобильным транспортом, определяются габаритами грузовых площадок данного транспорта. В рассмотренных вариантах указаны общепринятые габариты железнодорожного и автомобильного транспорта. Таким образом, фрагменты приведенных выше предельных объемов могут перевозиться без ограничений по дорогам общего пользования. Для фрагментов больших габаритов нужны специальные негабаритные платформы и спецразрешения на перевозку, что связано с дополнительными затратами. В некоторых местностях проход негабаритного транспорта физически невозможен.

Рассмотрим также возможность разукрупнения с точки зрения монтажных механизмов и схемы механизации. Габариты реакторного составляют 72x78 м в осях. Таким образом, с учетом запаса, максимальный

требуемый вылет башенного крана будет составлять от 42 до 57 м в зависимости от точки размещения крана. Исходя из этого, требуемый грузовой момент монтажного башенного крана будет равняться $(42...57)m_k$. Для гусеничного крана необходимо увеличить дистанцию до здания еще минимум на 10 м. Таким образом, требуемый грузовой момент монтажного башенного крана будет равняться $(52...67)m_k$. Грузовой момент башенных кранов с требуемым вылетом составляет от 40 до 500 тм для самых распространенных моделей, и до 4200 тм для специализированных серий кранов большой грузоподъемности. Для тяжеловесных гусеничных кранов грузовой момент может достигать 22750 тм, что на требуемом максимальном вылете позволяет поднимать армоблоки до 339.5 т. Возможно поднятие армоблоков большей массы при использовании специализированных кранов, либо кранов в спарке. Таким образом, при использовании гусеничных кранов определяющим является стоимость их аренды и эксплуатации.

Технологические же ограничения возможно определить для башенных кранов. 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. Объемы бетона, ограничиваемые монтируемыми с помощью башенных кранов армоблоками, представлены в таблице 4.12.

Табл. 4.12. Объемы бетона, ограничиваемые армоблоками, монтируемыми с помощью башенных кранов

Наименование конструкции	Обычные краны		Тяжеловесные краны
	Нижняя граница, м ³	Верхняя граница, м ³	Верхняя граница, м ³
Фундаментная плита	7.86	125.83	820.53
Транспортный портал. Конструкции фундамента	8.35	133.52	870.67
Транспортный портал. Колонны и конструкции опор портала	1.32	21.11	137.63
Транспортный портал. Конструкции помещений транспортного шлюза	1.68	26.89	175.34
Контурные стены обстройки	1.18	18.89	123.16
Цилиндрическая часть НЗО	1.16	18.57	121.12
Купол НЗО	1.49	23.76	154.97
Строительные конструкции межоболочечного пространства	0.71	11.29	73.63
Внутренние стены обстройки	1.41	22.54	146.99
Перекрытия обстройки	1.51	24.19	157.75
ЗЛА. Шахта реактора	4.32	69.06	450.34
ЗЛА. Шахты ревизии ВКУ и БЗТ	2.05	32.87	214.33
ЗЛА. Бассейн выдержки	2.01	32.15	209.66
ЗЛА. Стены	2.05	32.74	213.47
ЗЛА. Опоры парогенераторов	2.85	45.65	297.66
ЗЛА. Перекрытие	1.72	27.56	179.70
Цилиндрическая часть ВЗО	1.81	28.96	188.83
Купол ВЗО	2.31	37.02	241.37
Строительные конструкции СПОТ	1.20	19.24	125.48

Как говорилось выше, продолжительность возведения является одним из важнейших определяющих факторов при обосновании инвестиций в проект. Приняв согласно п. 7 Общих положений СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» [68] метод экстраполяции, получим расчетную продолжительность основного периода возведения энергоблока с реактором ВВЭР-1200, равную 70 месяцам. Это значение основано на данных для возведения энергоблока с реактором ВВЭР-1000, которое согласно СНиП 1.04.03-85* составляет 60 месяцев. Однако приказом Госкорпорации «Росатом» №1/576-П от 03.06.2020 утвержден типовой график сооружения АЭС «ОП-65» с продолжительностью основного периода возведения энергоблоков атомной электростанции с реакторами ВВЭР-1200 в 65 месяцев. Но как мы показывали во введении, современными целевыми ориентирами

для проекта ВВЭР-ТОИ является продолжительность возведения в 48 месяцев для первого блока и 40 месяцев – для каждого последующего. Так как бетонные работы должны быть завершены за 6 месяцев до сдачи энергоблока, то получим расчетные продолжительности бетонных работ в 64, 59, 42 и 34 месяца соответственно.

На основе графика на рисунке 4.6 по формулам (3.29-3.31) можем определить усредненное количество трудовых ресурсов на строительной площадке, необходимое для производства бетонных работ в различных вариантах возведения железобетонных конструкций. Будем рассматривать различные степени применения крупных армоопалубочных блоков (200 м^2) для возведения железобетонных конструкций с 0 до 80% от общего объема железобетона, с шагом 10%. Необходимо учесть кратное увеличение работников из-за сменности (2 смены в сутки), а также из-за графика работы (выходные или вахтовый метод). Результаты представлены в таблице 4.13. Определим значения трудовых ресурсов для наиболее вероятного диапазона обеспеченности от 50% до 95%. В числителе указано значение, соответствующее минимальной обеспеченности в 50%, в знаменателе – максимальной в 95%. Расчетное значение находится путем интерполяции для требуемой обеспеченности.

Табл. 4.13. Усредненное количество трудовых ресурсов, необходимое для производства бетонных работ в различных вариантах возведения железобетонных конструкций на строительной площадке

Степень применения армопалубочных блоков 200 м ² , %	Общая продолжительность возведения энергоблока, мес											
	70			65			48			40		
	Продолжительность производства бетонных работ, мес											
	64			59			42			34		
	Среднее по основному циклу возведения количество рабочих в штате, задействованных в бетонных работах, чел											
Традиц.	Монтаж.	Всего	Традиц.	Монтаж.	Всего	Традиц.	Монтаж.	Всего	Традиц.	Монтаж.	Всего	
0	<u>822</u> 822	<u>0</u> 0	<u>822</u> 822	<u>892</u> 892	<u>0</u> 0	<u>892</u> 892	<u>1250</u> 1250	<u>0</u> 0	<u>1250</u> 1250	<u>1546</u> 1546	<u>0</u> 0	<u>1546</u> 1546
10	<u>736</u> 804	<u>28</u> 36	<u>764</u> 840	<u>796</u> 872	<u>28</u> 40	<u>824</u> 912	<u>1120</u> 1224	<u>40</u> 56	<u>1160</u> 1280	<u>1384</u> 1512	<u>52</u> 68	<u>1436</u> 1580
20	<u>652</u> 768	<u>56</u> 72	<u>708</u> 840	<u>708</u> 836	<u>60</u> 80	<u>768</u> 916	<u>992</u> 1172	<u>80</u> 108	<u>1072</u> 1280	<u>1228</u> 1448	<u>100</u> 136	<u>1328</u> 1584
30	<u>568</u> 720	<u>80</u> 104	<u>648</u> 824	<u>616</u> 780	<u>88</u> 112	<u>704</u> 892	<u>868</u> 1096	<u>124</u> 160	<u>992</u> 1256	<u>1072</u> 1356	<u>152</u> 196	<u>1224</u> 1552
40	<u>488</u> 660	<u>108</u> 136	<u>596</u> 796	<u>528</u> 716	<u>116</u> 148	<u>644</u> 864	<u>740</u> 1004	<u>164</u> 204	<u>904</u> 1208	<u>916</u> 1236	<u>200</u> 252	<u>1116</u> 1488
50	<u>404</u> 584	<u>132</u> 164	<u>536</u> 748	<u>440</u> 632	<u>144</u> 176	<u>584</u> 808	<u>616</u> 888	<u>204</u> 248	<u>820</u> 1136	<u>760</u> 1096	<u>252</u> 304	<u>1012</u> 1400
60	<u>320</u> 492	<u>160</u> 188	<u>480</u> 680	<u>348</u> 536	<u>172</u> 204	<u>520</u> 740	<u>488</u> 752	<u>244</u> 284	<u>732</u> 1036	<u>604</u> 928	<u>300</u> 352	<u>904</u> 1280
70	<u>240</u> 388	<u>188</u> 212	<u>428</u> 600	<u>260</u> 424	<u>204</u> 228	<u>464</u> 652	<u>364</u> 592	<u>284</u> 320	<u>648</u> 912	<u>448</u> 732	<u>348</u> 396	<u>796</u> 1128
80	<u>156</u> 272	<u>212</u> 232	<u>368</u> 504	<u>168</u> 296	<u>232</u> 252	<u>400</u> 548	<u>236</u> 412	<u>324</u> 352	<u>560</u> 764	<u>292</u> 512	<u>400</u> 436	<u>692</u> 948

Примечание:
Традиц. - количество рабочих в штате, задействованных в возведении железобетонных конструкций традиционным способом;
Монтаж. - количество рабочих в штате, задействованных в монтаже армопалубочных блоков;
Всего – сумма числа рабочих в штате, задействованных в возведении железобетонных конструкций традиционным способом и числа рабочих в штате, задействованных в монтаже армопалубочных блоков, задействованных совместно при выбранной степени применения армоблоков.

На основе полученных данных построим график (рисунок 4.13).

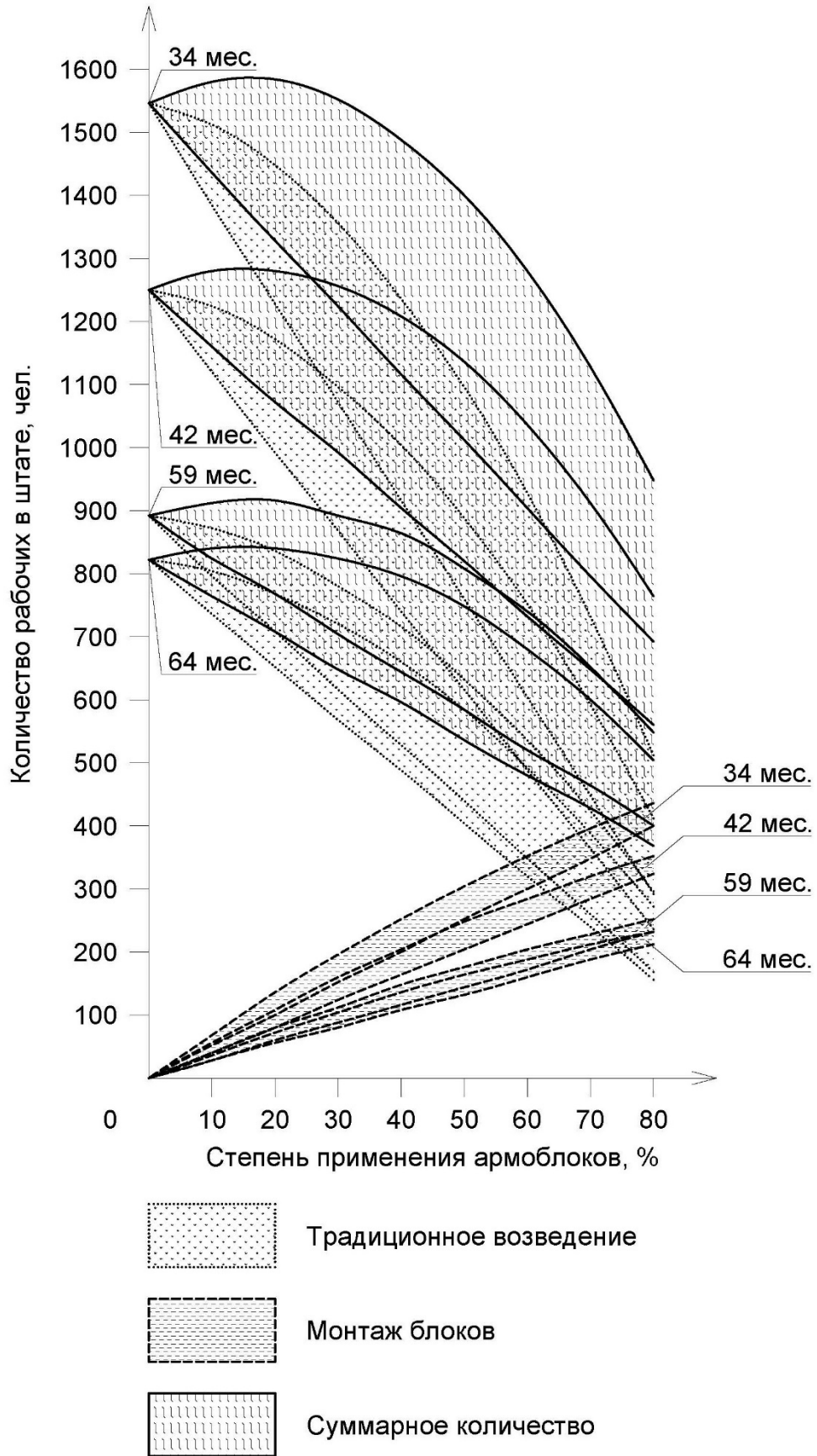


Рисунок 4.13. Графики штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для производства бетонных работ в различных вариантах возведения железобетонных конструкций на строительной площадке в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ.

В трехмерной постановке приведенный на рисунке 4.13 график выглядит следующим образом (рисунок 4.14). Красным цветом показано количество рабочих при традиционном возведении железобетонных конструкций, желтым – количество рабочих, требуемых на строительной площадке для монтажа армоблоков, зеленым – сумма красного и желтого графиков.

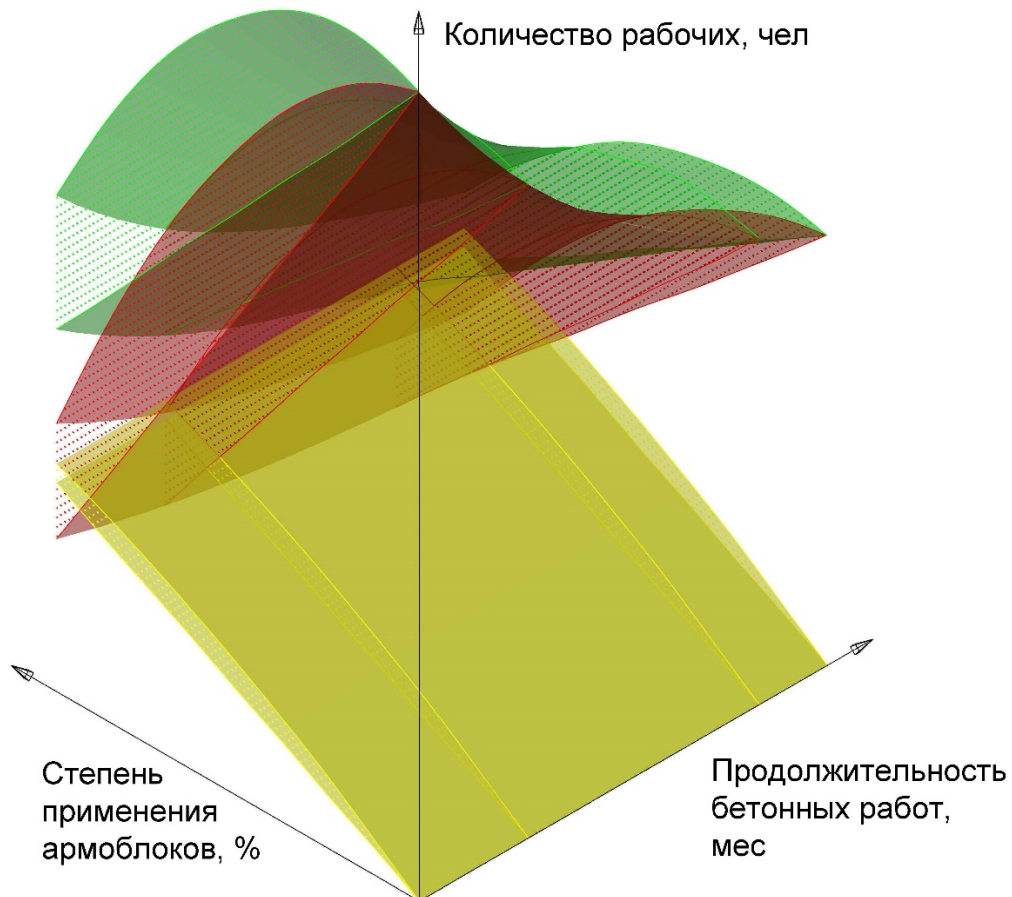


Рисунок 4.14. Графики штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для производства бетонных работ в различных вариантах возведения железобетонных конструкций на строительной площадке в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ в трехмерной постановке.

Из представленных на рисунках 4.13 и 4.14 графиков мы можем сделать следующие выводы:

1. На участке применения армоблоков в числе 15-20% от общего количества железобетонных конструкций реакторного здания виден экстремум суммарного количества требуемых рабочих. Таким образом при возведении железобетонных конструкций на 15-20% с помощью

крупноблочного метода и на 80-85% традиционным методом, может потребоваться больше рабочих, чем при использовании исключительно традиционного метода. Однако превышение составляет не более 3% при обеспеченности 95%. Следовательно, организационная структура блока подрядчика не требует значительного перестроения.

2. Для предполагаемой продолжительности возведения энергоблоков проекта ВВЭР-ТОИ для соблюдения заданных темпов при использовании армопалубочных блоков в количестве 20% от общего числа железобетонных конструкций для первого энергоблока требуется такое же количество рабочей силы, которое требуется для второго и последующих блоков при использовании 60% армоблоков. С точки зрения унификации применять различную степень использования крупноблочных конструкций нерационально. Таким образом, при возведении первого блока электростанции проекта ВВЭР-ТОИ имеет смысл снижение количества рабочих в соответствии с графиками до числа, эквивалентного принятой степени использования армоблоков. Из этого следует изменение организационной структуры подрядной организации при начале возведения второго энергоблока (как правило, через 1 год после начала возведения первого энергоблока).

3. При снижении продолжительности возведения железобетонных конструкций реакторного здания при сходном традиционному строительству количестве рабочих, задействованных в работах по возведению железобетонных конструкций, необходимо добиваться применения армопалубочных блоков в количестве 70-80% от общего количества железобетонных конструкций. Однако при использовании армопалубочных блоков практически половина из общего числа рабочих – работники, задействованные в монтаже армоблоков. Таким образом, при практически неизменном общем количестве рабочих в штате, их квалификация различна, что также может потребовать создания других структурных единиц.

4. 80% степень использования армоблоков снижает число рабочих на стройплощадке в 1.6-2.2 раза по сравнению при строительстве с помощью традиционных технологий.

Аналогично можем получить усредненное количество трудовых ресурсов на индустриальных производствах (на заводах или цехах на территории строительной-монтажной базы). Результаты представлены в таблице 4.14. В числителе указано значение, соответствующее минимальной обеспеченности в 50%, в знаменателе – максимальной в 95%. Расчетное значение находится путем интерполяции для требуемой обеспеченности.

Табл. 4.14. Усредненное количество трудовых ресурсов, необходимое для производства армоблоков железобетонных конструкций на индустриальных производствах

Степень применения армоопалубочных блоков 200 м ² , %	Общая продолжительность возведения энергоблока, мес			
	70	65	48	40
	Продолжительность производства бетонных работ, мес			
	64	59	42	34
Среднее по основному циклу возведения количество рабочих в штате, задействованных на индустриальных производствах, чел				
0	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
10	$\frac{52}{92}$	$\frac{56}{96}$	$\frac{80}{136}$	$\frac{96}{168}$
20	$\frac{116}{180}$	$\frac{124}{196}$	$\frac{176}{276}$	$\frac{216}{340}$
30	$\frac{180}{264}$	$\frac{192}{288}$	$\frac{272}{404}$	$\frac{332}{496}$
40	$\frac{240}{340}$	$\frac{260}{368}$	$\frac{364}{516}$	$\frac{452}{640}$
50	$\frac{304}{408}$	$\frac{328}{440}$	$\frac{460}{620}$	$\frac{568}{764}$
60	$\frac{368}{464}$	$\frac{396}{504}$	$\frac{556}{708}$	$\frac{688}{876}$
70	$\frac{428}{516}$	$\frac{464}{560}$	$\frac{652}{784}$	$\frac{804}{972}$
80	$\frac{492}{560}$	$\frac{532}{604}$	$\frac{748}{852}$	$\frac{924}{1048}$

Стоит обратить внимание, что в таблицах 4.13 и 4.14 указано только число рабочих, непосредственно занятых в основном технологическом процессе. Вспомогательные рабочие, а также инженерно-технические работники в данных таблицах не учтены. Их количество определяется пропорционально указанным в таблицах 4.13 и 4.14 значениям.

На основе полученных данных построим график (рисунок 4.15). Показанное на данном графике число рабочих требуется только для производства армоблоков и не включает в себя рабочих, требуемых для производства прочих промышленных конструкций.

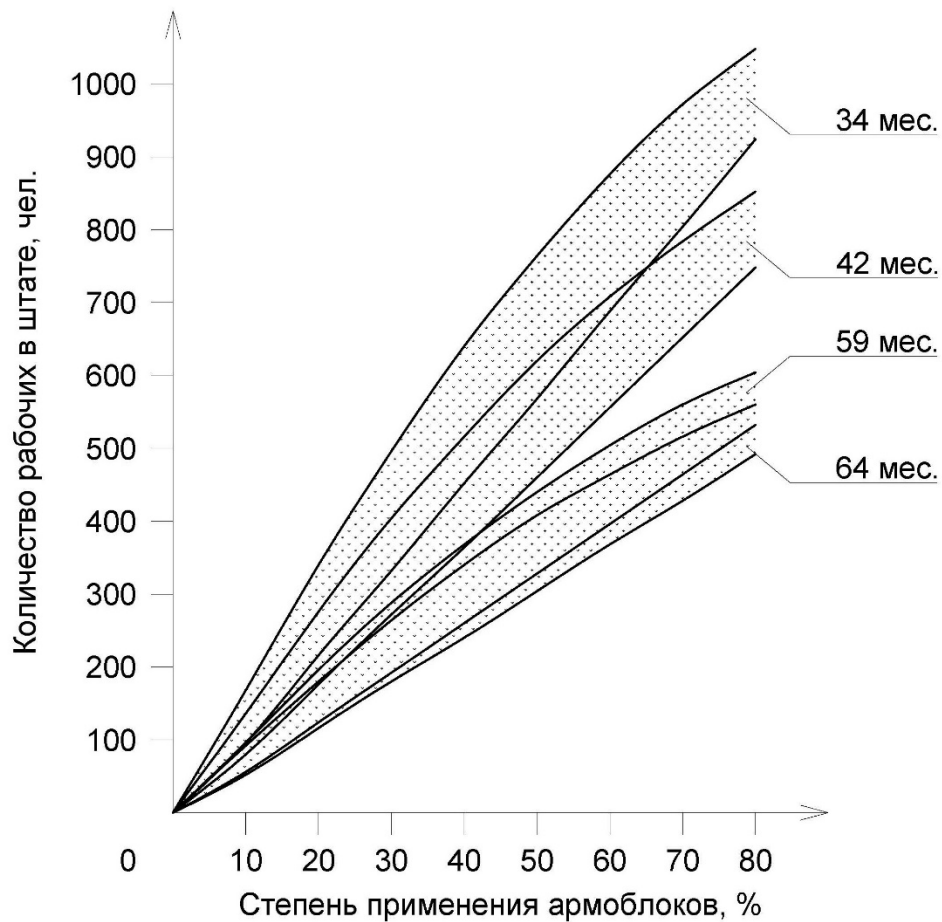


Рисунок 4.15. Графики штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для промышленного производства армоблоков в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ.

В трехмерной постановке приведенный на рисунке 4.15 график выглядит следующим образом (рисунок 4.16).

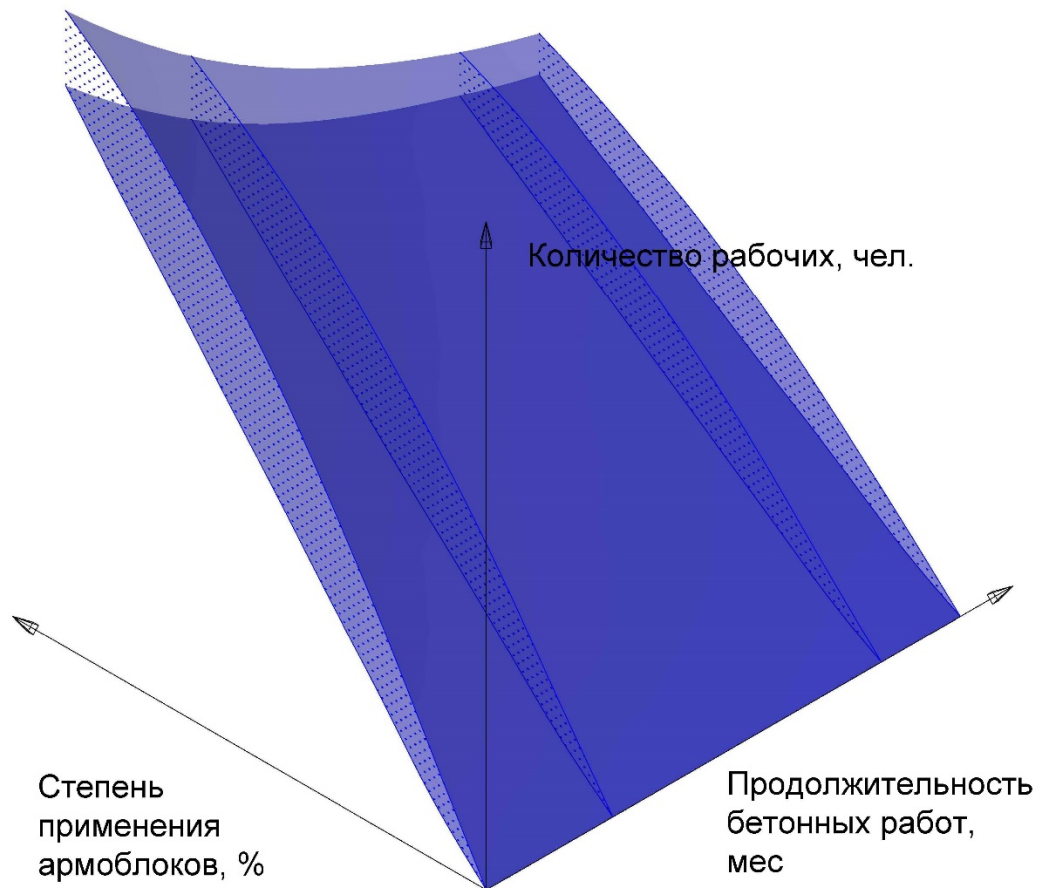


Рисунок 4.16. График штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для индустриального производства армоблоков в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ в трехмерной постановке.

Необходимо упомянуть, что на указанные на графиках на рисунках 4.15 и 4.16 величины требуемых рабочих могут быть представлены как рабочими в структуре блока подрядчика при возведении цехов по производству армоблоков на строительной-монтажной базе, так и рабочими в структуре индустриального блока при использовании удаленных заводских производств. Так же частично данные рабочие могут входить и в блок подрядчика, и в индустриальный блок. Например, при сочетании 13 на рисунке 2.12.

В графиках на рисунках 4.13-4.16 указывается среднее число рабочих на протяжении всего цикла возведения железобетонных конструкций. Однако в реальности график движения рабочей силы изменяется по мере производства работ. Как правило, он имеет меньшее значение в начале и конце производства работ и максимум в середине цикла. Если представить график движения

рабочей силы ограниченной функцией $f(t)$, то будет справедливо следующее уравнение (4.1):

$$\overline{n_{emp}} \cdot T = \int_0^T f(t) dt \quad (4.1), \text{ где}$$

T – общая продолжительность производства бетонных работ, сут(мес);

$\overline{n_{emp}}$ – усредненное штатное количество трудовых ресурсов, чел;

t – временной параметр, сут(мес);

На основе полученных величин о численности рабочих, необходимых для традиционного возведения железобетонных конструкций, монтажа армоблоков и производства армоблоков, приведем примеры изменения организационной структуры подрядчика.

При возведении комплекса АЭС часто используется схема, когда генподрядчик не возводит зданий и сооружений собственными силами, а исполняет управляющую функцию. Однако при большой степени использования армоблоков может потребоваться создание отдельного отдела строительного контроля, в ведении которого будет находиться контроль за производством армоопалубочных блоков. Причем, при заводском изготовлении индустриальных блоков данный отдел должен либо проводить контроль непосредственно на заводе-производителе, либо завод-производитель должен иметь определенные мощности непосредственно на площадке строительства для устранения несоответствий, выявленным строительным контролем.

Основные изменения организационной структуры коснутся субподрядной организации, занимающейся непосредственным возведением реакторного здания. При недостатке квалификации в вопросе монтажа армоблоков субподрядчик может привлечь себе на субподряд специализированную компанию. Такая схема, а не привлечение специализированной компании непосредственно генподрядчиком, необходимо для взаимоувязки работ по возведению железобетонных конструкций, поскольку эти работы могут проводиться параллельно.

При наличии экспертности и достаточного количества квалифицированного персонала субподрядная организация, занятая возведением реакторного здания, может производить монтаж армоблоков собственными силами. При малой степени использования индустриальных конструкций (менее 30%) требуется создать специализированные бригады в составе монтажного участка. При большой степени использования индустриальных конструкций (более 60%) имеет смысл выделить силы, задействованные в монтаже армоблоков, в отдельный монтажный участок, поскольку требуемая численность рабочих сопоставима с численностью рабочих, задействованных при традиционном возведении, однако работы по монтажу армоблоков имеют свою отличную специфику.

При производстве армоблоков блоком подрядчика собственными силами, организационная структура блока подрядчика также претерпит трансформацию. Возможны варианты, когда генподрядчик нанимает отдельную организацию, которая занимается производством армоблоков в условиях строительной-монтажной базы. Также производством армоблоков в цехах может заниматься и тот же субподрядчик, который возводит реакторное здание. Для этих целей требуется создать дополнительные один или несколько элементов, которые представляют собой цеха по производству индустриальных конструкций. Количество цехов зависит от потребности строительной площадки в армоблоках в единицу времени. На основе этой потребности по формуле (3.37) определяются требуемые ресурсы. На основе статистических данных с площадки строительства получим, что на 1 чел-ч трудоемкости производства армоблоков в сутки требуется $2,8 \text{ м}^2/(\text{чел-ч}\cdot\text{сут})$ цеховых помещений и $2,1 \text{ м}^2/(\text{чел-ч}\cdot\text{сут})$ открытых площадок. Расчет требуемого числа производственных ресурсов представлен в таблице 4.15. В числителе указано значение, соответствующее минимальной обеспеченности в 50%, в знаменателе – максимальной в 95%. Расчетное значение находится путем интерполяции для требуемой обеспеченности.

Табл. 4.15. Требуемые площади промышленных производств для производства армоблоков

Степень применения армоблоков 200 м ² , %	Общая продолжительность возведения энергоблока, мес							
	70		65		48		40	
	Продолжительность производства бетонных работ, мес							
	64		59		42		34	
	Требуемые площади промышленных производств, м ²							
	Цеха	Площ.	Цеха	Площ.	Цеха	Площ.	Цеха	Площ.
0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
10	<u>710</u> 1233	<u>533</u> 924	<u>770</u> 1337	<u>578</u> 1003	<u>1082</u> 1878	<u>812</u> 1409	<u>1337</u> 2320	<u>1003</u> 1740
20	<u>1588</u> 2514	<u>1191</u> 1886	<u>1722</u> 2727	<u>1292</u> 2045	<u>2419</u> 3831	<u>1814</u> 2873	<u>2989</u> 4732	<u>2241</u> 3549
30	<u>2465</u> 3681	<u>1849</u> 2761	<u>2674</u> 3993	<u>2005</u> 2995	<u>3756</u> 5609	<u>2817</u> 4207	<u>4640</u> 6929	<u>3480</u> 5197
40	<u>3343</u> 4733	<u>2507</u> 3550	<u>3626</u> 5134	<u>2719</u> 3850	<u>5093</u> 7212	<u>3820</u> 5409	<u>6292</u> 8909	<u>4719</u> 6682
50	<u>4220</u> 5670	<u>3165</u> 4253	<u>4578</u> 6151	<u>3433</u> 4613	<u>6430</u> 8640	<u>4823</u> 6480	<u>7943</u> 10673	<u>5958</u> 8005
60	<u>5097</u> 6493	<u>3823</u> 4870	<u>5529</u> 7043	<u>4147</u> 5282	<u>7767</u> 9894	<u>5826</u> 7420	<u>9595</u> 12222	<u>7196</u> 9166
70	<u>5975</u> 7200	<u>4481</u> 5400	<u>6481</u> 7811	<u>4861</u> 5858	<u>9104</u> 10972	<u>6828</u> 8229	<u>11247</u> 13554	<u>8435</u> 10165
80	<u>6852</u> 7794	<u>5139</u> 5845	<u>7433</u> 8454	<u>5575</u> 6341	<u>10441</u> 11876	<u>7831</u> 8907	<u>12898</u> 14670	<u>9674</u> 11003

Размеры цеха на площадке строительства, на которой собирались данные, составляют 72x39 м (2808 м²). Площадь открытых площадок 2100 м². На основе данных величин вычислим требуемое количество создаваемых на строительном-монтажной базе цехов. Результаты представлены в таблице 4.16 в диапазоне обеспеченностей 50%-95%.

Табл. 4.16. Требуемое количество цехов для производства армоблоков

Степень примен. армоблок. 200 м ² , %	Общая продолжительность возведения энергоблока, мес							
	70		65		48		40	
	Продолжительность производства бетонных работ, мес							
	64		59		42		34	
	Требуемое количество цехов, шт							
0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1	1	1	1	1	1	1	
20	1	1	1	1-2	2	2	2	
30	1-2	1-2	1-2	2	2	2-3	2-3	
40	2	2	2	2-3	2-3	3-4	3-4	
50	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4-5	4-5	
60	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4	4-5	4-5	
70	3	3	3	4	4	5	5	
80	3	3	3-4	4-5	4-5	5-6	5-6	

Для транспортировки армоблоков из цехов на строительномонтажной базе до места их установки требуется специализированные транспортные платформы, анализ которых был проеден 1 главе. При значительном увеличении такого рода транспортных средств имеет смысл разделить участок грузоподъемных машин, механизмов, автомобильного транспорта и малой механизации на участок грузоподъемных машин, механизмов, автомобильного транспорта и малой механизации и участок автомобильного и специального транспорта.

Как видно из таблиц 4.14-4.16, при малой степени использования армоблоков (до 30%) количество требуемых ресурсов позволяет провести преобразования организационных структур на оперативном уровне, проведя изменения в составе элементов. При высокой степени использования армоблоков (свыше 60%) требуется преобразование на стратегическом уровне, так как требуемые ресурсы кратно превышают изначально имеющиеся у исходной организационной структуры.

Наибольшая трансформация при использовании технологии крупноблочного возведения затрагивает блок подрядчика, поскольку изменение технологии напрямую влияет на перераспределение трудозатрат внутри блока подрядчика, либо на передачу трудозатрат в индустриальный блок.

Найдем требуемую степень применения армоблоков согласно графику на рисунке 4.12 из условия непревышения общей численности персонала на строительной площадке. В существующей структуре возведение железобетонных конструкций реакторного здания на одном энергоблоке обеспечивается силами одного монтажного участка. Штатная численность рабочих в монтажном участке, задействованных в возведении железобетонных конструкций, составляет в среднем 850-900 человек. Зададимся обеспеченностью 75%. Используя график, получим, что для достижения показателей, декларируемых для проекта ВВЭР-ТОИ, при сохранении общей численности рабочих не более 900 человек требуется

применение армоблоков в 58% и 75% железобетонных конструкций для 48 и 40 месяцев общей продолжительности работ по основному циклу соответственно. Отсюда найдем требуемую численность рабочих для работ по традиционной технологии и для монтажа армоблоков. Получим:

Для общей продолжительности 48 месяцев (42 месяца бетонных работ):

- Традиционное возведение – 642 чел.
- Крупноблочное возведение – 258 чел.

Для общей продолжительности 40 месяцев (34 месяца бетонных работ):

- Традиционное возведение – 508 чел.
- Крупноблочное возведение – 392 чел.

Нахождение требуемой численности представлено на рисунке 4.17.

Поскольку функционально работы по традиционному и крупноблочному возведению различаются, для обеспечения управляемости структуры необходимо разделение существующего монтажного участка на два по функциональному признаку: монтажный участок традиционных бетонных работ и монтажный участок индустриальных конструкций.

Для определенных степеней укрупнения армоблоков найдем по графику на рисунке 4.13 численность рабочих, задействованных на индустриальных производствах армоблоков. Получим:

- Для общей продолжительности 48 месяцев (42 месяца бетонных работ) – 618 чел.
- Для общей продолжительности 40 месяцев (34 месяца бетонных работ) – 932 чел.

Нахождение приведено на рисунке 4.18.

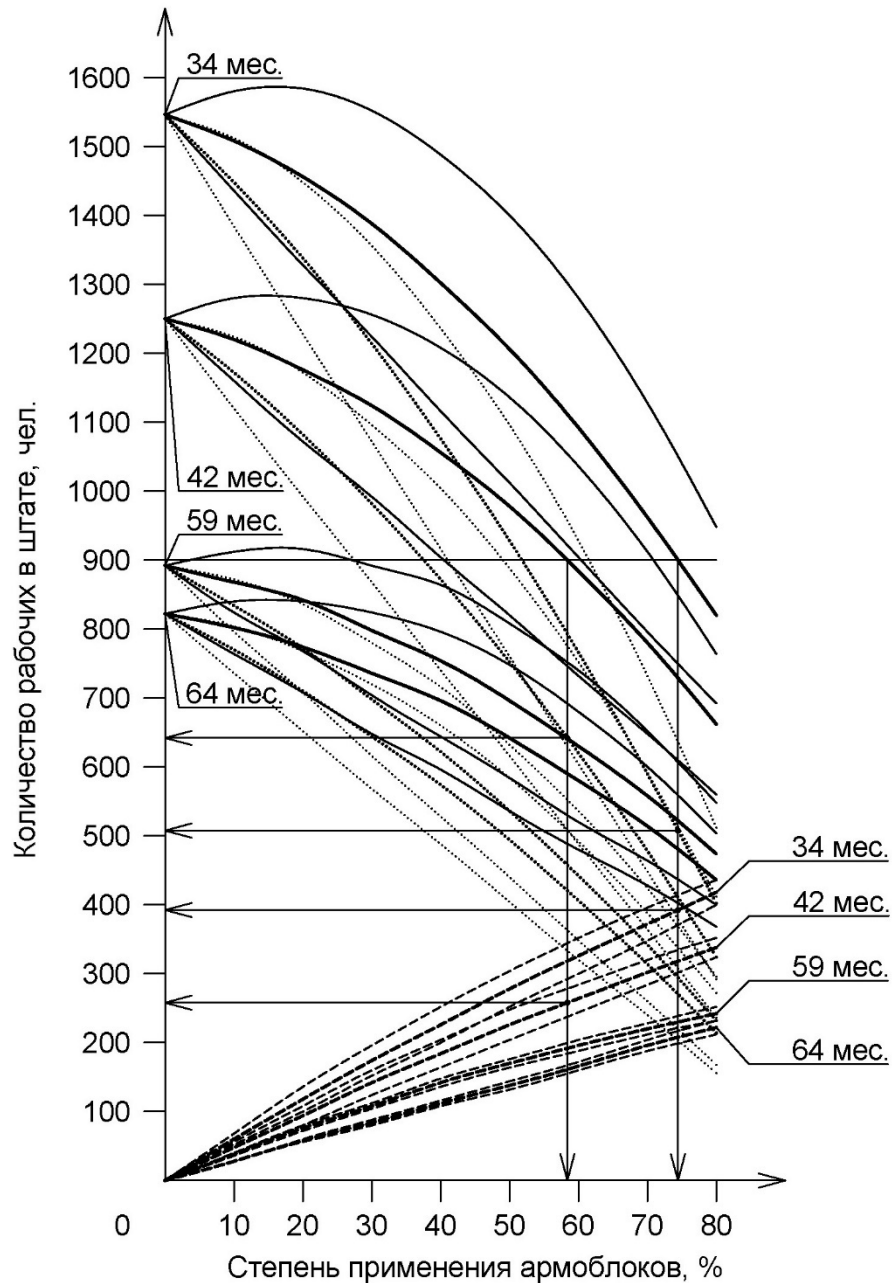


Рисунок 4.17. Нахождение требуемой численности рабочих по графику штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для производства бетонных работ в различных вариантах возведения железобетонных конструкций на строительной площадке в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ.

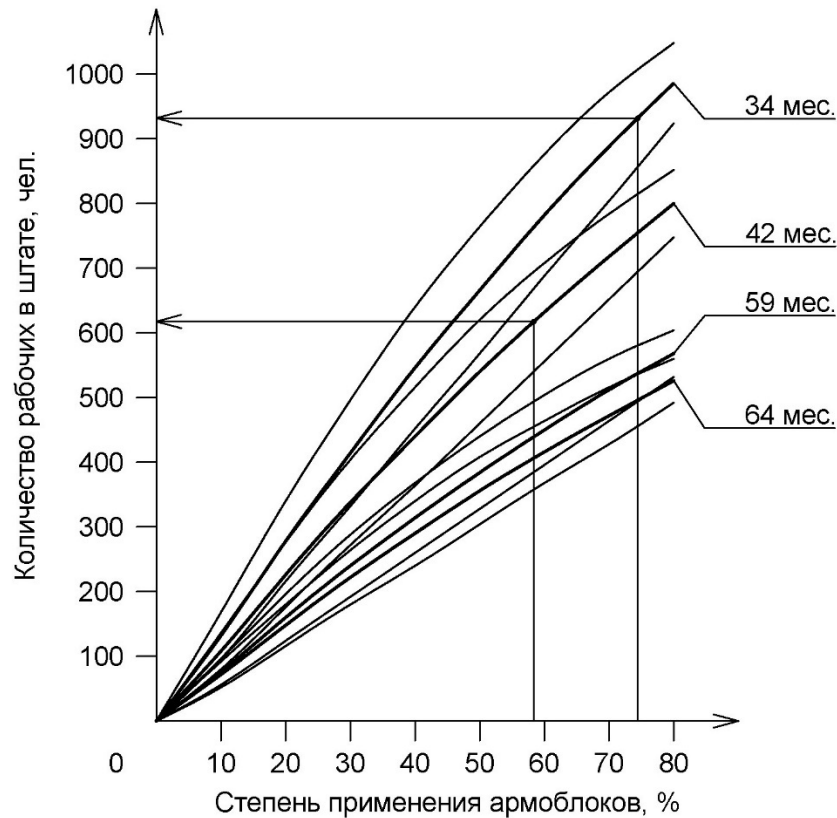


Рисунок 4.18. Нахождение требуемой численности рабочих по графику штатного количества трудовых ресурсов, необходимых для индустриального производства армоблоков в зависимости от степени применения армоблоков и продолжительности бетонных работ.

По таблицам 4.15 и 4.16 найдем, что для достижения общей продолжительности строительства энергоблока в 48 месяцев (42 месяца бетонных работ) требуется создание или привлечение 8831 м² цехов (соотносимо с размером 3 цехов, расположенных на площадке АЭС «Руппур») и 6623 м² открытых площадок. Для общей продолжительности в 40 месяцев (34 месяца бетонных работ) – 13092 м² цехов (соотносимо с размером 5 цехов) и 9819 м² открытых площадок. Данные производственные площадки при их нахождении на строительном-монтажной базе определяют необходимость в оргструктуре субподрядной проектной организации создания отдельной производственной базы.

На основе приведенных выше выводов построим трансформированные вариации организационной структуры блока подрядчика (рисунки 4.19 и 4.20). В указанных структурах измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.

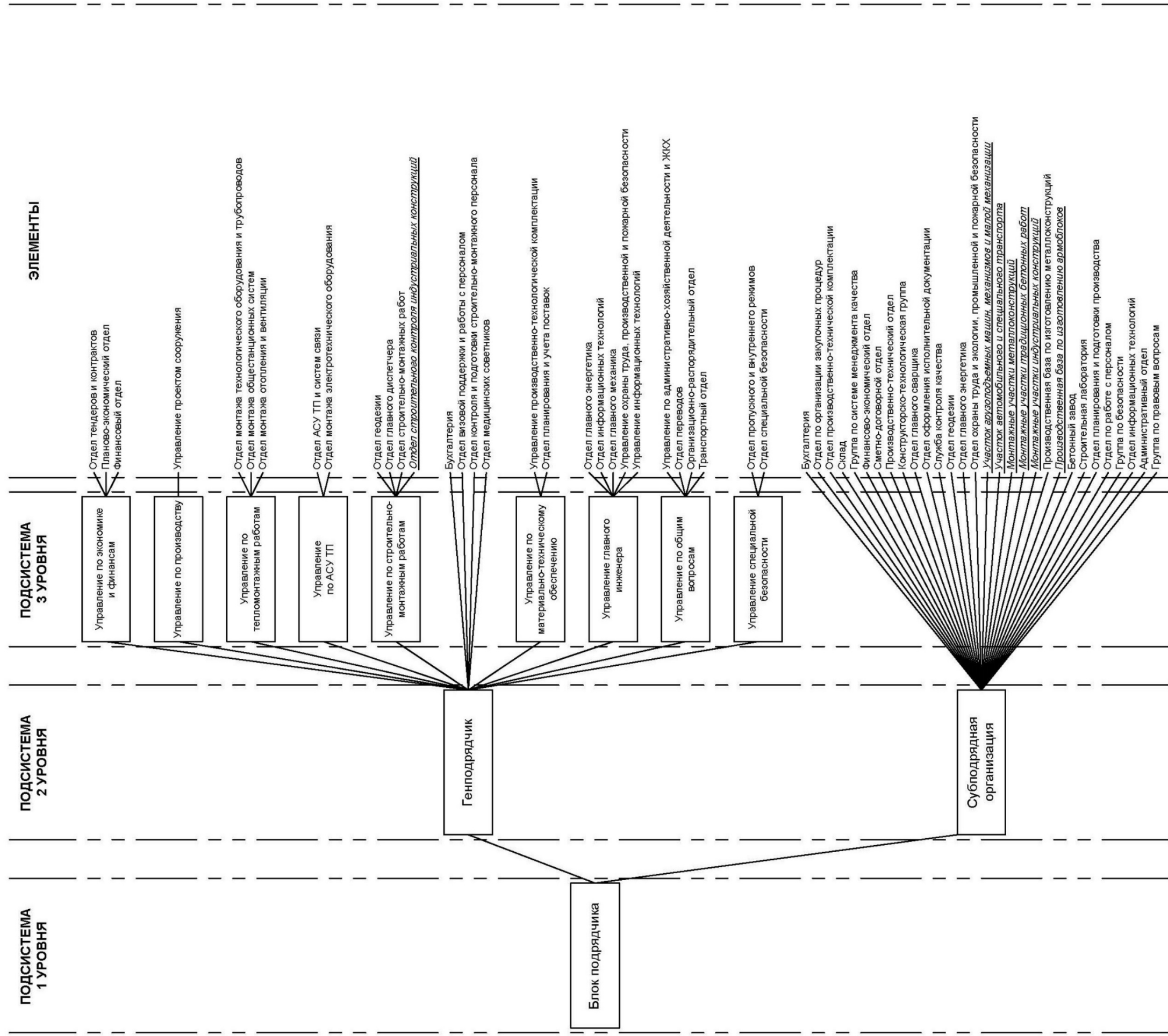


Рисунок 4.19. Организационная структура блока подрядчика при производстве и монтаже армоблоков собственными силами субподрядной организации

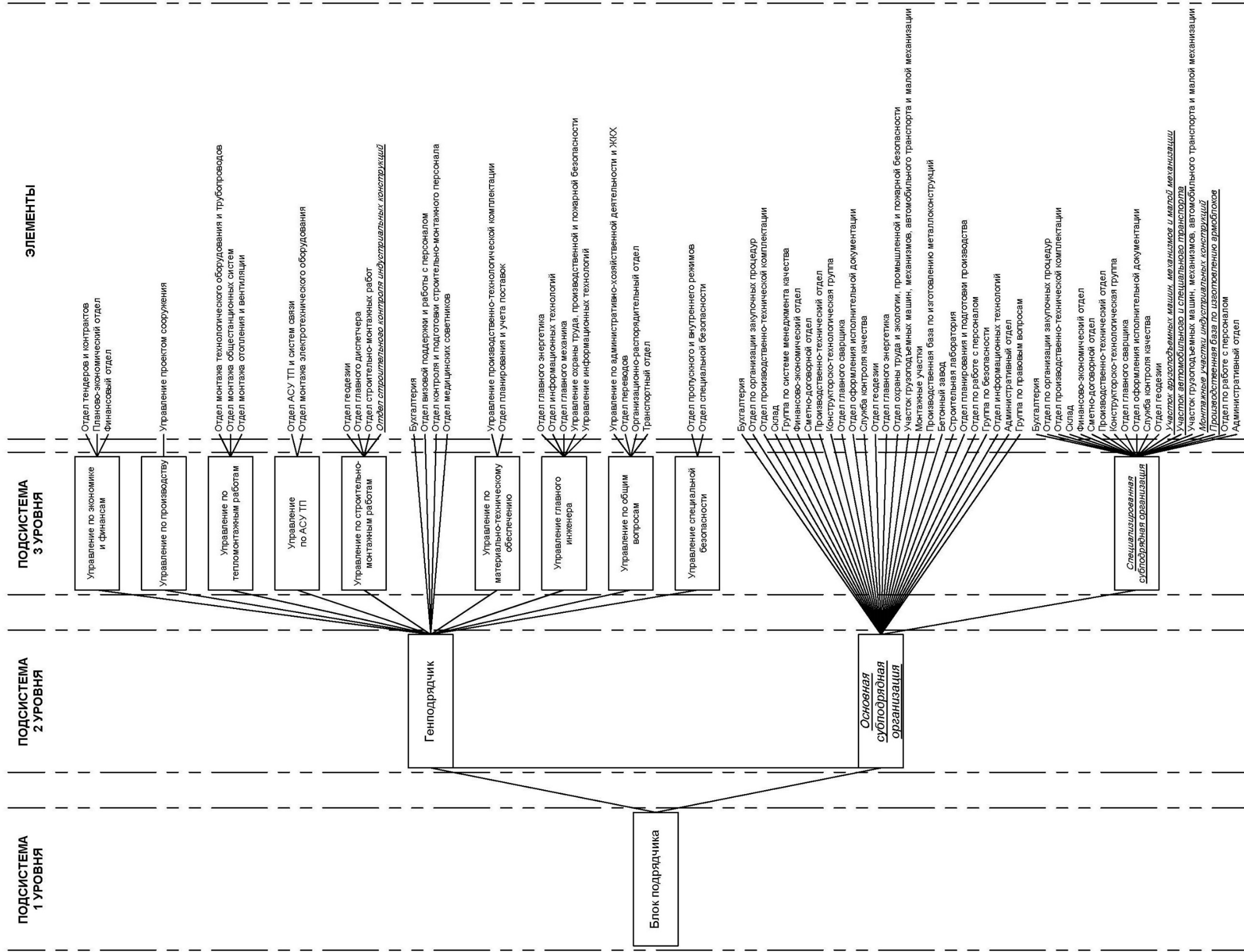


Рисунок. 4.20. Организационная структура блока подрядчика при привлечении специализированной субподрядной организации.

Блок заказчика и проектный блок трансформации организационных структур затрагивают в меньшей степени, так как на данные блоки приходится меньшая доля трудозатрат. Однако они также имеют место быть.

Для определения трудозатрат на производство проектной продукции были измерены объемы типовых комплектов рабочей документации в листах для различных типов железобетонных конструкций. Сравнительный анализ объемов проектной продукции для различных технологий возведения приведен в таблице 4.17.

Табл. 4.17. Сравнительный анализ объемов проектной продукции для различных технологий возведения железобетонных конструкций

Наименование конструкции	Количество листов в типовом комплекте армирования рабочей документации, шт		Соотношение листов (крупноблочная к традиционной технологии)
	Традиционная технология	Крупноблочная технология	
Фундаментная плита	13	338	26.0
Транспортный портал. Конструкции фундамента	5	9	1.8
Контурные стены обстройки	12	171	14.3
Цилиндрическая часть НЗО	24	214	8.9
Внутренние стены обстройки	16	223	13.9
Перекрытия обстройки	32	161	5.0
ЗЛА. Шахта реактора	12	27	2.3

Найдем среднее соотношение в типовом комплекте рабочей документации при сопоставлении крупноблочной и традиционной технологий строительства. Для этого учтем распространенность указанных в таблице 4.17 конструкций путем их пропорционального соотношения к объемам бетона, занимаемых данными конструкциями. Используя объемы бетона, приведенные в таблице 4.6, по формуле (3.38) получим, что усредненное соотношение листов рабочей документации типовых комплектов рабочей документации для различных технологий возведения железобетонных конструкций составляет 14 раз. Такое большое соотношение возникает вследствие большой номенклатуры армоблоков из-за их низкой унификации. Как правило, каждый армоблок является уникальным, в первую очередь из-за расположения закладных изделий и проходок.

Еще одним из факторов организационной структуры проектного блока являются требования, накладываемые применением технологии крупноблочного строительства. Так как армоопалубочные конструкции требуют достаточно высокой степени точности изготовления, они также требуют высокой степени проработки рабочей документации с целью исключения возможных коллизий строительных конструкций между собой, а также между строительными конструкциями и элементами инженерных сетей. Такая степень проработки без экспоненциального роста трудозатрат возможна лишь при использовании BIM-технологий проектирования. Применение BIM-технологий изменяет концепцию выпуска рабочей документации, поскольку зачастую требует работы в общей модели. Это в свою очередь требует усиленной координации взаимодействия между проектировщиками, что возможно при создании должностей BIM-координаторов. Трансформированная вариация организационной структуры проектного блока представлена на рисунке 4.21. В указанной структуре измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.

Также еще одним путем справиться с возросшими трудозатратами является привлечение специальной субподрядной проектной организации, имеющей достаточно компетенций для проектирования армоопалубочных конструкций. Трансформированная таким образом организационная структура проектного блока представлена на рисунке 4.22. В указанной структуре измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.



Рисунок 4.21. Организационная структура блока производственного проектирования при разработке армопалубочных конструкций своими силами.

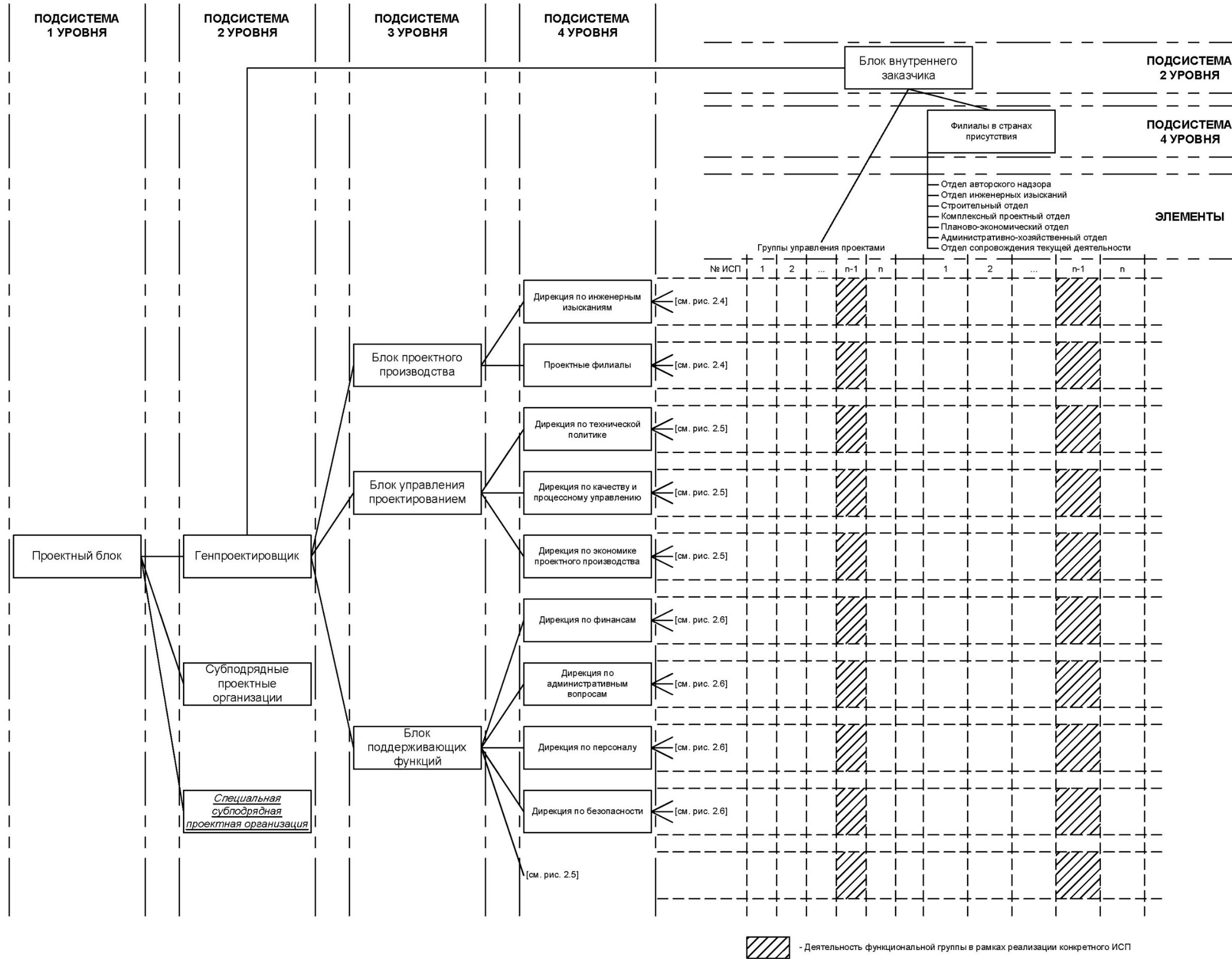


Рисунок 4.22. Организационная структура проектного блока при привлечении специализированной субподрядной проектной организации.

В блоке заказчика основная трансформация основана на специализированных требованиях входного контроля поставляемых армоопалубочных блоков и контроля производства строительного-монтажных работ. Таким образом, может потребоваться специализированный отдел входного контроля армоопалубочных конструкций, а также специализированный отдел строительного контроля. В части входного контроля рабочей документации из-за увеличения количества рабочей документации при использовании армоопалубочных конструкций требуется увеличить численность персонала, задействованного во входном контроле рабочей документации. При значительном увеличении объема рабочей документации это может потребовать выделения из отдела качества и входного контроля выделения обособленного отдела входного контроля проектной и рабочей документации. Трансформированная с учетом вышеобозначенного вариация организационной структуры проектного блока представлена на рисунке 4.23. В указанной структуре измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.



Рисунок. 4.23. Организационная структура блока заказчика при крупноблочном строительстве.

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.

При изготовлении армоопалубочных конструкций за пределами строительного-монтажной базы возрастают трудозатраты логистического блока, поскольку хоть объемы перевозок строительных материалов остаются сопоставимыми с теми, которые были при традиционном строительстве, появляется также дополнительный объем перевозок, связанный с транспортировкой армоопалубочных конструкций от производящих их заводов до строительной площадки. Частично эта проблема может быть решена увеличением обычных грузоперевозочных средств. Однако для армоблоков больших конфигураций могут понадобиться специальные транспортные средства. Такие средства в организационной структуре транспортного предприятия логично выделить в отдельный элемент специализированной автоколонны. Трансформированная вариация организационной структуры представлена на рисунке 4.24. В указанной структуре измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.



Рисунок. 4.24. Организационная структура логистического блока при перевозке армоблоков собственными силами.

Также возможно создание или привлечение специализированного транспортного предприятия, целью которого будет исключительно перевозка

армоопалубочных блоков от завода-изготовителя до строительной площадки. Тогда организационная структура внутри изначальных транспортных предприятий не претерпит изменений. Такой подход представлен на рисунке 4.25. В указанной структуре измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.

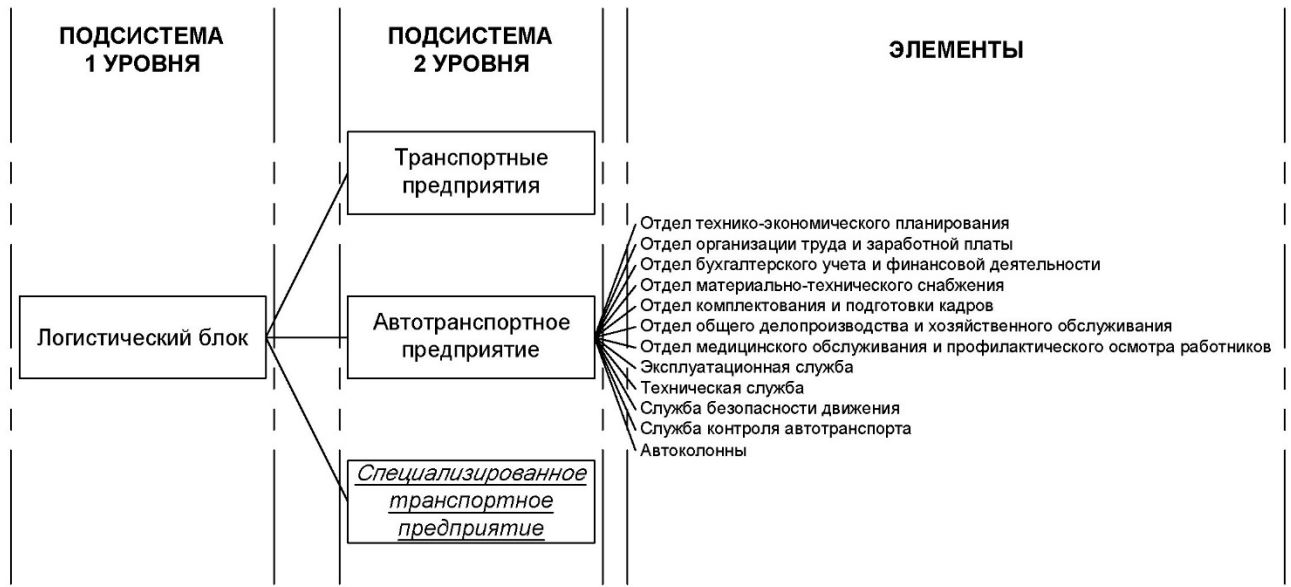


Рисунок. 4.25. Организационная структура логистического блока при привлечении специализированного транспортного предприятия.

При изготовлении армоблоков силами индустриального блока необходимо устраивать на предприятии-изготовителе отдельный производственный цех армоблоков. Также возможно привлечь для производства армоблоков отдельный по сравнению с организационной структурой при традиционной технологии возведения завод металлоконструкций. Трансформированные варианты организационной структуры представлены на рисунках 4.26, 4.27. В указанных структурах измененные подсистемы и элементы указаны подчеркнутым курсивом.

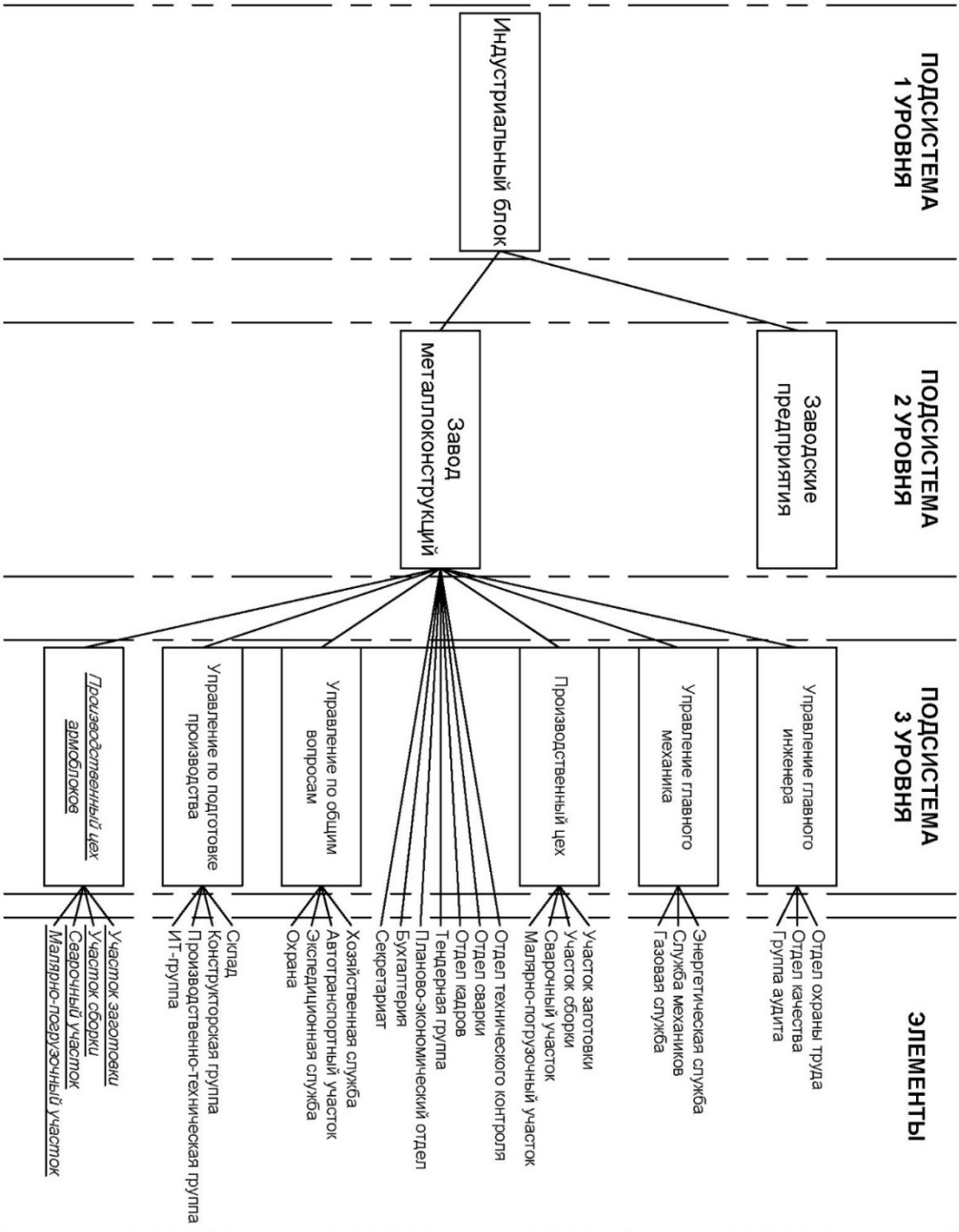


Рисунок 4.26. Организационная структура индустриального блока при производстве армоблоков собственными силами.

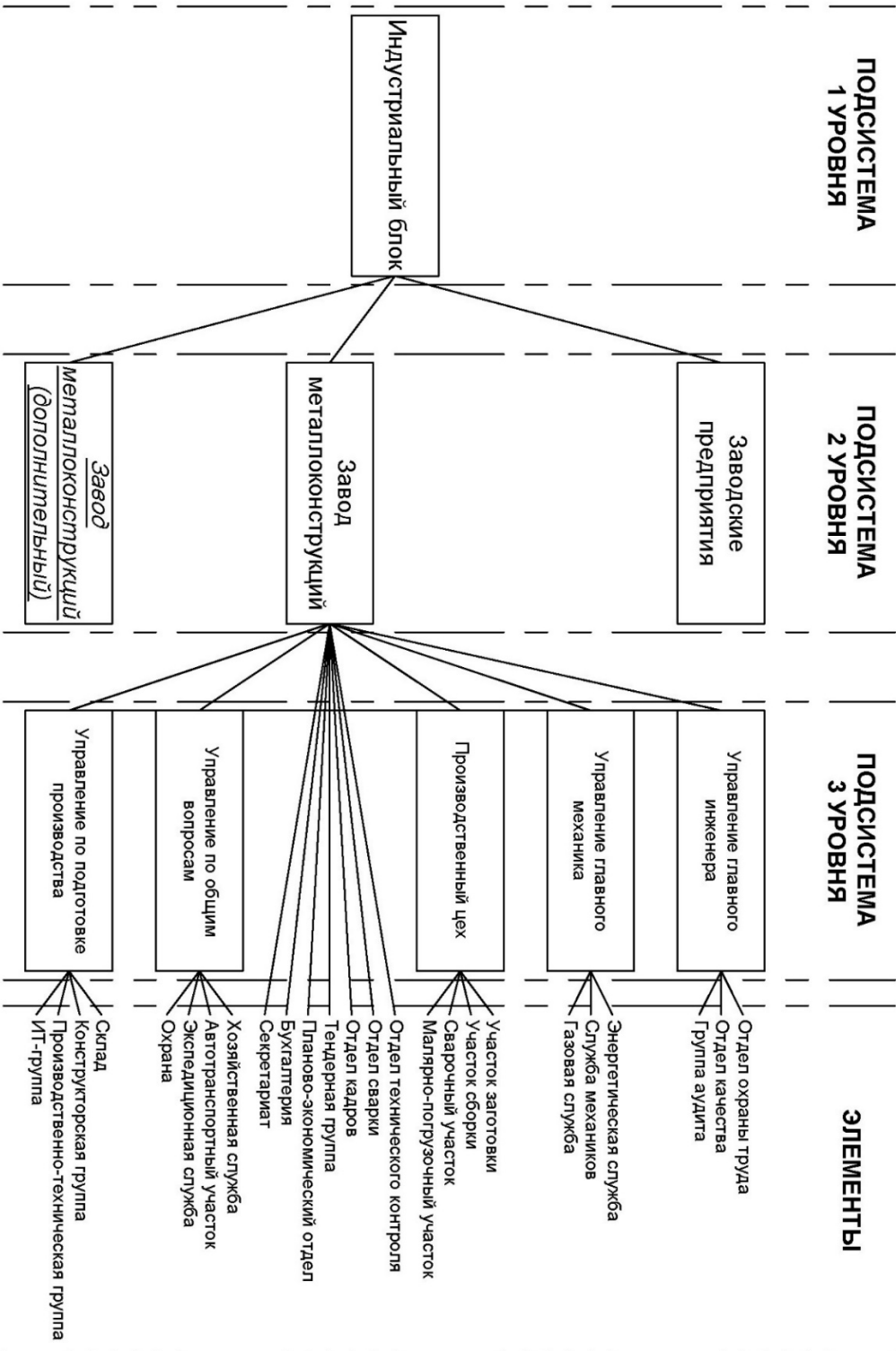


Рисунок. 4.27. Организационная структура индустриального блока при привлечении дополнительных заводов металлоконструкций.

Для организационной структуры блока поставщиков материалов трансформация будет зависеть от вида применяемых армоблоков: наличие или отсутствие несъемной опалубки, а также материал несъемной опалубки: металлическая или сталифибробетонная. Технологически возможно одновременное применение различных типов армоблоков. Тогда на трансформацию организационной структуры влияет соотношение применяемых конструкций армоблоков.

При использовании металлической несъемной опалубки требуется увеличение мощностей изготовления металлопроката: в основном листа и уголка. Увеличение мощностей может быть достигнуто либо увеличение производственных мощностей завода по производству проката, либо привлечением дополнительных предприятий, выпускающих требуемую продукцию. При использовании сталифибробетонной опалубки требуется создание или привлечения завода по производству сталифибробетонных плит.

Предложенные расчеты предназначены для реализации будущих проектов возведения АЭС. Выполненные расчеты были предоставлены для рассмотрения руководству подрядной организации. Они получили высокую оценку перспективности внедрения, что засвидетельствовано выданной справкой (приложение В).

Внедрение методики непосредственно на реализуемом на этапе строительства проекте АЭС «Руппур» производилось на железобетонных конструкциях стен зоны локализации аварии реакторного здания первого энергоблока по адресу: Народная Республика Бангладеш, Пабна, Ишварди, Пакши роад стэйшн. Данная конструкция лежит на критическом пути возведения реакторного здания. Автором работы было предложено использование армоблочных конструкций при возведении помещения компенсатора давления выше отм. +26.300.

Объем конструкции составлял 300.7 м^3 . Общая масса арматуры – 76.2 т. При традиционном методе возведения для данных конструкций общая трудоемкость составила бы 35939 чел-ч. Было вычислено, что при

использовании крупноблочного метода возведения общая трудоемкость составит 29110 чел-ч, из них 7745 чел-ч – монтаж армоблоков, 21365 чел-ч – изготовление армоблоков. Общая штатная численность рабочих в бригаде, занятой возведением стен компенсатора давления, составляла 92 человека. При традиционном методе возведения продолжительность работ по армированию составляла бы 39 дней. При крупноблочном методе была привлечена монтажная бригада с полной штатной численностью 40 человек. Расчетная продолжительность работ на строительной площадке составила 10 дней. Для обеспечения строительной площадки блоками потребовались мощности цеха на территории строительной-монтажной базы. Было рассчитано, что для выполнения работ за период не более 20 дней необходимо привлечь 73 человека. Фактическая продолжительность работ по изготовлению блоков составила 19 дней, по монтажу – 12 дней. Таким образом, было показано общее сокращение работ на 8 дней (на 20 %), а сокращение продолжительности арматурных работ непосредственно на площадке составило 27 дней (69 %), что позволило раньше освободить фронт работ и сократить общую продолжительность возведения конструкций ЗЛА реакторного здания. Для реализации возведения крупноблочным методом суммарно было привлечено 113 человек взамен 92 человек, задействованном при традиционном методе возведения. Увеличение численности составило 21 человек (23 %). Для реализации крупноблочного метода на оперативном уровне была преобразована организационная структура подрядной организации. Так как армоблоки производились силами той же организации, которая занималась их монтажом, изменения организационной структуры производились только внутри организации. На основе полученного опыта был сделан вывод о требуемых преобразованиях для реализации крупноблочного метода в большем масштабе.

Разработанную методику предлагается использовать в нормативных и методических документах по определению продолжительности строительства атомных электростанций. Методику предложено внедрить в организационно-

технологические правила строительства атомных электростанций с реакторами ВВЭР 1200 (ОТПС), одобренные приказом Госкорпорации «Росатом» от 28.12.2022 № 1/1807-П.

Данная методика наиболее применима на стадии обоснования инвестиций (ОБИН), поскольку позволяет прогнозировать требуемые организационные структуры, а также требуемые им ресурсы при определенной степени неопределенности реализации проекта. Методика применима также при разработке организационно-технологической документации – проекта организации строительства (ПОС) на стадии ПД, и проекта производства работ (ППР) на стадии РД, обеспечивая необходимые для проектирования данные.

Разработанную методику формирования организационной структуры при крупноблочном возведении АЭС предложено интегрировать в образовательные дисциплины, преподаваемые на кафедре Строительства объектов тепловой и атомной энергетики Московского государственного строительного университета.

4.2. Обсуждение результатов исследования.

Разработанная в данном исследовании методика ориентирована на практическое применение на нескольких этапах жизненного цикла. Она может использоваться для формирования организационной структуры строительного проекта на предпроектном этапе для обоснования инвестиций и минимизации изменений на последующих этапах жизненного цикла. На проектном этапе данная методика в основном описывает изменение трудозатрат проектного блока. На этапе строительства методика может быть использована для трансформации строительного проекта при полном или частичном изменении технологии возведения железобетонных конструкций.

На основе предложенной методики предполагается формирование организационной структуры строительного проекта, и, как следствие, формирование организационной структуры блоков, входящих в проект.

Трансформация организационной структуры проекта возникает, как правило, вследствие изменения потребности в определенных ресурсах одного или нескольких блоков проекта. Изменение потребности в ресурсах нивелируется созданием или сокращением департаментов, управлений, отделов внутри предприятий, входящих в блок, привлечение или отказ от субподрядных компаний.

Определение потребности в ресурсах производится на основе определения трудозатрат. Определение трудозатрат на основе объекта-аналога имеет преимущества перед определением трудозатрат по нормативным документам, особенно для уникальных объектов строительства. Определение трудозатрат на основе объекта-аналога позволяет учесть конструктивные нюансы сложных объектов, таких, как реакторное здание АЭС, и точнее прогнозировать необходимые для возведения трудозатраты. Однако определение трудозатрат по объекту-аналогу имеет и свои недостатки. Во-первых, такой подход более трудоемок и требует анализа построенных объектов. Во-вторых, необходимо наличие объекта-аналога, наиболее конструктивно близкого к возводимому в проекте объекту. При возведении подобного объекта впервые объект-аналог не в полной мере технологически будет описывать возводимый объект, что даст большую ошибку в прогнозе.

При определении зависимостей трудозатрат от степени применения возведения крупноблочным методом и размера монтируемого блока результат представлен с некоторой вариативностью, показанной пространством между ограничивающими кривыми. Такая вариативность возникает из-за разности зависимостей при различных параметрах, таких как возводимая конструкция или соотношение сторон армоблока. Определение конкретных значений возможно с определенной степенью обеспеченности. Чем выше принимается обеспеченность, тем выше устойчивость системы строительного проекта, так выполнение целевой функции по возведению объекта будет выполняться с большей вероятностью. Однако, высокая обеспеченность может до 40% повышать требуемые ресурсы по сравнению со среднестатистическим

значением. Имеется вероятность порядка 0.5, что данные ресурсы останутся невостребованными. Таким образом, возникнет удорожание проекта.

Проведенные расчеты показывают, что при использовании различных методов возведения суммарные трудозатраты остаются практически неизменными. Однако меняются трудозатраты непосредственно на строительной площадке. При учете логистических затрат труда, общие трудозатраты возведения железобетонных конструкций в армоблоках превысят трудозатраты при традиционном возведении. Трудозатраты логистики будут определяться, в том числе, удаленностью индустриального блока от блока подрядчика.

Поскольку, при различных технологиях возведения требуются различные механизмы, производственные площадки и кадры разной квалификации, окончательное формирование организационной структуры необходимо производить после экономической оценки полученных по описанной в данной работе методике вариантов. Экономическая оценка будет сильно зависеть от региона строительства, поэтому представляет собой тему отдельного исследования.

Поскольку перераспределение трудозатрат при использовании армоблоков происходит в основном за счет перераспределения требуемого числа рабочих, изменения организационной структуры строительного проекта затрагивают в основном блок подрядчика, особенно при изготовлении армоблоков собственными силами подрядчика. При изготовлении армоблоков силами индустриального блока, увеличивается как его требуемая организационная структура, так и структура логистического блока.

Выводы по главе 4:

1. Произведены практическое применение и апробация предложенной методики на примере железобетонных конструкций реакторного здания АЭС проекта АЭС-2006. Вычислены трудозатраты на традиционное строительство, изготовление и монтаж блоков, произведено их сопоставление. Произведена оценка устойчивости системы строительного проекта при разной обеспеченности. Получены ограничения для размеров блоков, транспортируемых различным транспортом, выявлены граничные значения для требуемых грузоподъемных механизмов. Вычислены количество трудовых ресурсов и требуемые промышленные площади для различной продолжительности возведения энергоблоков при различной степени применения армоблоков. Сформированы организационные структуры функциональных блоков при различных степенях использования армоопалубочных конструкций.

2. Представлено обсуждение полученных результатов исследования. Проанализирована применимость полученной методики на различных этапах жизненного цикла АЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Требование соблюдения заданных сроков возведения объектов и их уменьшения в перспективе требует совершенствования технологии производства работ и создания новых подходов к строительству. Изменения в технологии, в свою очередь, требуют изменения организационных структур, как отдельных организаций, так и строительного проекта в целом.

Определяющими срок являются объекты, лежащие на критическом пути проекта. Как правило ими являются массивные железобетонные объекты. Современные проекты АЭС предполагают возведение с помощью двух основных технологий – традиционной и крупноблочной. Существует множество особенностей каждой из технологий. Как правило, они приводят к необходимости перераспределения ресурсов между участниками строительного проекта. Необходимость обеспечения ресурсов в блоках проекта требует трансформации обозначенных блоков в рамках соответствующего увеличения или уменьшения структурных единиц. Это может быть, как изменение внутри одного предприятия, так и изменения внутри блока на уровне привлечения субподрядных организации или уменьшения их числа.

Хотя строительный проект реализуется на протяжении трех этапов жизненного цикла объекта – предпроектном, проектном и основном строительном этапах – наибольшую роль формирование организационной структуры, соответствующей наиболее эффективной технологии имеет на предпроектном этапе, поскольку позволяет более эффективно распорядиться инвестициями. Формирование такой организационной структуры возможно за счет определения трудозатрат, которые потребуются на строительном этапе жизненного цикла объекта. Для определения трудозатрат для различных методов возведения реакторного здания целесообразно использовать фактические данные о трудозатратах на объекте аналоге. Для общих оценок при формировании организационной структуры строительного проекта

величины трудозатрат представляют собой интервал значений, уточняемых с заданной обеспеченностью.

На основе способа определения трудозатрат в зависимости от степени использования крупноблочного метода и степени укрупнения армоблока при возведении АЭС с учетом граничных условий была разработана блок-схема алгоритма формирования организационной структуры в зависимости от степени укрупнения армоблоков и степени применения крупноблочного возведения. Данная блок-схема позволяет определить порядок необходимых действий при формировании организационной структуры строительного проекта. Сформированная таким образом на предпроектном этапе жизненного цикла структура должна обладать большей устойчивостью к внешним воздействиям, чем структура, сформированная в процессе реализации проекта, исходя из общих представлений.

Произведенные расчеты показали, что при использовании крупноблочного метода возведения возможно сократить на две трети трудозатраты рабочих непосредственно на площадке строительства. Однако, как было показано, не существует идеальных условий для полного применения крупноблочной технологии. Имеется ряд ограничений: технологических, логистических, организационных. И на основе анализа требуемых трудозатрат можно оценить ресурсы каждого из участников проекта и необходимость их наращивания. Однако, стоит указать, что окончательное решение об оптимальной технологии возведения можно сделать только на основе экономической оценки, когда на представленную в исследовании модель накладываются экономические факторы. И на основе полученного результата можно с определенной степенью достоверности сформировать организационную структуру строительного проекта.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Применение методики для других объектов капитального строительства после соответствующей верификации.
2. Построение многомерной модели распределения трудозатрат 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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСУ ТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами.

АЭС – атомная электрическая станция.

БЗТ – блок защитных труб.

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор.

ВЗО – внутренняя защитная оболочка.

ВКУ – внутрикорпусные устройства.

ГОСТ – государственный стандарт.

ГЭСН – государственные элементные сметные нормы.

ЕНиР – единые нормы и расценки.

ЗЛА – зона локализации аварии.

ИСП – инвестиционно-строительный проект.

КЖ – конструкции железобетонные.

КМ – конструкции металлические.

МАГАТЭ – международное агентство по атомной энергии.

ОБИН – обоснование инвестиций.

ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду.

ОИАЭ – объект использования атомной энергии.

ПД – проектная документация.

ПООБ – предварительный отчет по обоснованию безопасности.

ПОС – проект организации строительства.

ППР – проект производства работ.

РБМК – реактор большой мощности канальный.

РД – рабочая документация.

РФ – Российская Федерация.

СМР – строительные-монтажные работы.

СПО – субподрядная проектная организация.

СПОТ – система пассивного отвода тепла.

ТОИ – типовой, оптимизированный, информатизированный.

ABWR – advanced boiling water reactor (улучшенный кипящий водяной реактор).

BIM – building information model (объектно-ориентированная модель строительного объекта).

RFID – radio frequency identification (радиочастотная идентификация).

TCM NC – total cost management nuclear construction (система комплексного управления стоимостью и сроками инвестиционно-строительных проектов).

СПИСОК ТЕРМИНОВ

Армоопалубочный блок (армоблок) – строительная конструкция заводского изготовления, представляющая собой пространственный арматурный каркас в сочетании с несъемной опалубкой и несущими стальными фермами, предназначенная для возведения сборно-монолитных железобетонных конструкций.

Жизненный цикл здания или сооружения – период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения

Жизненный цикл проекта – совокупность ограниченных во времени этапов выполнения проекта, среди которых замысел, планирование, исполнение и завершение проекта.

Крупноблочный метод возведение (крупноблочное строительство) – метод возведения железобетонной конструкции, при котором армирование конструкции осуществляется пространственными арматурными каркасами, формирование геометрии железобетонной конструкции осуществляется с помощью несъемной опалубки.

Металлоемкость – расход металла для изготовления единицы продукции.

Модульность – подход к строительному производству, предполагающий широкое использование сборных и сборно-монолитных конструкций (модулей) в процессе возведения зданий и сооружений.

Монтажная конфигурация – состояние строительной конструкции, которое позволяет произвести ее монтаж в проектное положение без производства дополнительных предварительных работ.

Насыщение конструкции закладными изделиями (средний расход закладных изделий) – количество закладных изделий, содержащееся в единице железобетонной конструкции.

Нащельник – элемент несъемной опалубки, устанавливаемый на месте стыкового соединения армоблоков.

Негабаритный груз – груз, габариты которого превышают установленный нормативами габарит для автомобильных и железных дорог общего пользования.

Несъемная опалубка – строительная конструкция, применяемая для формирования геометрии железобетонной конструкции, которая не требует распалубке и после бетонирования остается в теле железобетонной конструкции.

Объект-аналог – здание или сооружение, которое максимально конструктивно приближено к планируемому к возведению в рамках текущего строительного проекта здания или сооружения.

Организационная структура проекта – состав, взаимосвязь и соподчиненность систем, подсистем и элементов проекта, включая насыщенность элементов и подсистем ресурсами.

Отраслевая система комплексного управления стоимостью и сроками – совокупность методик, процессов, ресурсов, работающих в рамках соответствующих организационно-административных структур, используемых при управлении инвестиционно-строительными проектами.

Петлевой стык Передерия – объединение стыкуемых арматурных каркасов, выполняемое с помощью петлевых арматурных выпусков, внутри которых бетон объединения работает в условиях всестороннего сжатия.

Приведенные трудозатраты – трудозатраты, приведенные к выбранной единице изменения.

Проект – деятельность временного характера, которая обеспечивает создание, реконструкцию, техническое перевооружение или ликвидацию объекта.

Производственные площадки – совокупность промышленных производств (заводов, цехов) и площадок укрупнительной сборки, способных производить строительные конструкции.

Сборно-монолитная конструкция – железобетонная конструкция, изготавливаемая путем монтажа арматуры (чаще, в виде пространственных каркасов) и несъемной опалубки промышленного изготовления с

последующей укладкой бетонной смеси непосредственно на строительной площадке.

Степень армирования конструкции (средний расход арматуры) – количество арматуры, содержащееся в единице железобетонной конструкции.

Степень укрупнения – количественный параметр, характеризующий объем железобетонной конструкции, формируемый одним армоопалубочным блоком.

Строительно-монтажная база – комплекс предприятий и сооружений, предназначенных для обеспечения строящихся объектов, необходимыми материально-техническими ресурсами, а также для изготовления собственными силами материалов, изделий и конструкций, используемых в процессе строительства.

Строительный проект – часть инвестиционно-строительного проекта, в которой не учитываются вопросы инвестиционно-экономической деятельности.

Традиционный метод возведения (традиционное строительство) – метод возведения железобетонной конструкции, при котором армирование конструкции осуществляется отдельными стержнями или плоскими каркасами, формирование геометрии железобетонной конструкции осуществляется с помощью инвентарной опалубки.

Трудовые человеческие ресурсы – совокупность потенциально производимого в течении рабочего времени труда, выполняемого рабочими без крупных средств механизации.

Удельная производительность – производительность труда, требуемая для выполнения технологического процесса, отнесенного к единице конструкции.

Укрупнительная сборка (доукрупнение) – процесс объединения нескольких фрагментов армоблока в единую монтажную единицу (сборку) до процесса монтажа в проектное положение.

Упор Нельсона – элемент несъемной металлической опалубки в виде перпендикулярного анкерного элемента с высаженной головкой,

предназначенный для обеспечения совместной работы бетона и листовой арматуры в виде несъемной опалубки.

Управление строительством – организация строительного производства на объекте, включая: планирование, контроль, оценку и управление рисками, координацию работ подрядных и строительного-монтажных организаций, авторского надзора, строительного контроля, других участников строительства, реконструкции или капитального ремонта.

Функциональный блок (блок) – участник строительного проекта, рассматриваемый как подсистема верхнего уровня строительного проекта.

Total Cost Management (управление общими трудозатратами) – это процесс применения знаний и навыков стоимостного инжиниринга, при котором происходит интеграция большинства процессов управления капиталом и проектами компании и осуществляется их привязка к целям, стоящим перед предприятием.

Total Cost Management Framework – структурированная аннотированная карта процесса, которая объясняет каждую область деятельности в области стоимостного инжиниринга в контексте ее связи с другими областями деятельности, включая смежные.

Total Cost Management Nuclear Construction – система комплексного управления стоимостью и сроками инвестиционно-строительных проектов, представляющая собой совокупность методик, процессов, ресурсов, работающих в рамках соответствующих организационно-административных структур, используемых при управлении инвестиционно-строительными проектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атомная наука и техника СССР / под общ. ред. А.М. Петросьянца. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 312 с.: с ил.
2. Берндт А. Определение рациональной блочности конструкций реакторного отделения АЭС с реакторами ВВЭР-1000: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.08 / Андерас Берндт – Москва, 1985. – 315 с.
3. Бурган Б.А. Инновационные формы сталебетонных конструкций для атомных электростанций / Б.А. Бурган, С. Бингэм // 24-я конф. По механике конструкций для реакторных технологий ВЕХСО, Пусан, Корея. 2017.
4. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 9238-2013. – М.: Стандартинформ, 2014. – 173 с.
5. Газарян Р.К. Оценка уровня организационно-технологической надежности функционирования строительных промышленных предприятий / Р.К. Газарян, В.О. Чулков, К.П. Грабовый, К.Ю. Кулаков // Вестник МГСУ. 2012. №3. С. 218-222.
6. Гинзбург А.В. Влияние мероприятий по повышению организационно-технологической надежности на функционирование строительной организации и планирование строительства / А.В. Гинзбург, П.Б. Жавнеров // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №3. С. 94-96.
7. Гинзбург А.В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта / А.В. Гинзбург // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №9. С. 61-65.
8. Гинзбург А.В. Организационно-технологическая надежность строительных систем / А.В. Гинзбург // Вестник МГСУ. 2010. №4. С. 251-255.
9. Государственные сметные нормативы. Государственные сметные нормы. Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования. ГЭСН 81-02-06-2017. Сборник 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные.

10. Государственные сметные нормативы. Государственные сметные нормы. Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования. ГЭСНм 81-03-38-2017. Сборник 38. Изготовление технологических металлических конструкций в условиях производственных баз.
11. Гриценко А.С. Технология крупноблочного монтажа несъемной опалубки реакторных отделений АЭС: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08 / Гриценко Александр Сергеевич; науч. рук. Г.М. Батура; КИСИ – Киев, 1990. – 22 с.
12. Дементьева В.В. Характеристика понятия сроков строительства и анализ основных направлений сокращения сроков строительства / В.В. Дементьева // Аллея науки. – 2018. – Т. 8. № 5. – С. 524-530.
13. Дорф В.А. Сборно-монолитная технология строительства зданий с несъемной сталефибробетонной опалубкой. / В.А. Дорф, Р.О. Красновский, И.С. Кроль, Д.Е. Капустин // Север России: стратегии и перспективы развития. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – 2016. – С. 77-82.
14. Дорф В.А. Ускорение для АЭС / В.А. Дорф, Р.О. Красновский // Энергетика и промышленность России 2010. – № 4.
15. Егоров С. Системный подход / С. Егоров, С. Нефедов. // PRoAtom. 2013.
16. Егоров. А.Н. Инновационность в строительной сфере экономики как инструмент снижения стоимости, сокращения сроков и повышения качества строительства / А.Н. Егоров, М.Л. Шприц, А.Н. Нагманова // Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов. 2011. №3. С. 251-253.
17. Единые нормы времени на перевозку грузов автомобильным транспортом и сдельные расценки для оплаты труда водителей. Нормативно-производственное издание. / под ред. С.Ю. Романовой. – М.: Экономика, 1990. – 49 с.
18. Ельчишев М.В. Организация инвестиционных проектов на предприятиях атомной промышленности: дис. ... канд. экон. наук : 05.02.22 /

Ельчишев Максим Вадимович; науч. рук. В.Ф. Богачев; Военмех – Санкт-Петербург, 2005. – 194 с.

19. Захарченко О.В. Разработка организационно-технологической модели функций технического заказчика / О.В. Захарченко, А.А. Лapidус // Технология и организация строительного производства. 2018. №3. С. 11-16.
20. Зимин С.С. Конструктивные и технологические решения объемных армоблоков с несъемной несущей сталефибробетонной опалубкой / С.С. Зимин, Н.С. Алексеев // Современные научные исследования и инновации. 2015. №11 . [Электронный ресурс].
21. Зимин С.С. Экспериментальные данные для моделирования стыковых соединений укрупненных конструкций / С.С. Зимин, Н.С. Алексеев, К.И. Ионов // Современные научные исследования и инновации. 2015. №12 . [Электронный ресурс].
22. Использование стальной облицовки в качестве рабочей арматуры в железобетонных конструкциях ГЭС и АЭС / В. Б. Николаев, Е. А. Климов // Гидротехническое строительство. 2014. № 4. С. 17-20.
23. Капустин Д.Е. О применении несъемной сталефибробетонной опалубки / Д.Е. Капустин, К.В. Рогачев, А.Е. Капустин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 102-109.
24. Капустин Д.Е. Прочностные и деформационные характеристики несъемной сталефибробетонной опалубки как несущего элемента железобетонных конструкций: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.01 / Капустин Дмитрий Егорович; науч. рук. И.А. Горбунов; НИУ МГСУ – Москва, 2015. – 23 с.
25. Лapidус А.А. Анализ организационно-технологических решений производственно-логистических процессов / А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян // Строительное производство. 2019. №2. С. 5-8.
26. Лapidус А.А. Декомпозиция производственно-логистических процессов в строительстве / А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №1. С. 53-56.

27. Лapidус А.А. Организационно-технологическая надежность производственно-логистических процессов в строительстве / А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №4. С. 49-52.
28. Лapidус А.А. Потенциал производственно-логистических процессов в строительстве / А.А. Лapidус, Г.Б. Сафарян // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №4. С. 49-52.
29. Лapidус А.А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений при строительстве крупных промышленных комплексов / А.А. Лapidус, А.Ю. Мищенко // Перспективы науки. 2018. №12. С. 10-14.
30. Лapidус А.А. Устойчивость организационно-производственных систем в условиях рисков и неопределенности строительного производства / А.А. Лapidус, И.Л. Абрамов // Перспективы науки. 2018. №6. С. 8-11.
31. Методологическое руководство по системе TCM NC. / под общ. ред. Г.С. Сахарова. – Частное учреждение Госкорпорации «Росатом» ОЦКС, 2020.
32. Миссия. Стратегические цели. Ценности // Госкорпорация Росатом. URL: <https://www.rosatom.ru/about/mission>.
33. Морозенко А.А. Аналитический расчет надежности участников инвестиционно-строительных проектов как элементов организационной структуры / А.А. Морозенко, И.Е. Воронков // Вестник МГСУ. 2016. №11. С. 105-113.
34. Морозенко А.А. Информационный подход к решению организационных задач – основа прогресса в строительстве / А.А. Морозенко // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №79. С. 57-60.
35. Морозенко А.А. Материально-ресурсная оценка устойчивого функционирования предприятий строительной отрасли / А.А. Морозенко // Вестник МГСУ. 2010. №2. С. 261-263.
36. Морозенко А.А. Матрица проекта – основа оптимальной организационной структуры инвестиционно-строительного проекта / А.А.

Морозенко // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №7. С. 49-51.

37. Морозенко А.А. Организация логистической информационной системы строительства объектов со сложной инфраструктурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Морозенко Андрей Александрович; науч. рук. В.И. Теличенко; МГСУ – Москва, 2004. – 24 с.

38. Морозенко А.А. Особенности жизненного цикла и этапы разработки инвестиционно-строительного проекта / А.А. Морозенко // Вестник МГСУ. 2013. №6. С. 223-228.

39. Морозенко А.А. Повышение эффективности организационно-технологических решений при строительстве АЭС на основе современного российского и зарубежного опыта / А.А. Морозенко, И.Е. Воронков // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №10. С. 74-79.

40. Морозенко А.А. Принципы формирования логистических систем в строительном комплексе / А.А. Морозенко // Вестник МГСУ. 2007. №4. С. 19-21.

41. Морозенко А.А. Рефлексно-адаптивная модель организации организационной структуры инвестиционно-строительных проектов / А.А. Морозенко // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №3. С. 209-213.

42. Морозенко А.А. Рефлексно-адаптивная организационная структура инвестиционно-строительных проектов: дис. ... докт. техн. наук : 05.02.22 / Морозенко Андрей Александрович; науч. конс. В.И. Теличенко; МГСУ – Москва, 2013. – 303 с.

43. Морозенко А.А. Управление инвестиционно-строительными проектами на основе матрицы ключевых событий / А.А. Морозенко, Д.В. Красовский // Вестник МГСУ. 2016. №11. С. 105-113.

44. Морозенко А.А. Условия устойчивости инвестиционно-строительного проекта на основе концепции управления рисками / А.А. Морозенко // Вестник МГСУ. 2016. №11. С. 105-113.

45. Морозенко А.А. Устойчивость как комплексная характеристика, определяющая способность обеспечения реализации инвестиционно-строительных проектов / А.А. Морозенко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2011. №4. С. 1-5.
46. Осокин А.М. Проект организации строительства ВВЭР-ТОИ / А.М. Осокин // Росэнергоатом №12 2012.
47. Патент CN 101736925 A КНР , МПК E04H 5/02. Modular construction method for nuclear island of nuclear power station / заявитель China Nuclear Ind. 23 Constr. Co. Ltd.
48. Патент CN 104481053 A КНР , МПК E04B 2/00. Nuclear power wall and construction method thereof / Gaoshan T., Weirong C., Minglu Z., Yanbin P., Qingrong Z., Xiaojun H., Yu W., Nan Q.; заявитель China Nuclear Ind. Huaxing Constr. Co. Ltd.
49. Патент CN 105714935 A КНР , МПК E04B 1/32. AP1000 superposed dome assembling technology / Fangfang Z., Haimin P., Zhaorui L., Shibing Z., Fei G., Jingfa Z., Zhaohui L., Liang S., Xinliang Z., Hongwei S.; заявитель China Nuclear Ind. 24 Constr. Co. Ltd.
50. Патент CN 107338958 A КНР , МПК E04G 21/00. Modular construction method for nuclear reactor cavity pit / Tiegang M., Liang L., Xiping P., Qun X., Guihui Z.; заявитель China Nuclear Ind. Huaxing Constr. Co. Ltd.
51. Патент CN 108766608 A КНР , МПК G21F 1/12, G21F 3/00. Nuclear power station shielding wall SC fractal structure / Yu. Z., Mingqin F., Jianguo W., Kaixun X. Ganggang B., Nuannuan W.; заявитель China Nuclear Ind. Huaxing Constr. Co. Ltd.
52. Патент CN 108797845 A КНР , МПК E04B 2/56. Steel plate concrete structure wall intersection connection joint reinforcement structure / Haitao X., Li D., Zhengyu X., Zhanfa D., Chong C., Bing B.; заявитель China Nuclear Power Eng. Co. Ltd., China General Nuclear Power; CGN Power Co. Ltd.

53. Патент CN 108894423 A КНР , МПК E04B 5/40, E04B 5/48. Assemble integral type profiled steel plate-concrete composite slab and installation and use method thereof / Guochang L., Ke S., Zhijian Y.; заявитель Univ Shenyang Jianzhu.
54. Патент CN 202865996 U КНР , МПК E04B 1/343, E04H 5/02. Room modular structure for nuclear power plant / Qinwu L., Yi L.; заявитель China Nuclear Power Eng. Co. Ltd., China Guangdong Nuclear.
55. Патент JP 2018199968 A Япония , МПК E04D 19/12. Composite floor slab / Kensuke W., Hideyuki S., Hirokazu T., Kazuyuki T; заявитель Shimizu Construction Co. Ltd.
56. Патент RU 184561 U1 РФ, МПК E04G 11/06 (2006.01), E04B 2/86 (2006.01). Армоопалубочный блок с несъемной опалубкой / Белохин С.Л., Иванов Д.В., Меркушев Н.Ф., Аксельрод Г.Ю., Пецка М.В.; заявитель АО «Атомэнергопроект». – 8 с. : ил.
57. Патент RU 2503784 C1 РФ, МПК E04C 5/16 (2006.01), E04B 5/38 (2006.01). Способ изготовления строительных арматурных конструкций / Гаврилюк Л.П., Комок А.И., Суздальев И.В.; заявитель ОАО «ЦТСС». – 12 с. : ил.
58. Патент RU 2528654 C2 РФ, МПК E04H 7/00 (2006.01), E04G 11/00 (2006.01). Защитная оболочка атомной электростанции / Жарков А.Ф., Коробов Л.А., Филипов А.М., Юзепчук К.С., Царбков В.В.; заявитель Жарков А.Ф.. – 15 с. : ил.
59. Патент RU 2632075 C1 РФ, МПК E04G 11/06 (2006.01), E04G 11/36 (2006.01), E04B 2/86 (2006.01). Узел стыковки стержней армокаркаса строительной конструкции / Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Иванов Д.В., Белохин С.Л., Лазарев И.В., Аксельрод Г.Ю., Меркушев Н.Ф.; заявитель АО «Концерн Росэнергоатом». – 10 с. : ил.
60. Патент RU 2632592 C1 РФ, МПК E04G 11/06 (2006.01), E04G 11/36 (2006.01), E04B 2/86 (2006.01). Армоопалубочный блок и строительная конструкция / Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Иванов Д.В.,

Белохин С.Л., Пецка М.В., Аксельрод Г.Ю., Тарасов С.А., Меркушев Н.Ф.; заявитель АО «Концерн Росэнергоатом». – 15 с. : ил.

61. Патент RU 2633462 С1 РФ, МПК E04G 11/06 (2006.01), E04G 11/36 (2006.01), E04B 2/86 (2006.01). Армоопалубочный блок с несъемной опалубкой и строительная конструкция / Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Иванов Д.В., Белохин С.Л., Лазарев И.В., Пецка М.В., Аксельрод Г.Ю., Тарасов С.А., Меркушев Н.Ф.; заявитель АО «Концерн Росэнергоатом». – 14 с. : ил.

62. Патент RU 2652770 С1 РФ, МПК E04B 2/86 (2006.01), E04G 11/00 (2006.01). Несъемная сталефибробетонная опалубка / Дорф В.А., Красновский Р.О., Кроль И.С., Кокосадзе А.Э., Капустин Д.Е.; заявитель ООО «Институт автоматизированных технологий строительства». – 7 с. : ил.

63. Пергаменщик Б.К. Изменение величины трудозатрат при укрупнении специальных конструкций АЭС / Б.К. Пергаменщик, Р.Р. Темишев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 1. – С. 138-143.

64. Пергаменщик Б.К. Моделирование зависимости производительности труда от насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами / Б.К. Пергаменщик, В.А. Ундозеров // Наука и бизнес: пути развития. 2019. №1. С. 52-58.

65. Пергаменщик Б.К., Ундозеров В.А. Производительность труда в строительстве в функции насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами / Б.К. Пергаменщик, В.А. Ундозеров // Экономика строительства. 2018. №5. С. 25-34.

66. Синенко С.А. Системотехника проектирования организации строительного производства: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.12, 05.13.06 / Синенко Сергей Анатольевич; науч. конс. А.А. Гусаков; МИСИ – Москва, 1992. – 24 с.

67. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь / под ред. А.А. Гусакова. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 320 с.

68. Строительные нормы и правила. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. СНиП 1.04.03-85*. Часть 1. – М.: 1991. – 383 с.
69. Сычев С.А. Оценка технологичности монтажа зданий и сооружений из модулей заводской готовности / С.А. Сычев // Глобальный научный потенциал. Архитектура и строительство. 2015. №9. С. 37-41.
70. Темишев Р.Р. Прогнозирование трудовых затрат при монтаже строительных конструкций АЭС: автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Темишев Рустан Рамзанович; науч. рук. Б.К. Пергаменщик; МГСУ – Москва, 1995. – 20 с.
71. Ундозеров В.А. Моделирование снижения производительности труда при увеличении насыщенности фронта работ трудовыми ресурсами / В.А. Ундозеров // Русский инженер. 2019. №1. С. 10-11.
72. Ундозеров В.А. Организация логистической информационной системы строительства объектов со сложной инфраструктурой: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.22 / Ундозеров Вадим Андреевич; науч. рук. Б.К. Пергаменщик; НИУ МГСУ – Москва, 2019. – 166 с.
73. Холопов А.А. Транспортировка и монтаж укрупненных элементов АЭС / А.А. Холопов, К.А. Дудкевич, Б.К. Пергаменщик // Вестник МГСУ. 2010. №4. С. 266-274.
74. Щеголь А.Е. Системотехническое проектирование научного обеспечения строительства: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.12 / Щеголь Анна Евгеньевна; УМЗ – Москва, 1996. – 35 с.
75. Abdulla A.Y. Exploring the deployment potential of small modular reactors: dis. ... Ph.D. / Abdulla Ahmed Y.; Carnegie Mellon University – Pittsburgh, 2014. – 214 p.
76. Bhardwaj S.R. Minimum requirements and section detailing provisions for steel-plate composite (SC) walls in safety-related nuclear facilities / S.R. Bhardwaj, A.H. Varma, S.R. Malushte // Engineering Journal - American Institute of Steel Construction. 2017. Vol. 54. No. 2. Pp. 89-107.

77. Burgan B.A. Composite steel-concrete modular construction for new-generation nuclear power plants / B.A. Burgan // *Innovation & Research Focus*. May 2013. Issue 93. P. 2.
78. Byrne J. ACR-1000 (R) constructability and modularization / J. Byrne, M. Elgohary, B. Canas, D. Shemavonian, R. Ricciuti, L. Hiebert // *ICONE 16: Proceeding of the 16th International Conference on Nuclear Engineering*. 2008. Vol 4. Pp. 907-916.
79. Chakraborty S. Nuclear power plants: innovative construction technique and design / S. Chakraborty, S. Shiha, S. Chakraborty, S. Das, S.C. Yadav, M.K. Mandal, S. Kumawat // *Journal of Energy Research and Environmental Technology*. July-September 2016. Vol. 3. Issue 3. Pp. 176-180.
80. Construction technologies for nuclear power plants / IAEA. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.
81. Edwards H. Manufacturing power stations / H. Edwards, A. Locke, A. Jackson // *Ingenia*. December 2016. Issue 69. Pp. 30-34.
82. Jung D.Y. Advanced construction methods for new nuclear power plants / D.Y. Jung, Y.K. Kang, C.H. You // *Proceedings of the Asme Pressure Vessels and Piping Conference*. 2010. Vol 9. Pp. 55-59.
83. Kajiyama N. Hitachi's involvement in nuclear power plant construction in Japan / N. Kajiyama, K. Hamamura, K. Murayama // *Hitachi Review*. 2009. Vol. 58. No. 2. Pp. 48-52
84. Kupitz J. Trends in nuclear-power reactor design and technology / J. Kupitz, A. Goodjohn // *Energy*. 1991. Vol. 16. No. 1-2. Pp. 15-23.
85. Lapp C. W. Modular design and construction techniques for nuclear power plants / C.W. Lapp, M.W. Golay // *Nuclear Engineering and Design*. 1997. Vol. 172. Pp. 327-349.
86. Lee Y.I. Modularization technology development and application for NPP in Korea / Y.I. Lee, U.K. Lee, T.I. Kim // *Proceedings of the Asme Pressure Vessels and Piping Conference*. 2010. Vol 9. Pp. 73-79.

87. Maraveas C. Mechanical properties of high and very high steel at elevated temperatures and after cooling down / C. Maraveas, Z.C. Fasoulakis, K.D. Tsavdaridis // *Fire Science Reviews*. 2017. No. 6:3.
88. Maronati G. EVAL: A methodological approach to identify NPP total capital investment cost drivers and sensitivities / G. Maronati, B. Petrovic, J.J. Van Wyk, M.H. Kelley, C.C. White // *Progress in Nuclear Energy*. 2018. Vol. 104. Pp. 190-202.
89. Presley L. Modularizing containment vessels in new nuclear power plants / L. Presley, B. Weber // *Power. Business and technology for the global generation industry*. November 2009. Vol. 153. No. 11.
90. Shash A.A.H. A probabilistic model for U.S. nuclear power construction times: dis. ... Ph.D. / Shashsh Ali Ali H.; The university of Texas at Austin – Austin, 1988. – 340 p.
91. Smith C.T. Module fabrication strategy for today's nuclear industry / C.T. Smith, J.H. Hammeran, C. Lockwood // *Proceedings of the 20th International Conference on Nuclear Engineering and the Asme 2012 Power Conference*. 2012. Vol. 2. Pp. 125-137.
92. Talabi S.M. Improving cost and schedule performance on large energy infrastructure deployment projects: establishment of best practices for risk management and organizational learning based on nuclear power generation project assessments: dis. ... Ph.D. / Talabi Sola M.; Carnegie Mellon University – Pittsburgh, 2013. – 219 p.
93. Total Cost Management Framework. An integrated Approach to Portfolio, Program, and Project Management / edited by H. Lance Stephenson, CCP FAACE. – AACE International, 2015.
94. Valentin V. Impact assessment of inter-organizational dynamics on the performance metrics of capital-intensive projects: dis. ... Ph.D. / Valentin Vanessa; Purdue University – West Lafayette, Indiana, 2011. – 203 p.
95. Varma A. Modular connection technologies for SC walls of SMRs / A. Varma // *AMM Newsletter*. March 2015. Issue 1. Pp. 9-14.

96. Varma A.H. Modularity & using steel-plate composite (SC) walls for nuclear and commercial construction / A.H. Varma, S.R. Malushte, Z. Lai // 11th International Conference on Advances in Steel and Concrete Composite Structures. Tsinghua University. Beijing. China. December 2015.
97. Wright E.R. Assessment of U.S. construction industry capabilities for successful delivery of nuclear power projects: dis. ... MSc. / Wright Erik R.; Purdue University – West Lafayette, Indiana, 2012. – 246 p.
98. Yongfei L.V. Discussion on Assembly Technology of AP1000 Nuclear Power Plant CA20 Large Structural Module / L.V. Yongfei // Proceedings of The 20th Pacific Basin Nuclear Conference. Vol. 1. Pp. 875-880.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Список работ, опубликованных автором
лично и в соавторстве**

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.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Справка о разрешении использования
ИСХОДНЫХ ДАННЫХ**

**ФИЛИАЛ ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ТРЕСТ РОССПЕЦЭНЕРГОМОНТАЖ»
В НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ БАНГЛАДЕШ
(Филиал ООО «Трест РосСЭМ» в НРБ)**

СПРАВКА

№ _____

Ишварди

о разрешении использования исходных данных в диссертационной работе
Шашкова Алексея Андреевича на тему «Формирование организационной
структуры проекта при крупноблочном строительстве АЭС» на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Настоящей справкой разрешается использование в диссертационной работе
Шашкова Алексея Андреевича на тему «Формирование организационной
структуры проекта при крупноблочном строительстве АЭС» исходных данных об
объемах и продолжительности строительно-монтажных работ, организационной
структуре и численности персонала.

ВРИО Главного инженера



Д.С.Нечаев



**ПРИЛОЖЕНИЕ В. Справка о внедрении результатов
диссертационного исследования**

**ФИЛИАЛ ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ТРЕСТ РОССПЕЦЭНЕРГОМОНТАЖ»
В НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ БАНГЛАДЕШ
(Филиал ООО «Трест РосСЭМ» в НРБ)**

СПРАВКА

№ _____

Ишварди

о внедрении результатов диссертационной работы Шашкова Алексея Андреевича на тему «Формирование организационной структуры проекта при крупноблочном строительстве АЭС» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Настоящей справкой удостоверяется, что диссертационная работа Шашкова Алексея Андреевича на тему «Формирование организационной структуры проекта при крупноблочном строительстве АЭС» является актуальной работой и представляет практический интерес. Результаты диссертационного исследования предполагается использовать для рациональной организации структуры подрядчика при использовании крупноблочных конструкций при возведении реакторных зданий АЭС.

ВРИО Главного инженера



Д.С.Нечаев

