

*На правах рукописи*



**Бохан Хайтам Абдулраззак Бохан**

**МИНИМИЗАЦИЯ ЗАДЕРЖЕК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ  
КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ,  
МОНИТОРИНГА И ОПЕРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
(ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ ИРАК)**

Специальность: 2.1.7. Технология и организация строительства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Болотин Сергей Алексеевич**

Официальные оппоненты: **Бирюков Александр Николаевич**  
доктор технических наук, профессор, ФГКВОУ  
ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева», Военный институт (инженерно-технический), г. Санкт-Петербург, кафедра «Технологии, организации и экономики строительства», профессор.

**Кабанов Александр Васильевич**  
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I»,  
г. Санкт-Петербург, Декан факультета  
«Экономика и менеджмент», кафедра  
«Строительство дорог транспортного комплекса»,  
доцент.

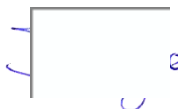
Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Южный Федеральный  
Университет», г. Ростов-на-Дону**

Защита состоится «28» ноября 2024 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 220 главного корпуса). Тел./ Факс: (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/bohan-haytam-abdulrazzak-bohan>

Автореферат разослан «10» октября 2024 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Антон Николаевич Гайдо

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования.**

Продолжительность строительных работ является главным фактором организационной подготовки проекта и осуществления строительства. Но, как показывает практика, при реализации строительных проектов окончания многих работ осуществляется с задержками и с этой проблемой сталкиваются все строительные компании мира, включая республику Ирак. В настоящее время в республике реализуется свыше 1770 инвестиционных проектов общей стоимостью около 53 миллиардов долларов. Однако, к данному моменту времени было завершено только 423 проекта, а сдача 1347 проектов перенесена либо на более поздний срок, либо на неопределенное время. В результате на ряде строящихся объектах произошла полная остановка работ, что существенно уменьшило число рабочих мест. Анализом установлено, что наиболее важной причиной, препятствующей завершению проектов, является наличие большого числа слабых и неопытных строительных компаний, которые сформировались в результате неэффективного планирования и контроля процесса их функционирования. При этом анализ задержек, связанных с планированием, показал, что сроки работ рассчитываются, преимущественно, на детерминированной основе, без наличия актуальных нормативов трудовых затрат и без использования адекватных оптимизационных методов организации, планирования и управления строительством. Поэтому в республике Ирак необходимо совершенствование методических основ организации строительства, в частности, за счет решения комплексной задачи, связанной с минимизацией задержек строительных работ при комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования хода строительства.

Решение поставленной задачи позволит перейти к адекватному календарному планированию, посредством совершенствования классических методов организации строительства и разработки новых, с учетом создания актуальной нормативной базы трудовых затрат в республике Ирак. Поэтому тема исследования, связанная с минимизацией задержек строительных работ при комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования можно считать актуальной.

### **Степень разработанности темы исследования.**

В основу настоящего исследования легли работы ведущих ученых, работающих над проблемами повышения надежности планирования строительного производства, в т. ч. календарного планирования. Среди них труды Афанасьева В. А., Седых Ю. И., Четыркин Е. М., Лапидус А. А., Топчий Д. В., Шрейбер А. К., Амбарцумян С. А., Верстов В. В., Юдина А. Ф., Казаков Ю. Н., Бирюков А. Н., Кабанов А. В., Болотина С. А., Лисичкин В. А.,

Воропаева В. И., Гусакова А. А., Голдрагта Э. М., Моселхи О. (O. Moselhi), П. Л. Алрек (P. L. Alreck), С. Филипс (S. Philips), З. Хейдуцки (Z. Hejducki), А. Казаз (A. Kazaz), Б. И. Аль Хадити (B. I. Al Hadithi), Х. Линд (H. Lind), П. Э. Д. Лав (P. E. D. Love), А. Эншасси (A. Enshassi), и др.

**Цель** исследования – состоит в научном обосновании возможности минимизации задержек строительных работ путем комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования для условий республики Ирак.

**Задачи** исследования:

1. Провести анализ современных организационных методов и задач, связанных с минимизацией задержек строительных работ, в частности, на основе анализа исполнительной документации и организации мониторинга строительства в республике Ирак.

2. Создать модель адекватных норм трудовых затрат на основе регенерации актуальных данных, фактически выполненных работ в республике Ирак.

3. Разработать оптимизационный поиск комплекса условий, выполнение которых ориентировано на компенсацию задержек отдельных работ и строительства в целом.

4. Разработать методику оптимального перераспределения накладных расходов, направленной на профилактику возникновения несвоевременности выполнения будущих работ.

5. Разработать адекватное распределение мер экономической ответственности из-за задержки работ отдельными исполнителями.

6. Разработать методику информационного инструментария, ориентированного на компенсацию задержек работ и связанную с ней оценку эффективности и представить практические примеры формирования графиков работ, компенсирующих задержки строительства в Ираке.

**Объект исследования** – является повышение организационно-технологической надежности, в качестве критерия которой использована минимизация задержек работ в процессе планирования и реализации строительного производства.

**Предмет исследования** – Методы календарного планирования и оперативного управления своевременным строительством зданий и сооружений, направленных на минимизацию задержек строительных работ.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности ВАК: 2.1.7. Технология и организация строительства, пункт 8 «Разработка новых и совершенствование существующих методов организационно-технологического проектирования» и пункт 10 «Разработка и оптимизация

форм управления строительным производством; обоснование и выбор рациональных организационных структур и методов управления в строительстве; развитие информационных технологий организации и управления строительством».

**Научная новизна** заключается в том, что:

1. Установлены основные факторы задержек строительства в Республике Ирак и выявлены значимые причины, приводящие к несвоевременному их выполнению.

2. Обосновано применение метода нейросетевого моделирования для выбора наиболее адекватных норм трудовых затрат на основе реальных статистических данных Ирака.

3. Разработан способ компенсации задержек выполненных строительных работ, основанный на совершенствовании метода неопределенных ресурсных коэффициентов.

**Теоретическая значимость** работы заключается в возможности применения результатов исследования для совершенствования методологии планирования в процессе оперативного управления строительным производством, что будет способствовать повышению его эффективности в республике Ирак, на основе развития информационных технологий и совершенствовании организации и управления строительством.

**Практическая значимость** работы заключается в возможности применения результатов исследования в республике Ирак за счет повышения качества строительства, влияющего на сокращении задержек строительства путем измерения степени неопределенности актуальных графиков строительства и оптимизации управления организации строительства, включающей также разработку методики распределения экономической ответственности за задержки в строительстве.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на различных конференциях.

**Методология и методы исследования** базируются на научных и исследовательских трудах российских и зарубежных авторов в области организации и управления строительством. В диссертационном исследовании использованы методы моделирования систем и их анализ, методы индукции, дедукции и аналогии, а также методы наблюдения и обработки экспериментальных данных.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты анализа современных организационных методов и задач, связанных с минимизацией задержек строительных работ, в частности,

на основе анализа исполнительной документации и организации мониторинга строительства в республике Ираке.

2. Модель адекватных норм трудовых затрат на основе восстановления актуальных данных, фактически выполненных работ в республике Ирак.

3. Методика оперативной компенсации задержек выполненных строительных работ, основанной на применении метода неопределенных ресурсных коэффициентов.

4. Алгоритм комплексного методического обеспечения минимизации задержек строительства объектов.

5. Практические примеры формирования графиков работ, компенсирующих задержки строительных работ для условий республики Ирак.

**Степень достоверности результатов** проведенных исследований обоснована применением исследований и российских и зарубежных ученых, анализе нормативных и статистических данных с помощью современных методов математического анализа с применением программного обеспечения; подтверждена нормативно-правовыми документами и методами, применяемыми при создании, планировании организационно-технологической документации строительных работ; обеспечена удовлетворительной сходимостью результатов практического применения в строительстве с результатами, полученными теоретико-аналитическими методами.

Сформулированные соискателем выводы и практические рекомендации могут быть использованы при оптимизации календарного планирования нового строительства, а также ремонта и эксплуатации существующих строительных объектов в Республике Ирак.

#### **Апробация результатов исследования:**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях:

1. XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction «The Formation of Living Environment», г. Ханой, Вьетнам, 2020 г.

2. III Всероссийская научно-практическая конференция «Организация строительного производства», г. Санкт-Петербург, 2021 г.

3. Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Технология и организация строительного производства», г. Санкт-Петербург, 2021 г.

4. LXXVI Научная конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – Строительство – Транспорт», г. Санкт-Петербург, 2022 г.

5. Национальная (Всероссийская) научно-техническая конференция «Перспективы современного строительства», г. Санкт-Петербург, 2023 г.

**Личный вклад соискателя** в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в непосредственном участии в формировании и обработке исходных данных, разработке и использовании методик исследований в области календарного планирования, анализа и применения современных программ календарного планирования и управления проектами при строительстве зданий и сооружений.

**Публикации:**

Материалы диссертационного исследования опубликованы в 12 печатных работах общим объемом 12,31 п.л., лично автором – 4,74 п. л., в т. ч. 9 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ.

**Внедрение научных результатов диссертации.** Результаты исследований в практической области подтверждаются: актом о внедрении Департамента строительства и проектов Университета Ди Кар и актом о внедрении компании «Анвар Аль-Рияд Дженерал Контракт Лимитед» в Республике Ирак.

**Структура и объем работы:**

Диссертационное исследование включает введение, 4 главы с выводами по каждой из них, заключение, список литературы и приложения. Объем диссертационного исследования составляет 174 страницы машинописного текста, включая 48 рисунков и 31 таблица. Список литературы состоит из 150 источников.

**Во введении** сформулирована и обоснована актуальность исследования и применения комплекса методов минимизация задержек строительных работ путем комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования для условий республики Ирак, раскрыта степень разработанности проблемы, поставлены цель и задачи исследования, указаны научная новизна, методология, а также теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.

**В первой главе** диссертации проведен анализ задач, связанных с задержкой выполненных строительных работ в Республике Ирак. Представлены различные схемы определения плановых и расчетных продолжительностей строительства, а также экономическая оценка актуальных графиков работ в процессе оперативного управления строительством. По результатам аналитического обзора современного состояния задержек в республике Ирак сформулирована общая цель и конкретные задачи по ее достижению.

**Во второй главе** диссертации представлены разработка и адаптация комплекса задач по расчету задержек строительства, распределения ответственности и профилактики причин несвоевременного исполнения работ. В ее состав вошли задачи, относящиеся к различным этапам реализации строительных проектов. Для совершенствования планирования длительностей работ необходима адекватная база трудовых затрат. В диссертации представлена экспресс-методика, позволяющая на основе реальных статистических данных по трудовым затратам и регрессионного аппарата, использовать особенности нейросетевого моделирования, выбирать наиболее адекватные нормативы трудовых затрат, разработанные в разных странах. Вместе с этим представлен материал, позволяющий на основе мониторинга оценивать качество управления строительством и на его основе оптимально перераспределять денежные ресурсы, связанные с накладными расходами на управление строительством.

В целом возникновение задержек строительных работ приводит к необходимости принятия мер экономической ответственности, которую необходимо распределить между исполнителями проекта. Для подобных случаев распределение соответствующей экономической ответственности предложено проводить согласно использования информации причин задержки.

**В третьей главе** диссертации представлен материал, ориентированный на поэтапную компенсацию задержки выполненных работ, основанную на применении метода неопределенных ресурсных коэффициентов. На основе его адаптации к решению задачи по оперативному управлению своевременностью строительства, преимущественно оптимизационно, выявляются те будущие задачи строительного проекта, выполнение которых должно быть интенсифицировано.

**В четвертой главе** диссертации представлены практические материалы и методики реализации комплексного планирования и оперативного управления, обеспечивающие минимизацию задержек строительства объектов. Все представленные модели реализованы в соответствующих программных продуктах, обеспечивающих комплексное календарное планирование хода строительства в республике Ирак.

**В заключении** изложены основные выводы по результатам диссертационной работы.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Результаты анализа современных организационных методов и задач, связанных с минимизацией задержек строительных работ, в частности, на основе анализа исполнительной документации и организации мониторинга строительства в республике Ираке.

Для получения оценок фактических задержек строительства в Ираке были проанализированы реальные данные по ряду строительных проектов, завершенных в стране за последнее десятилетие. Были рассмотрены данные, включающие запланированные и фактические графики работ, а также интервью с подрядчиками, работодателями и инженерами с целью выявления причин, которые привели к задержкам. Аналитический обзор выявил наличие 45 причин задержек, которые были классифицированы по группам, представленным на рисунке 1. В ходе исследования были выделены наиболее важные факторы, вызывающие задержки строительства в Республике Ираке.



Рисунок 1. Группы факторов задержки строительства в Ираке с процентами для каждой группы

В таблице 1 представлена ранжировка наиболее значимых факторов задержки строительства в Ираке:

Таблица 1. Ранжировка наиболее значимых причин задержки строительства

Причины Задержки:	Индекс важности (И) %	Ранг (R)	Группа
Факторы безопасности	50.35	1.	1
Недостаточное финансирование строительных проектов.	44.07	2.	2

Продолжение таблицы 1

Причины Задержки:	Индекс важности (И) %	Ранг (R)	Группа
Плохое планирование и составление графика проекта	43.65	3.	4-B
Отсутствие финансовых возможностей подрядчика	43.56	4.	4-C
Низкая квалификация, опыт и навыки технического персонала	38.65	5.	4-A
Политическое влияние	36.63	6.	1
Слабость технических предложений компаний, номинированных на строительство	36.47	7.	2
Контраст между проектными документами	35.62	8.	3
Слабость в документировании хода строительства	35.33	9.	4-B
Низкая производительность труда	34.94	10.	4-C

Было установлено, что после сравнения плановых и фактических графиков работ по изученным проектам показатель задержки строительства в Ираке в среднем составил 52%.

Для выяснения разницы между плановым и фактическим графиками строительства на основании исполнительных документов, имеющихся по некоторым проектам, на рисунке 2 показаны этапы работ, мониторинг которых проводился в ходе реализации строительства общежития для студентов в Ираке. Зелёная полоса представляет собой плановое расписание деятельности проекта, а синяя полоса – фактическое, вертикальные красные линии представляют этапы мониторинга, которые были выполнены в процессе строительстве.



Представленные фактические данные дают наглядное представление о задержках в строительных проектах Ирака и об отсутствии необходимых действий для компенсации задержек, что в итоге привело к их накоплению. Это связано с тем, что у строительной компании нет опыта планирования и составления графиков строительных работ, а также отсутствием у нее опыта в распределении ответственности между участниками строительства. Проблему задержек строительства в Ираке изучали многие исследователи, которые классифицировали факторы задержки и определили их значимость, а также разработали комплекс рекомендаций и предложений по их сокращению. В этих научных работах было обнаружено, что в Ираке нет конкретной методологии по уменьшению задержек путем совершенствования календарного планирования. Таким образом, существует вполне обоснованная необходимость разработки методов календарного планирования и управления своевременным строительством зданий и сооружений, опирающихся на современный инструментарий программ управления проектами.

## **2. Модель адекватных норм трудовых затрат на основе восстановления актуальных данных, фактически выполненных работ в республике Ирак.**

Для совершенствования планирования продолжительности выполнения работ необходима адекватная база трудовых затрат. Для их получения автором применена экспресс-методика, позволяющая на основе реальных статистических данных по трудовым затратам и регрессионного аппарата, использовать особенности нейросетевого моделирования, выбирать наиболее адекватные нормативы трудовых затрат, разработанные в разных странах.

Экспресс-методика, сводится к выполнению следующих процедур:

1. Определяется множество строительных объектов, на которых имеется исполнительная документация по выбранному виду работы.
2. По исполнительной документации для выбранного вида работы определяются затраты труда, связанные с единичным объемом выполненных работ, что соответствует значениям фактических трудовых затрат.
3. По принятой шкале, которая должна быть единой для всего множества объектов, оценивается фактическая обеспеченность работы ресурсами. С учетом выбора логистической функции и построения односторонней модели связь входов искусственного нейрона и его выхода  $-Y$  определяется следующим выражением.

$$y = \frac{1}{1 + \text{Exp}(-w_1x_1 - w_2x_2 - w_3x_3 - w_4x_4)} \quad (1)$$

где  $X1$  – оценка соответствия численного и квалификационного состава трудовых ресурсов их нормативным значениям;  $X2$  – оценка соответствия обеспечения рабочей силой машинами и оборудованием;  $X3$  – оценка обеспеченности трудового процесса конструкциями, материалами, изделиями и т. п.;  $X4$ , показывающий степень нейтрализации погодных условий в ходе производственного процесса. Представленные оценочные характеристики могут быть оценены только количественно на основе применения экспертных методов.

4. С учетом нормировки, определяемой формулой (2), формируется обучающий массив нормированных данных.

$$Li = \frac{Xi - \min Xi}{\max Xi - \min Xi} \quad (2)$$

5. Далее обучающий массив обрабатывается в нейронной сети, сформированной с учетом описанных выше характеристик, и в результате получают данные по аппроксимации зависимости трудовых затрат от условий их получения. Обучающий массив определяется 10 вариантами. Доступный диапазон вариантов соответствует минимальным требованиям для обеспечения репрезентативности данных, собранных в ходе разработки трудовых стандартов Финляндии RATU. Нормировка входных и выходных данных осуществляется по всему обучающему массиву, пример которого представлен в таблице 2.

Таблица 2. Пример обучающего массива, состоящего из 10 вариантов данных

Option number:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Workers $X_1$ .%	60	50	50	60	60	70	70	75	75	80
Machines $X_2$ .%	75	50	60	60	65	70	70	70	80	80
Materials $X_3$ .%	55	50	60	60	60	60	65	70	70	80
Weather $X_4$ .%	65	50	70	70	75	75	80	80	80	80
Standardization $X_1$	0.33	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.67	0.83	0.83	1.00
Standardization $X_2$	0.83	0.00	0.33	0.33	0.50	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00
Standardization $X_3$	0.17	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.50	0.67	0.67	1.00
Standardization $X_4$	0.50	0.00	0.67	0.67	0.83	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00
Y [person cm / cubic meter]	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.66	0.645	0.63	0.615	0.6
Standardization Y	1.00	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.00
Yield calculation – Y1	0.93	0.85	0.72	0.43	0.57	0.42	0.25	0.13	0.20	0.09

Продолжение таблицы 2

Option number:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yield calculation –Y2	0.93	0.81	0.68	0.35	0.56	0.40	0.23	0.16	0.19	0.14
Yield calculation –Y3	0.90	0.80	0.68	0.43	0.55	0.32	0.35	0.13	0.14	0.12

6. Заключительная часть регрессионного воспроизведение нормы трудовых затрат основана на процедуре экстраполяции, которая учитывает полную обеспеченность выполнения условий организации трудового процесса. На основании обработки представленных данных получено значение коэффициента вариации составило менее 2%, и этого вполне достаточно для определения норматива трудовых затрат. Следует отметить, что финские трудовые стандарты RATU имеют ограниченную погрешность в 10%.

Рассматривая практический результат предоставленной экспресс-методики, которая позволяет на основе реальных статистических данных по трудовым затратам, полученным в республике Ирак и математического аппарата, использующего регрессионные особенности нейросетевого моделирования, наиболее адекватно применять соответствующие нормативы, разработанные в других странах, в том числе по экспертным оценкам условий строительного производства.

### **3. Методика оперативной компенсации задержек выполненных строительных работ, основанной на применении метода неопределенных ресурсных коэффициентов.**

Данная методика относится к способам прямого воздействия управляющей системы на те работы, изменение параметров которых (ресурсы, связи, временные ограничения) приводит к непосредственной компенсации реальных задержек. Для выявления таких работ нами использовано совершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов. Основной особенностью предлагаемого совершенствования метода является использование симплекс алгоритма поиска базисного решения при отрицательных резервах времени уравнений, которые в совокупности представляют недопустимое базисное решение (НБР) для системы линейных уравнений, описывающих топологию календарного графика и ресурсно-временные ограничения. Полученные при этом отрицательные значения базисных переменных позволяют сформировать такие регулирующие воздействия, применение которых дает возможность формирования допустимого календарного графика с учетом неблагоприятных временных ограничений. Модули отрицательных резервов времени уравнений показывают, насколько нужно уменьшить продолжительности выявленных работ за счет увеличения соответствующего трудового ресурса. Для реализации

описанного подхода метод был автоматизирован с использованием макросов в Visual Basic 6.3 на основе семейства программ Microsoft Project.

Для линеаризации связи между продолжительностями и трудозатратами работ используются следующие уравнения:

$$T = \frac{Q}{R}. \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{R_{\max} - R}{R}, \quad (4)$$

$$T = T_{\min} + aT_{\min} \quad (5)$$

где  $T$  – директивная продолжительность проекта;  $Q$  – трудоёмкость;  $R$  – оптимизируемое число ресурсов;  $R_{\max}$  – максимальное число трудовых ресурсов;  $a$  – неопределенный ресурсный коэффициент.

#### 4. Алгоритм комплексного методического обеспечения минимизации задержек строительства объектов.

Для решения проблемы задержек в строительстве, представлена комплексная техническая рецептура в виде алгоритма, состоящий из комплекса способов, прямо и косвенно влияющих на минимизацию задержек строительных работ, которая представлена на рисунке 3.

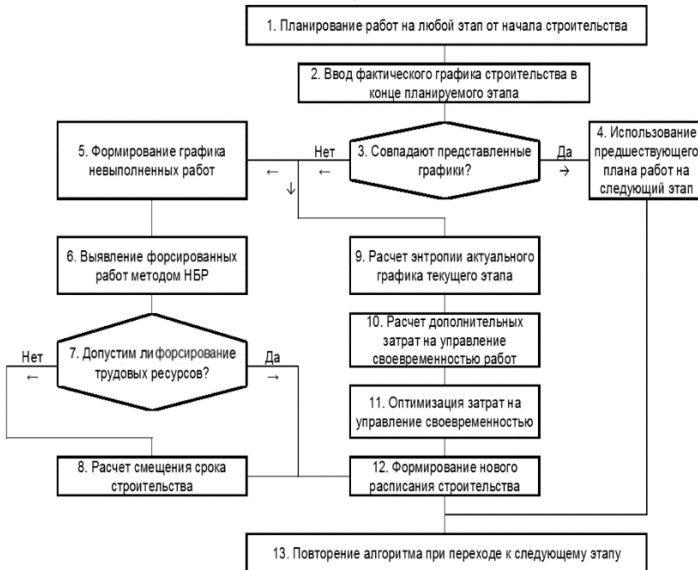


Рисунок 3. Алгоритм решения задачи совершенствования планирования, организации и оперативного управления, уменьшающего задержки строительства

Планирование и организация строительства осуществляются до выполнения работ на каждом этапе, что представлено блоком 1. На этом этапе совершенствуется планирование продолжительности работ, основанной на создании адекватной база трудозатрат, наличие которого косвенно влияет на минимизацию задержек строительных работ.

Далее, после фактического завершения рассматриваемого этапа 1 на основе проведения мониторинга устанавливаются параметры фактического графика строительства, что представлено блоком 2.

В блоке 3 осуществляется сравнение плана и факта его выполнения, и если имеется полное соответствие плана и факта, то тогда предыдущие планирование и организация строительства считаются удовлетворительными и не подлежат корректировке (см. блок 4), а алгоритм повторяется (см. блок 13) для следующего этапа.

Если полного совпадения графиков нет, то следом за блоком 3 параллельно выполняются две ветви. Первая ветвь включает в себя блоки 5, 6, 7 и 8, а вторая ветвь состоит из блоков 9, 10 и 11. Обе ветви заканчиваются формированием нового расписания строительства (см. блок 12), которое учитывает выявленные расхождения между планом и фактом реализации строительства на рассматриваемом этапе. В результате формируется новое расписание строительства, которое в свою очередь служит планом для следующего этапа, и поэтому через блок 13 осуществляется повторение описанных выше действий.

Первая ветвь – блоки 5–8, для решения задачи оперативного управления сроками строительства, адаптирован метод неопределенных ресурсных коэффициентов, который прямо влияет на минимизацию задержек строительных работ. В отставание, сформированное в блоке 5, входят задержки завершения предыдущей работы. Часто эти задержки приводят к тому, что строительство не может быть завершено своевременно, используя ранее запланированные ресурсы для выполнения оставшихся работ. Поэтому для остальных работ при определенных обстоятельствах потребуются дополнительные трудовые ресурсы. Для выявления таких рабочих мест использовали модификацию метода неопределенных ресурсных коэффициентов, описанную ранее, который основан на поиске недопустимого базового решения (НБР).

Параллельно во второй ветви алгоритма блоки 9–11, сформированы сведения, полученные в процессе мониторинга, что позволяет оценить качество управления строительством и на его основе оптимально перераспределить финансовые ресурсы, связанные с затратами на управление, и в свою очередь влияет косвенно на минимизацию задержек строительных



работ. При этом выделение дополнительных затрат на управление строительным производством оптимизируется путем измерения степени неопределенности актуальных графиков строительства и оптимизации управления организации строительства на основе расчета (индекса энтропии) выполненных работ на основе следующего уравнения.

$$\Delta S_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^{plan} \ln \left( \frac{t_i^{act}}{t_i^{plan}} \right)}{\ln 2 \cdot \sum_{i=1}^n t_i^{plan}} \text{бит}, \quad (6)$$

где  $i$  – индекс промежуточной работы календарного графика;  $n$  – общее число работ календарного графика;  $t_i^{plan}$  – плановая продолжительность  $i$ -й работы;  $t_i^{act}$  – фактическая продолжительность  $i$ -й работы.

На основе расчета прироста энтропии рассчитывается полезная активность управления  $A_{act}$  и, таким образом, оценивается управленческая активность по улучшению элементов накладных расходов, чтобы в дальнейшем позволит не допускать задержек работ.

$$A_{act} = 1 - \frac{S_{act}}{S_{pess}} \quad (7)$$

где  $A_{act}$  величина полезной активности управления строительством;  $S_{act}$  – энтропия работы фактической продолжительности;  $S_{pess}$  – энтропия работы пессимистической продолжительности.

В конце цикла мониторинга для косвенного воздействия на минимизацию задержек работ, в диссертации представлен практический подход к определению доли солидарной ответственности участников строительного производства за задержку строительства на основе адаптации байесовского подхода. Суть ее заключается в замене априорных вероятностей возникновения задержек выполнения отдельных работ на соответствующие значения абсолютных задержек.

В случае, если итоговое окончание строительства произошло с превышением запланированного срока сдачи объекта, то по данным исполнительного календарного графика можно определить фактические задержки отдельных видов работ и по ним определить доли солидарной ответственности за итоговую несвоевременность сдачи объекта, определяемую по формуле:

$$P_i = \frac{\tau_i^a c_i^a}{\sum_{i=1}^N \tau_i^a c_i^a}, \quad (8)$$

где  $T^a$ ,  $C^a$  – фактическое время задержки и стоимость  $i$  –  $N$  работы.

Особенностью косвенных способов управления своевременностью выполнения работ является профилактический характер их воздействия на минимизацию возможных задержек работ.

### 5. Практические примеры формирования графиков работ, компенсирующих задержки строительных работ для условий республики Ирак.

В качестве практического применения алгоритма решения задачи совершенствования планирования, организации и оперативного управления, рассмотрим график одного из проектов, реализуемый в Республике Ирак, представленный на рисунке 4.

Проект состоит из трёх зданий, общей площадью 3000 кв.м., директивная продолжительность строительства которого составляла 60 недель, стоимость проекта 7 млн. долларов США. Первый этап мониторинга, осуществлялся через 6 недель после начала строительства. На этом этапе установлено, что подготовительные работы на первом фронте выполнены на 100 %, а остальные на 0 %, что показано на рисунке 5.

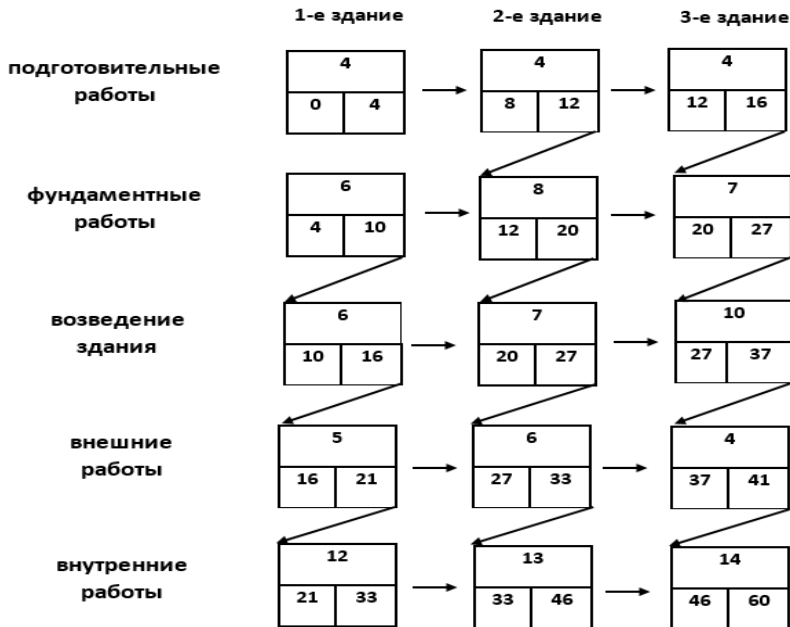


Рисунок 4. Планируемое расписание работ проекта

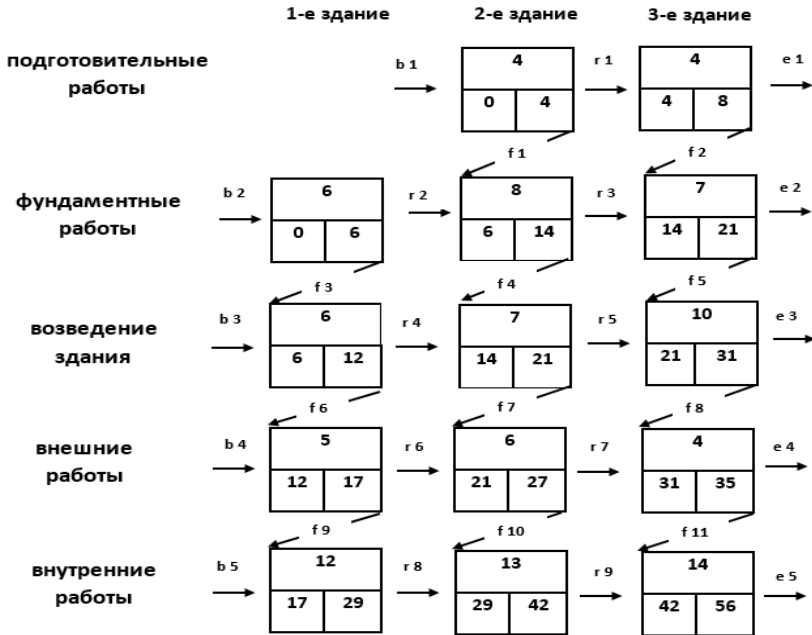


Рисунок 5. Расписание проекта через 6 недель после начала работ

Таким образом, директивная продолжительность остальных работ по плановому графику проекта составляет 54 недели, а расчетная продолжительность на момент мониторинга – 56 недель, что составило задержку в две недели.

Рассмотрим первую ветвь алгоритма, блоки (5–8), для немедленной компенсации задержки за счет увеличения ресурсов методом неопределенных ресурсных коэффициентов.

Используя заданную директивную продолжительность, составлена система уравнений (4), описывающих организационно-технологическую схему, показанную на рисунке 5:

$$\begin{aligned}
1) & b_1+8a_1+r_1+e_1=46 \\
2) & b_2+21a_2+r_2+r_3+e_2=33 \\
3) & b_3+23a_3+r_4+r_5+e_3=31 \\
4) & b_4+15a_4+r_6+r_7+e_4=39 \\
5) & b_5+39a_5+r_8+r_9+e_5=15 \\
6) & b_1+4a_1+15a_2+f_1+r_3+e_2=35 \\
7) & b_1+8a_1+7a_2+f_2+r_1+e_2=39 \\
8) & b_2+6a_2+23a_3+f_3+r_4+r_5+e_3=25 \\
9) & b_2+14a_2+17a_3+f_4+r_2+r_5+e_3=23 \\
10) & b_2+21a_2+10a_3+f_5+r_2+r_3+e_3=23 \\
11) & b_3+6a_3+15a_4+f_6+r_6+r_7+e_4=33 \\
12) & b_3+13a_3+10a_4+f_7+r_4+r_7+e_4=31 \\
13) & b_3+23a_3+4a_4+f_8+r_4+r_5+e_4=27 \\
14) & b_4+5a_4+39a_5+f_9+r_8+r_9+e_5=10 \\
15) & b_4+11a_4+17a_5+f_{10}+r_6+r_9+e_5=26 \\
16) & b_4+15a_4+14a_5+f_{11}+r_6+r_7+e_5=25
\end{aligned} \tag{9}$$

В программе *MS Project* с помощью макроса реализована предложенная оптимизация метода МНРК в виде метода получения недопустимого базисного решения. Решение системы уравнений (4) позволил установить НБР, анализ которого показал, что одна базисная переменная имеет отрицательное значение.

$$b_2+6a_2+6a_3+5a_4+39a_5+f_3+f_6+f_9+r_8+r_9+e_5=-2 \tag{10}$$

Отрицательное значение связи  $b_2 = -2$  указывает на необходимость корректировки расписания работ. По данному результату лицо принимающее решение (ЛПР) может сократить выявленную задержку, максимально увеличив соответствующие ресурсы. Результаты расчета, представленные в таблице 3, показывают, что для компенсации задержки необходимо увеличить каждый ресурс в соответствии со ставками и затратами. Затем результаты сравнивались с суммой штрафов за задержку строительства, которая составила 58324 долл. В итоге для уменьшения задержки лучше всего увеличить второй или третий или пятый ресурс, после чего план строительства будет обновлен.

Таким образом, рассчитанный массив возможных увеличений ресурсов позволяет выбирать оптимальное регулирующее воздействие, направленное на нейтрализацию задержки.

Таблица 3. Мониторинг результатов после 6 недель начала работы

сумма задержки ( $d$ )= 2 н.		
вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
$R_2$	50 %	26 250 долл.
$R_3$	50 %	29 808 долл.
$R_4$	66 %	88 957 долл.
$R_5$	5,4 %	23 515 долл.

Учтем вторую ветвь алгоритма – блоки (9-11). Этот раздел отвечает за оценку работы управления путем расчета роста энтропии выполненной работы на основе данных, полученных в процессе мониторинга, плановый (оптимистический) – 4 недели, пессимистический – 10 недель и фактический – 6 недель.

Расчет по уравнению (6) показал, что фактическая энтропия работы после 6 недель с начала работы равна 0,58 бит, энтропия работы пессимистической продолжительности 1,32 бит.

Расчет по уравнению (7) показал, что полезная активность управления получилась равной всего лишь  $A_{act} = 0,56$ , значение, обратное к этой величине, равно 1,78 и показывает, во сколько раз нужно увеличить затраты на управление, чтобы в дальнейшем не допускать задержек работ.

Далее определяем элементы, которые привели к задержке, с помощью данных из ежедневного журнала работ. На основании этих данных установлено, что причины задержки: задержка в подготовке строительной площадки и временных сооружений; отсутствие инженерной консультации; плохое планирование и составление графика проекта. Следовательно, для улучшения управления требуется увеличить затраты по этим элементам в 1,78 раз, а соответствующее абсолютное увеличение равно 14 300 долларов США.

На заключительном этапе процедуры мониторинга к лицам, ответственным за задержку строительства, применяются штрафные санкции в качестве превентивной меры. На основе информации, представленной в журнале проекта, в таблице 4 показаны причины задержек, лица, ответственные за задержки, а также объем задержек по каждому человеку.

Таблица 4. Причина задержки и лицо, ответственное за задержку

Значени задержки	Причина задержки	Лицо, ответственное за задержку
8 дней	Задержка в подготовке строительной площадки и временных сооружений	Субподрядчик № 1
4 дней	Отсутствие инженерной консультации	Субподрядчик № 2
2 дня	Плохое планирование и составление графика проекта	Руководитель проекта

Так как штраф за задержку в день в проекте равен 4166 долл. можно определить фактические задержки отдельных видов работ и по ним определить доли солидарной ответственности за итоговую несвоевременность сдачи объекта, определяемую по формуле (8). В таблице 5 рассчитана доля ответственности за задержку для каждого лица, участвующего в строительстве.

Таблица 5. Доли ответственности за задержку денежных средств

Ответственный	Коэффициент задержки	Стоимость Задержка (долл.)	Доля ответственности	Пеня доля (долл.)
Субподрядчик № 1	0,57	28 500	0,25	14 868
Субподрядчик № 2	0,28	67 200	0,6	35 057
Руководитель проекта	0,14	16 100	0,14	8 399
Сумма		111 800		58 324

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного диссертационного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Аналитический обзор показал, что задержки строительных проектов – это проблема, с которой сталкиваются все строительные компании мира, что также является характерной проблемой для республики Ирак, в котором средняя задержка строительных проектов превышает план на 52%, а реальные данные мониторинга строительства показывают, что строительные компании Ирака редко соблюдают графики строительства и не предпринимают серьезные шаги по сведению к минимуму задержек строительстве.

2. Одной из причин несвоевременного выполнения работ является отсутствие нормативной базы трудозатрат, которую можно исправить за счет разработанной экспресс-методики, позволяющее на основе реальных статистических данных по трудовым затратам и нейросетевого моделирования, выбирать наиболее адекватные нормативы трудовых затрат, разработанные в разных странах.

3. Другая причина несвоевременной сдачи объектов в эксплуатацию связана с отсутствием адекватной методики распределения соответствующей экономической ответственности, для распределения которой можно

применить байесовский подход, используя при этом данные исполнительных графиков работ, формируемых на заключительной стадии строительства.

4. Установлено, что плохое управление ходом строительства связано с неадекватным распределением соответствующих статей накладных расходов. Предложено в качестве меры неэффективного управления использовать значение прироста путем измерения степени неопределенности актуальных графиков строительства и оптимизации управления организации строительства, определяемой из данных по планируемому, фактическому и пессимистическому расписаниям работ, и на этой основе определять индекс увеличения управленческих затрат, которые для предотвращения задержек в будущем можно оптимально перераспределять по актуальным статьям накладных расходов.

5. Предлагаемое усовершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов основано на формировании недопустимого базового решения, которое помогает определить работы, которые могут нейтрализовать задержки в строительстве в дальнейшем и при этом показано, что нейтрализация задержек строительства может решаться разными способами, окончательный выбор варианта нейтрализации связан с конкретным состоянием строительства, оценка которого лежит на должностных лицах, принимающих решения.

6. С целью внедрения программного обеспечения оперативного управления, позволяющего сократить задержки строительства, был создан макрос на языке Visual Basic for Application в программе управления проектами Microsoft для автоматизации разрешения временных конфликтов, возникающих в ходе строительства.

## **СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в журналах, включённых в перечень ВАК**

1. Бохан Х. А. Регрессионная оценка норм затрат труда на основе нейросетевого моделирования / Ю. Б. Хошнав, С. А. Болотин, Х. А. Бохан // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 3(80). – С. 127–133. (0,88 п. л.)

2. Бохан Х. А. Метод неопределенных ресурсных коэффициентов и системная коррекция временных конфликтов в календарных графиках / С. А. Болотин, Х. А. Бохан, А. Х. Дадар, Х. В. Биче-оол // Недвижимость: экономика, управление. – 2021. – № 4. – С. 53–58. (0,7 п. л.)

3. Bohan H. Scheduling work under integrated urban development using the method of uncertain resource coefficients / S. Bolotin, H. Bohan, A.-K. Dadar,

Kh. Biche-ool // *Architecture and Engineering*. – 2021. – Vol. 6. Iss. 4. – P. 34–41 (0,93 п. л.)

4. Бохан Х. А. Прикладные аспекты энтропийного показателя оценки актуального графика строительства / С. А. Болотин, Х. В. Биче-оол, Х. А. Бохан, Н. К. Р. Хурейни // *Вестник гражданских инженеров*. – 2022. – № 4 (93). – С. 65–72. (1 п. л.)

5. Бохан Х. А. Прогнозирование окончания строительства на основе моделирования нелинейной зависимости от задержек отдельных работ / С. А. Болотин, М. А. Аль-Жанаби, Х. А. Бохан // *Вестник гражданских инженеров*. – 2022. – № 2 (91). – С. 83–90. (1 п. л.)

6. Бохан Х. А. Формирование оптимизированного расписания строительства при комплексном освоении территории / С. А. Болотин, А. Х. Дадар, Х. А. Бохан, Х. В. Биче-оол // *Недвижимость: экономика, управление*. – 2022. – № 1. – С. 49–57. (1,05 п.л.)

7. Бохан Х. А. Нейтрализация запаздываний работ на основе анализа графиков строительства, сформированных методом неопределенных ресурсных коэффициентов / С. А. Болотин, Х. А. Бохан // *Вестник гражданских инженеров*. – 2022. – № 1 (90). – С. 48-54 (0,88 п. л.)

8. Бохан Х.А. Совершенствование планирования, организации и оперативного управления, направленное на уменьшение задержки строительства в Республике Ирак / Х. А. Бохан // *Вестник гражданских инженеров*, 2023. – №1 (96). – С. 67-79 (1,63 п. л.)

9. Bohan H. A. Regression rationing of labor costs based on the estimation of their actual values by neural network modelling [Регрессионная оценка норм затрат труда на основе нейросетевого моделирования] / Kh. Y. V. Hussein, S. A. Bolotin, N. Q. R. Huraini, H. A. Bohan // *Vestnik MGSU*. – 2023. – Vol. 18, No. 4. – P. 638-650. (1,51 п. л.)

#### **Статьи в других печатных изданиях**

10. Haitham Bohan. Algorithm for neural network regeneration of labor costs based on the assessment of relevant construction data. / Yousif Babakr Hussein Khoshnaw, Sergey Bolotin & Haitham Bohan // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 869 (2020) 062003 IOP Publishing. P. 34–41. – Doi:10.1088/1757-899X/869/6/062003 (0,93 п. л.)

11. Бохан Х. А. Интерактивное формирование графика поточной застройки градостроительного комплекса / С. А. Болотин, Х. В. Биче-оол, Х. А. Бохан, А. Х. Дадар // *Организация строительного производства: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции*. – СПб.: СПбГАСУ, 2021. – С. 3–17. (0,87 п. л.)



12. Бохан Х. А. Система контроля качества во избежание задержек строительства из-за переделок. / Х. В. Биче-оол, Х. А. Бохан // Технология и организация строительного производства: материалы всероссийской молодежной научно-практической конференции. – СПб.: [б. и.], 2021. – С. 3–10. (0,93 п. л.)

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 13.09.2024. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 120 экз. Заказ 107.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А



