Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук,
профессор С.А. Болотин

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ ПО МИНИМИЗАЦИИ ЗАДЕРЖЕК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ 10

1.1 Анализ фактических задержек строительных работ в республике Ирак 10

1.2 Исполнительная документация и организация мониторинга строительства в республике Ирак 26

1.3 Нормативное и правовое обеспечение организационно-технологического проектирования строительства 36

1.4 Планирование, мониторинг и оперативное управление строительством в программах управления проектами 39

1.5 Современные методы, подходы и принципы, используемые в календарном планировании строительства 48

1.6 Выводы по первой главе 53

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ УЧЕТА ЗАДЕРЖЕК СТРОИТЕЛЬСТВА, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ И ПРОФИЛАКТИКИ ПРИЧИН НЕСВОЕВРЕМЕННОГО ИСПОЛНЕНИЯ РАБОТ 55

2.1 Обобщенная схема решения комплекса задач по минимизации задержек строительных работ 55

2.2 Разработка модели регенерации адекватных норм трудовых затрат, основанной на применении метода нейросетевого моделирования 58

2.3 Определение меры экономической ответственности за задержки работ и байесовский подход в распределении штрафов 69

2.4 Выводы по второй главе 78

ГЛАВА 3 КОМПЕНСАЦИЯ ЗАДЕРЖКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ 80

3.1 Оптимизационный поиск комплекса условий, выполнение которых ориентировано на компенсацию задержки строительства 80

3.2 Практические примеры формирования компенсационных графиков работ при реализации строительных проектов в Ираке..... 91

3.3 Выводы по третьей главе..... 100

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ, СВЯЗАННЫХ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, НАПРАВЛЕННОГО НА МИНИМИЗЗАЦИЮ ЗАДЕРЖЕК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ 101

4.1 Алгоритм комплексного методического обеспечения минимизации задержки строительства объектов 101

4.2 Практическая методика реализации оптимизационного расчета в программах управления проектами 106

4.3 Практический пример проекта, использующего разработанную методику сокращения задержек строительства в республике Ирак 112

4.4 Выводы по четвертой главе..... 121

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 122

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 124

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 139

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 143

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 173

ВВЕДЕНИЕ

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 сет 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., Голдратта 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.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ЗАДАЧИ ПО МИНИМИЗАЦИИ ЗАДЕРЖЕК СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

1.1 Анализ фактических задержек строительных работ в республике Ирак

Известно, что продолжительность строительных работ является главным фактором на всех этапах проектной, плановой и организационной подготовки и осуществления строительного проекта [1]. Часто при реализации строительных проектов работы идут медленнее, чем планировалось, в результате чего возникают задержки. Эти задержки обычно появляются уже на начальном этапе строительных проектов, например, при подготовке генеральных планов или концептуального проектирования, получения разрешения на строительство и т. д. Как следствие, сам процесс строительства откладывается уже на этом этапе [2, 3].

Ход строительства определяется множеством факторов, которые можно спрогнозировать еще до этапа реализации строительства. Однако существуют факторы, которые приводят к задержкам строительства, которые трудно предвидеть на этапе планирования, например, погодные условия или задержки, вызванные поставщиками. Риск непредвиденных событий, задерживающих завершение работ, присущ даже тщательно подготовленным и организованным проектам [4, 5].

Некоторые факторы вызывают общую задержку строительного проекта, например, которые относятся к ответственности подрядчика, или к ответственности собственника или консультанта. Из-за перекрывающегося характера событий трудно определить, какая сторона или стороны несут ответственность и какие составляющие задержки вызывают [6].

Была предложена разбивка [7] для определения степени влияния факторов задержки внутри следующих выделенных групп: подрядчик; проектировщик и

консультанты; инвестор; финансы; график работ; отношения между участниками; правила; непредсказуемые обстоятельства.

В работе [8] коэффициенты задержки были разделены на 7 групп. Они классифицировались следующим образом: факторы окружающей среды; финансовые факторы; трудовые факторы; управленческие факторы; факторы, связанные с собственником; проектные факторы; ресурсные факторы. «Факторы, связанные с собственником» были наиболее часто встречающейся группой причин задержек строительства после исследования, проведенного в 16 странах, как показано на рисунке 1.1.

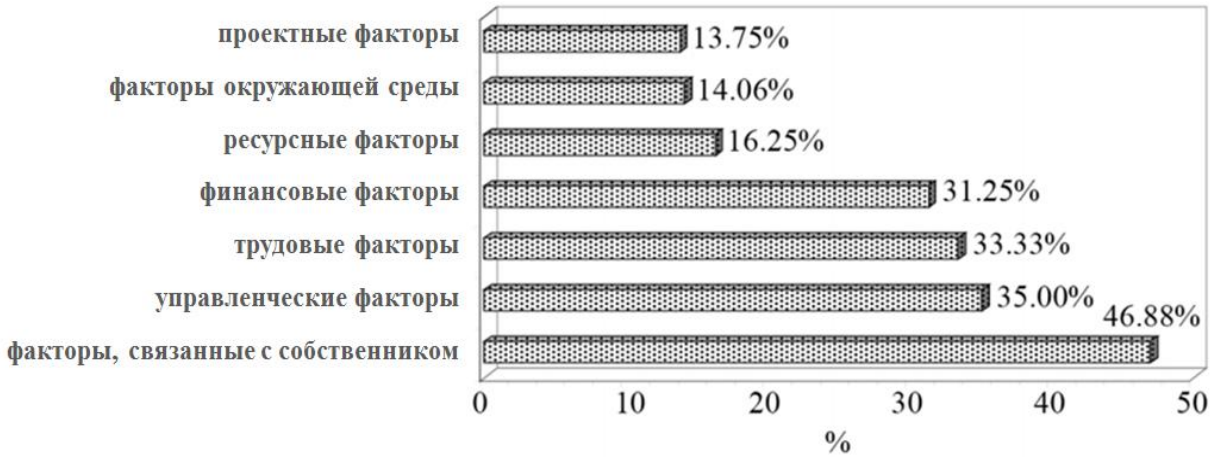

Рисунок 1.1. Процент комбинаций факторов, вызывающих задержки в 16 странах

Многие исследователи проанализировали задержки в строительстве и по-разному определили их причины. Все согласны с тем, что задержка — это увеличение продолжительности проекта относительно даты, согласованной в контракте или графике. Опубликовано много статей и исследований по выявлению и анализу причин задержки в разных странах.

Категория анализа задержек в литературе сосредоточена на методах анализа задержек. Одним из примеров является исследование [9], где были изучены три процесса измерения задержки, а именно: (1) запланированный метод; (2) Метод исполнения; и (3) Модифицированный заводской метод. Эти процедуры использовались для измерения воздействия задержки с использованием

компьютеризированного анализа метода критического пути (CPM), выполненного по действительным графикам строительства. Результаты показывают, что значения задержек непредсказуемы и что один метод расчета нельзя использовать повсеместно. Однако в конкретных обстоятельствах один метод расчета может быть более эффективным, чем другой.

В [10] Рассмотрели 18 методов анализа задержки. Исходя из этого, они создали 6 предложений, которые можно использовать при разработке идеального метода снижения задержки. Одним из методов анализа, используемых в данной работе, является разделение критического пути на временные интервалы и моделируются частично построенные критические пути.

Причины задержки могут различаться в разных регионах в зависимости от характеристик строительной отрасли, а также правил и положений в регионе, где реализуется проект. Результаты группы исследований, посвященных проблеме задержек строительства в разных странах, показывают, что тяжесть воздействия различных причин задержки зависит от региона, в котором ведется строительство [11]. Например, в Турции [8] были изучены причины превышения сроков в турецкой строительной отрасли и уровни их важности. Выделены 34 фактора, вызывающие превышение сроков реализации строительных проектов. Кроме того, к 71 строительной компании Турции был применен анкетный опрос, результаты которого оценивали посредством статистического анализа. Согласно результатам, преобладающим фактором были «конструктивные и материальные изменения», за которыми следовали «просрочка платежей» и «проблемы с движением денежных средств». Что касается уровней значимости групп факторов, финансовые факторы оказались первой группой, а факторы окружающей среды - наименее эффективными.

В Польше [4] было проведено исследование, в котором приняли участие польские инвесторы в строительство. Целью данного исследования является выявление и оценка факторов, вызывающих задержки строительства в Польше. Двенадцать факторов были оценены как важные. Инвесторы считали, что наиболее существенным фактором, повлиявшим на задержку строительных работ, были

ошибки в проектной документации. Еще один фактор касался качества рабочей силы и плохих погодных условий. Фактор отсрочки платежа подрядчику был одним из самых редких. Факторный анализ помог выделить три основных скрытых фактора задержки строительных работ: 1-й фактор, связанный с деятельностью и пренебрежением, 2-й фактор, связанный с проблемами инвестора, и 3-й фактор, связанный с внешними обстоятельствами.

В трех географических регионах: Южная и Юго-Восточная Азия, Ближний Восток и Африка провел [12] тщательный обзор литературы с использованием метода контентанализа. Была собрана соответствующая литература из 28 развивающихся стран. В этих регионах выявлено 53 потенциальных причины задержки. Частота и ранжирование этих факторов были тщательно проанализированы. Такие факторы, как задержка оплаты владельцем, проблема с движением денежных средств подрядчиков, ненадлежащее планирование и составление графиков, неэффективное управление площадкой и изменение порядка, внесенного владельцем во время строительства, признаны критическими причинами задержки в развивающихся странах.

В России [13] приведена экономико-математическая модель для аналитического расчета потерь эффективности инвестиций в АЭС при задержках их ввода в эксплуатацию. В качестве основных причин задержки названы недостаточная численность персонала необходимой квалификации, неточная оценка временных и финансовых ресурсов, ошибки персонала, задержки в поставках оборудования, некачественные строительно-монтажные работы, выявление и устранение неточностей в проектировании и оборудовании. Исследователь установил, что задержка коммерческой эксплуатации атомных электростанций приводит к задержке получения доходов, что в конечном итоге снижает эффективность инвестиций. Неадекватное управление проектом считается основным фактором, способствующим задержке.

Для предотвращения задержек наиболее эффективное решение заключается в выявлении основных причин и затем поиске решений по снижению риска их возникновения. Анализ фактических задержек выполнения работ можно

осуществить путем понимания процесса реализации проекта и факторов, влияющих на задержку [1]. Исходя из этого, различные исследователи пытались выяснить причины задержки в определенных регионах. Примером таких исследований является исследование [11] в США, в котором наиболее частые причины были определены с помощью всестороннего обзора литературы. Затем был проведен общенациональный опрос для оценки относительной критичности причин задержки. Анализ собранных данных с использованием метода индекса относительной важности показал, что 30 факторов были определены как важные. Например, распоряжения об изменениях, бюрократия и ошибки проектирования.

Некоторые специалисты провели сравнительное исследование способов реализации строительства, чтобы избежать задержек, где [14] провел сравнение между параллельным проектированием и традиционным методом (генподрядном). Результаты исследования показали, что традиционный метод дает более положительные результаты во избежание задержек в строительстве. Он указал, что причины задержки связаны с основной причиной: неправильным выбором управленческих решений.

Задержки систематически анализировались несколькими исследователями. Они [15] использовали в качестве основы сравнение между запланированным и действующим графиком, поскольку эта информация формирует основу для разрешения претензий и споров между заинтересованными сторонами. В своей работе Сан и Мэнг [16] провели всесторонний обзор литературы. Полученные результаты показывают, что выявление задержек преимущественно осуществляется на основании имеющейся документации реализованных проектов.

В [17] произведена оценка классического метода критической цепи, используемая при планировании объектов строительства, предложен адаптированный алгоритм метода критической цепи, надежность которого оценена с помощью статистических испытаний, в т.ч. реализованных в программе MS Project. Установлено, что использование предложенного алгоритма для данного метода позволяет повысить вероятность своевременного прогнозирования завершения строительства.

Задержки строительных проектов - проблема, с которой сталкиваются все строительные компании мира. Для Ирака это также является большой проблемой. Крайне редко строительные проекты реализуются в сроки, указанные в контракте, особенно после 2003 году (по причине объективных обстоятельств в стране, которые привели к негативным последствиям для общества и экономики).

Один из исследователей в области анализа факторов, способствующих задержкам строительства в Ираке, [18] провел проверку 9 крупных завершенных строительных проектов в Ираке, где определил процентное соотношение задержек для этих проектов. Также было выделено 42 фактора причин перерасхода времени по четырем основным ответственным сторонам (владелец, консультант, подрядчик и другие) и проанализировано с использованием метода индекса относительной важности. Подрядчик был наиболее популярным источником или инициатором превышения сроков. Было обнаружено, что задержка в некоторых проектах достигла вдвое большего срока, указанного в контракте, а в одном из этих проектов - 319% от первоначального периода (данные представлены в таблице 1.1).

Таблица 1.1. Показатели задержки для выборки строительных проектов в Ираке

Проект	Исходный срок контракта (дни)	Время задержки	% задержек от первоначального срока контракта
A	455	(840)	84%
B	410	(480)	17%
C	365	(1530)	319%
D	420	(1260)	200%
E	240	(660)	175%
F	450	(720)	60%
G	365	(820)	120%
H	240	(720)	200%
I	270	(700)	160%

За последние два десятилетия тема анализа задержек в строительстве привлекла к себе большое внимание в Ираке, где задержки были проанализированы в ряде исследований, проведенных некоторыми специалистами:

В работе [19] Они провели анкетирование по 78 возможным причинам, чтобы выяснить основные причины задержки строительных проектов в Ираке. Причины задержки были проанализированы с использованием индекса частоты и индекса важности, чтобы оценить влияние каждой причины. Наиболее важными факторами, вызывающими задержку, были факторы, связанные с владельцем – их процент составлял 48,4%. За этим следовали факторы, связанные с подрядчиком (30,6%), внешние причины (1,29%) и, наконец, факторы, связанные с официальными правилами и инструкциями (0,8%). Был сделан вывод об 11 наиболее значительных факторах, вызывающих превышение сроков реализации строительных проектов в Ираке.

[20] провел исследование, чтобы определить основные причины задержек, влияющих на общественные работы в Ираке. В ходе обзора литературы и пилотного исследования 65 причин задержки были идентифицированы и объединены в четыре группы: причины, связанные с подрядчиком, консультантом, клиентом и внешними причинами. Индексы частоты, серьезности и важности были использованы для ранжирования последствий каждой причины задержки. Был сделан вывод, что наиболее воздействующими факторами задержки, влияющими на превышение графика строительных проектов в Ираке, являются факторы, связанные с работодателем и подрядчиком, при этом было выявлено 11 основных причин задержек.

В статье [21] проблема задержки строительства изучалась путем анализа данных шести строительных проектов в Ираке. Кроме того, был проведен анкетный опрос групп инженеров, имеющих опыт работы в строительной отрасли, для выявления основных причинных факторов задержки. Результаты этого исследования определили сорок восемь ключевых факторов, вызывающих задержки в строительных проектах Ирака. Было отмечено, что процент факторов задержки, связанных с подрядчиком, составил 23,3%, клиентом - 19,5%,

проектировщиком- 10,7%, контрактом- 8,6%, материалами- 13,9%, оборудованием- 1,9%, рабочей силой- 6,1% и другими внешними факторами- 15,9%. Исследователи пришли к выводу, что 10 основных факторов задержки являются наиболее важными для задержки строительства в Ираке.

В работе [22] наиболее важные причины задержки были определены путем оценки общих причин задержек с точки зрения частоты, серьезности и важных показателей при реализации проектов государственного строительства в провинции Эрбиль (один из северных города Ирака). Данные собраны путем анкетирования различных сторон, участвующих в реализации проектов общественного строительства. Для этого зафиксировано 104 причины задержки. Факторы задержки, связанные с владельцем, ранжируются от высокого индекса важности к более низкому (44,95–24,8%), факторы, связанные с консультантом (27,92–21,04%). Факторы, связанные с подрядчиком, являются наиболее частыми (52,78–32,66%). Последним источником задержек, связанных с внешними условиями, стали погодные условия 44,68%. В ходе исследования выяснилось, что 10 основных причин являются наиболее важными факторами задержки строительства.

[23] Было проведено исследование десяти больниц в разных городах Ирака. Индексы частоты, серьезности и важности были определены для 77 факторов задержки, разделенных на десять категорий в зависимости от этапов проекта. По результатам исследования, источник проблем с задержками связан с контрактными процессами, в которых шесть контрактных факторов входили в десятку основных факторов, влияющих на проекты в Ираке.

Чтобы получить приблизительную величину задержек строительства в Ираке и их причин, проанализированы данные 20 строительных объектов на юге Ирака, проводились в течение последнего десятилетия, общей стоимостью около ста пятидесяти миллионов долларов. Были исследованы документы данных проектов и графики работ, а также проведены интервью с инженерами-надзирателями и исполнителями с целью выявления причин, которые привели к увеличению

календарного планирования в строительстве, после сравнения плановых и фактических графиков работ.

Анализ данных проводился в два этапа:

Первый этап: Проведение статистического анализа имеющихся данных по проектам. Выявление критических факторов, вызывающих превышение сроков.

Второй этап: изучение влияния факторов, вызывающих превышение сроков выполнения проектов, на общую продолжительность их реализации.

Первый этап: был проведен статистический анализ фактически записанных данных по тридцати проектам, изученным в данном исследовании; метод индекса относительной важности (RII) был использован для ранжирования критических факторов, вызвавших превышение сроков.

Первый шаг: были отмечены 45 фактических работников, вызвавших задержки, причины задержки были собраны в 4 группы, Аналитический обзор показал, что существует достаточно большое количество оснований для классификации факторов задержки внутри определенных групп, но предлагаемое разделение на 4 основных группа в дополнение к разделению факторов задержки, связанных с подрядчиком, на три подгруппы, на наш взгляд, наиболее последовательные. В соответствии с целями и задачами данного исследования, это:

Группа 1: Внешние факторы задержки;

Группа 2: Факторы, связанные с консультантами;

Группа 3: Факторы, связанные с работодателем;

Группа 4: Факторы, связанные с Подрядчиком, разделенных на 3 подгруппы:

A- Факторы, связанные с распределением ответственности между участниками строительства

B- Факторы, связанные с планированием и составлением графиков.

C- Факторы, связанные с распределением ресурсов между работами, как представленные на рисунке 1.2:

Рисунок 1.2. Группы факторов задержки в строительстве

Второй шаг: Рейтинг критичности факторов, которые вызывают превышение сроков. Вес каждого из факторов, вызывающих увеличение сроков строительства, был получен путем расчета стандартного веса. Стандартный вес конкретного фактора определялся путем увеличения расписания, вызванного этим фактором, деленным на общее увеличение в расписании, вызванное объединенными факторами в рамках одного проекта, как показано в уравнении (1.1) ниже:

$$W = \frac{t}{Tt} \tag{1.1}$$

Где W – стандартный вес каждого фактора,

t – величина увеличения расписания, вызванная одним из факторов в данном проекте.

Tt – увеличение общего календарного планирования одного и того же проекта.

Использовалось уравнение (1.2):

$$RII = \frac{\sum W}{N\ (1)} \quad (0 \leq RII \leq 1) \tag{1.2}$$

Где RII – Индекс важности ,

N – количество изученных проектов

Третий шаг: Анализ данных и интерпретация результатов. После того, как данные были проанализированы и определен рейтинг критичности, сделан вывод, что первые 10 факторов являются критическими факторами, которые приводят к увеличению планирования во время процесса строительства и, таким образом, значительно влияют на общее планирование строительства проекта.

Рейтинг факторов, вызывающих задержку в Ираке, в приложении 1.

В таблице 1.2 показана ранжировка важности первых 10 факторов:

Таблица 1.2. Ранжировка важности первых 10 факторов задержки строительства

Причины Задержки:	Индекс важности (II) %	Ранг (R)	Группа
Факторы безопасности	50.35	1.	1
Недостаточное финансирование строительных проектов.	44.07	2.	2
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 обнаружено, что процент важности причин, связанных с подрядчиком, составляет 43% от общих факторов задержки. Кроме того, факторы задержки,

относящиеся к подгруппе (A): процент важности составляет 26% от факторов задержки, связанных с подрядчиком, что требует разработки методологии для распределения ответственности между участниками строительства во избежание задержки строительных работ в Ираке. Это одна из задач, которая будет решаться для достижения целей исследования.

Факторы задержки, относящиеся к подгруппе (B): процент важности составляет 41% от факторов задержки, связанных с подрядчиком. Эти факторы были собраны под заголовком «Факторы, связанные с планированием и составлением графиков» из-за их прямой или косвенной связи с факторами, связанными с вероятностным планированием и составлением графиков, такими как недостаточный сбор данных и полевые исследования до начала строительства, слабость аспекта документации, плохое планирование и составление графиков из-за использования традиционных методов планирования и неспособности устранить потенциальные задержки, что требует разработки методологии количественных параметров и учета качества управления при составлении вероятностных графиков, а также предложения соответствующего алгоритма для прогнозирования потенциальных задержек и разработки соответствующих планов по их предотвращению, что является одной из задач для достижения основной цели исследования.

Факторы задержки, относящиеся к подгруппе (C): процент важности 33% от факторов задержки, связанных с подрядчиком. Эти факторы были собраны под заголовком «Факторы, связанные с распределением ресурсов между строительными работами» из-за его прямой или косвенной связи с факторами, связанными с ресурсами и их распределением на строительные работы, такими как неадекватный процесс, отсутствие высокотехнологичного оборудования, отсутствие распределения строительных материалов и отсутствие финансовых возможностей у компаний, работающих в строительстве, что требует срочной разработки методологии для сокращения задержек строительства путем перераспределения ресурсов между строительными работами, что является одной из задач, которые будут предприняты для выполнения исследования цели. Рисунок

1.3 показывает Процент факторов задержки строительства, связанных с группами подрядчика.

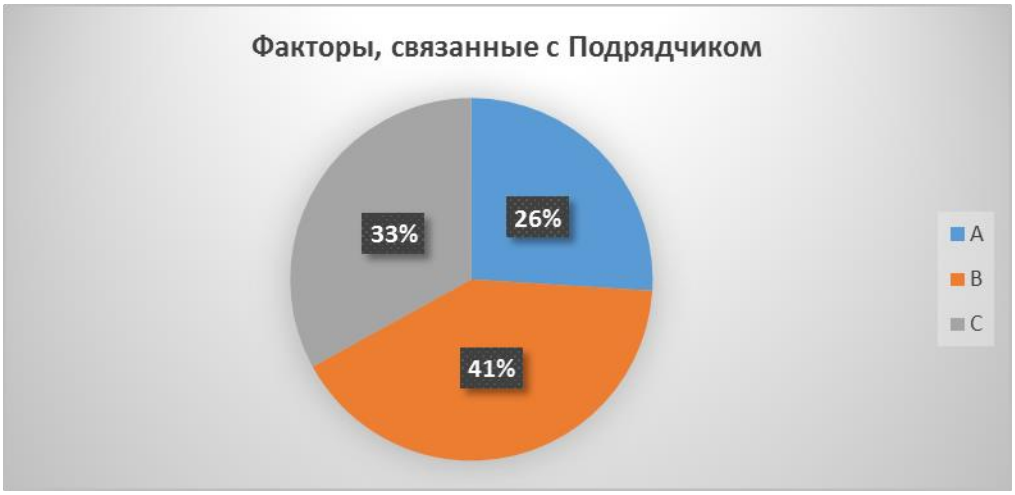

Рисунок 1.3. Процент факторов задержки строительства, связанных с группами подрядчика

Что касается процент важности «Причин, связанных с работодателем» – 24%, группа «Причины, связанные с консультантами» – 14%, а процент важности группы «Внешние факторы задержки» составляет 16%, как показано на рисунке 1.4.

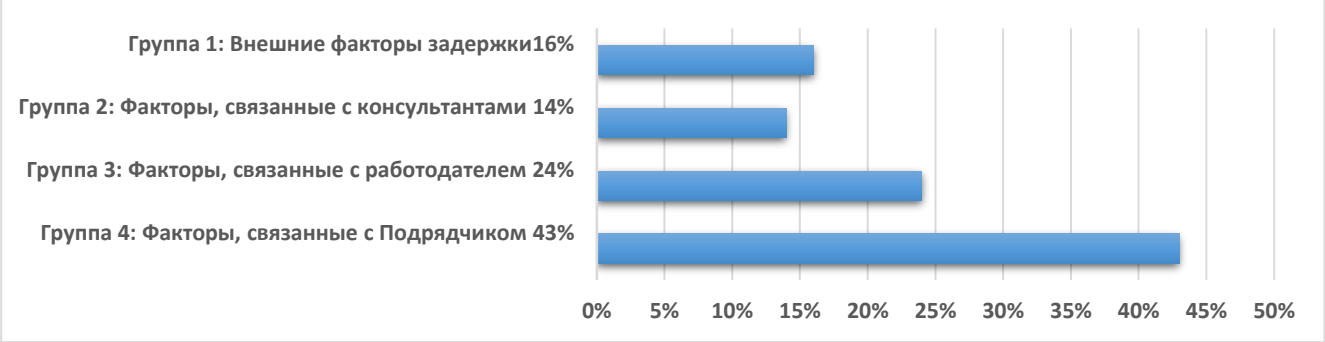

Рисунок 1.4. Процент факторов четырех групп, вызывающих задержки строительства в Ираке

Второй этап: в таблице 1.3 показаны запланированная и фактическая продолжительность изучаемых проектов, а также процент общего увеличения продолжительности из-за факторов задержки, влияющих на строительство в Ираке.

Общая плановая продолжительность всех проектов достигла 6 681 дня, а общая фактическая продолжительность – 10 168 дней. В результате имеем среднюю задержку 52%.

Таблица 1.3. Общее процентное увеличение продолжительности строительных проектов в Ираке из-за задержек

Проект	Планируемая (дней)	Фактическая (дней)	Проект	Планируемая (дней)	Фактическая (дней)
A.	420	712	B.	120	235
C.	900	720	D.	366	366
E.	180	400	F.	300	300
G.	540	1077	H.	240	240
I.	240	732	J.	360	667
K.	300	403	L.	360	547
M.	480	813	N.	90	286
O.	155	248	P.	240	385
Q.	540	1053	R.	300	320
S.	400	459	T.	150	205
Сумма				6681	10168
Среднее значение приращения задержки:			52%		

Реальные данные, которые были изучены, дают четкое представление о продолжающихся задержках в строительных проектах Ирака. Было обнаружено, что задержки в некоторых проектах составили более чем вдвое увеличение первоначального периода строительства, а подрядчик являлся крупнейшей стороной, ответственной за задержки в составлении графика, так как они, в первую очередь, были связаны с нехваткой у компании опыта планирования и составления графиков строительных работ, а также с отсутствием опыта в распределении ответственности между участниками строительства и распределении ресурсов между работами.

Проанализировав предыдущие исследования, связанные с задержками строительства в Ираке, мы обнаружили, что исследователи не разработали конкретную методологию для уменьшения задержки путем улучшения календарного планирования или научных методов с помощью имеющихся инженерных программ. Таким образом, существует обоснованная необходимость разработки методов планирования и управления своевременным строительством зданий и сооружений. совершенствования классических методов и применения новых, требующих повышения надежности строительства в организационно-технической сфере с точки зрения повышения эффективности календарного планирования, опирающегося на современный инструментарий программ управления проектами.

Одной из частых причин задержки строительства являются погодные условия. Утверждения «климатические условия очень трудно предсказать и спланировать заранее», «прогнозы погоды страдают от неопределенности», знакомы многим исследователям. Поэтому не должно показаться странным, что климат и погодные условия часто называют одной из основных причин задержек в реализации проектов и внеплановых изменений [24]. К климатическим факторам, которые чаще всего относятся к источникам значительных отклонений проекта от базового графика, относятся экстремальный холод, осадки, жара и ветер [25]. В связи с этим необходимо подробно рассмотреть фактические климатические условия в Ираке для дальнейшего исследования. Рассматривая климат Ирака, мы можем обратить внимание на крайне знойное лето, температура в тени достигает до 50 °C и выше. Отдельно стоит отметить повышенную сухость на всей территории страны, климатическим фактор является наличие сильного ветра «шамаль», который поднимается с севера. В зимнее время климатические условия в Ираке благоприятные. В северных районах температура в ночное время суток опускается ниже нуля, иногда идет снег. Есть и районы с влажным климатом, благодаря продолжительным дождям с ноября по апрель, включает все регионы Ирака. В исследованиях, проведенных иракскими исследователями для анализа причин задержек строительства, они указали только два фактора, связанных с

погодными условиями, которые приводят к остановке строительных работ: дождь и высокие температуры. После статистического анализа, результаты которого показаны в приложении 1, фактор (погодные условия) в первой группе «внешние факторы задержки», имеет ранг 25, индекс важности 18.13%. Поскольку эти индикаторы показывают, что факторы задержки, связанные с погодными условиями, являются важными факторами, влияющими на ход строительных работ, поэтому эта проблема будет решаться путем повышения качества управления, определяющееся уровнем разработки организационно-технологической документацией, которая регламентирует процесс строительства в пространстве и во времени.

С другой стороны, переделка это одна из проблем, стоящих перед строительством, которая упоминается как одна из важных причин, приводящих к превышению графика строительства и увеличению затрат [26, 27, 28]. Современные исследования [29, 30, 31] показали, что переделки являются одной из основных причин превышения графика в строительстве.

Переделок может быть результатом множества факторов, таких как отсутствие строительных навыков, низкое качество работ, несоответствие проектирования и строительства, нехватка ресурсов и нехватка времени [32].

В одном из исследований, проведенных в Канаде в области планирования и составления графиков строительства [33], был сделан вывод: из-за переделок время, затрачиваемое на строительные проекты, увеличивается на 2,61%; В [34], переделки привели к задержке некоторых строительных проектов на 10–77% от первоначальной продолжительности строительства; В пилотном исследовании [35], проведенном в Гонконге по недавним строительным работам стоимостью 60–290 миллионов долларов США, перерасход графика составил 8–57% от первоначального периода из-за переделок; В исследовании, проведенном в Нигерии, где в городе Абуджа были реализованы два проекта, было установлено, что переделки привели к увеличению первоначального периода строительства на 28,55% [36]. В статистическом анализе, результаты которого показаны в приложении 1, фактор (переделок) на объектах строительства в Ираке в четвертой

группе «Факторы, связанные с Подрядчиком», имеет ранг 20, индекс важности 21.41%.

1.2 Исполнительная документация и организация мониторинга строительства в республике Ирак

По своей сути задержки в строительстве связаны с неадекватным выполнением основных функций управления, таких как планирование, организация, контроль и регулирование [37]. Основная задача процесса контроля — это сравнение объема запланированных работ с фактическими значениями выполнения. На основании строительного мониторинга можно определить расхождение временных характеристик фактических и планируемых продолжительностей работ на момент времени проведения мониторинга [37, 38].

Для выяснения разницы между плановым и фактическим графиками строительства при мониторинговых операциях на основании исполнительных документов, имеющихся по некоторым проектам в Ираке. Для примера рассмотрим проект – А, один из проектов в одном из университетов на юге Ирака, который был завершен в течение последнего десятилетия, его стоимость составила 9 млн. долл. США, директивная продолжительность Td – 60 недель. На рисунке 1.5 показано подробное сравнение запланированного и фактического графиков строительных работ для проекта А. зелёная полоса представляет собой плановое расписание деятельности проекта, а синяя полоса – фактическое.

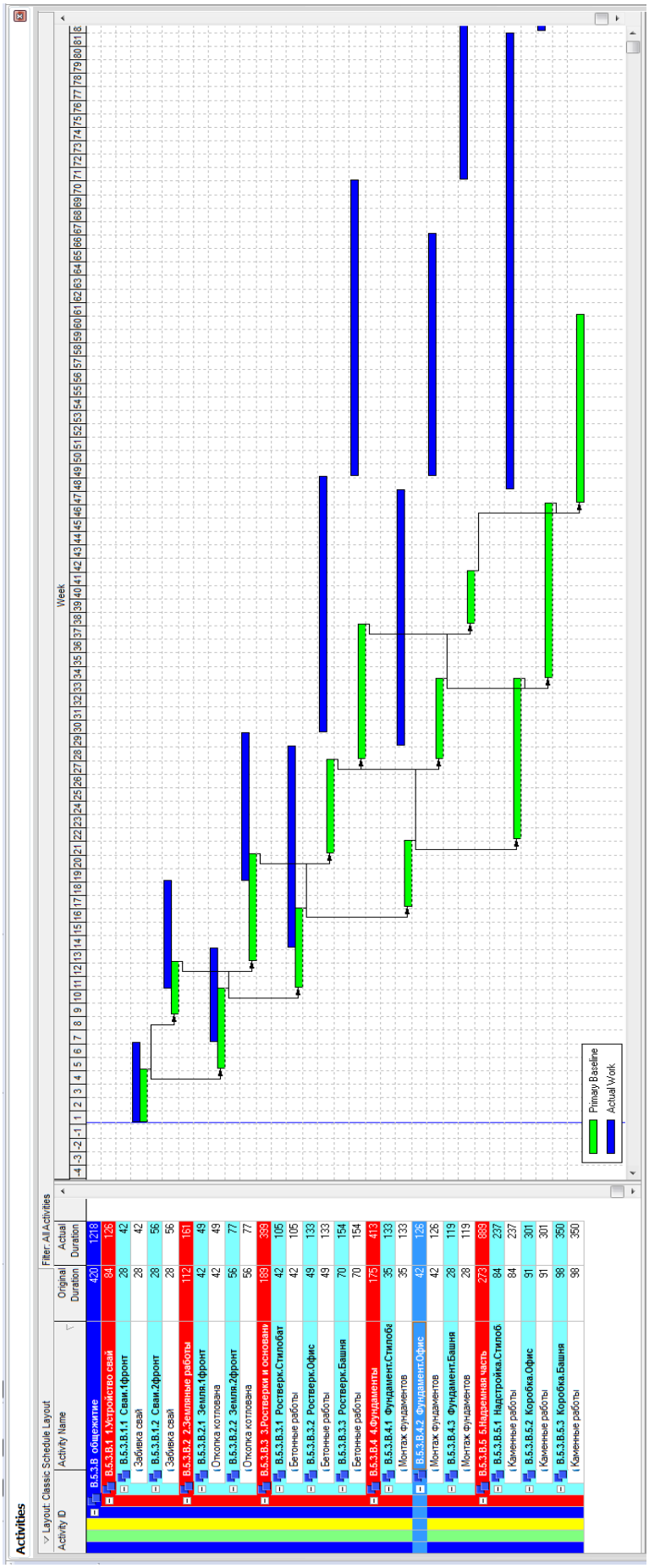

Рисунок 1.5. Плановый и фактический график строительства по объекту А

На рисунке 1.6 представлены процедуры мониторинга через шесть недель после начала строительства, Оказалось, что первый фронт первого вида работ был выполнен на 100%, а остальные - на 0%. После сравнения планового продолжительность с фактическим выяснилось, что работы на первом фронте задерживали на две недели. Анализ показал, что фактическая завершенность строительства составляет 6% против запланированных 10%. Таким образом, для сохранения директивной продолжительности (Td), Td=60 недель, все оставшиеся работы нужно выполнить за 54 недель, однако, при запланированных длительностях работ на их выполнение потребуется 56 недель. С учетом фактически выполненных работ расчетный прогноз окончания (расчетная продолжительность Тр) увеличен до Тр=62 недель (Тр>Td).

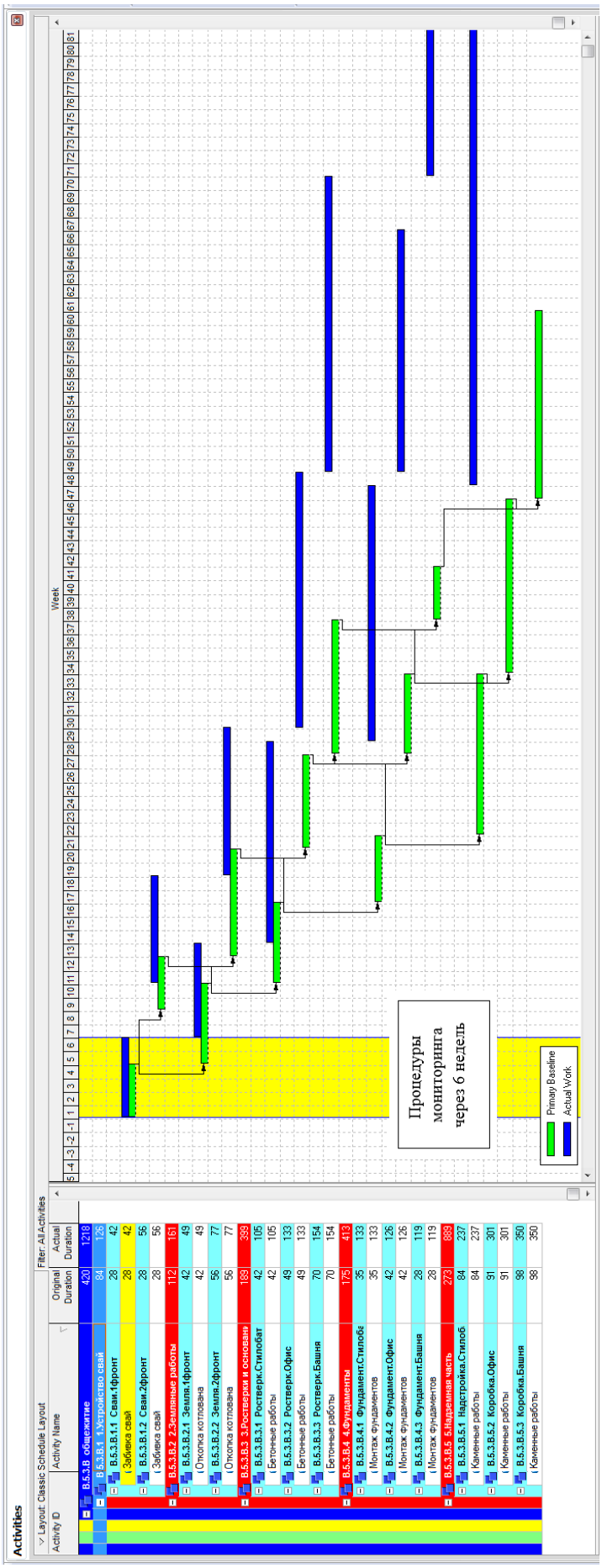

Рисунок 1.6. Мониторинг через 6 недель (10%)

На рисунке 1.7 представлены процедуры мониторинга через 12 недель с начала строительства. Было установлено, что второй фронт первого вида работ достиг степени завершения 25%, в то время как первый фронт второго вида работ достиг уровня завершения 85%, а остальные фронты остались на уровне 0%. После сравнения планового продолжительность с фактическим выяснилось, что произошла задержка в три недели. Анализ показал, что фактическая завершенность строительства составляет 15 % против запланированных 20 %. Таким образом, для сохранения директивной продолжительности Td=60 недель, все оставшиеся работы нужно выполнить за 48 недель, однако, при запланированных длительностях работ на их выполнение потребуется 51 недель. С учетом фактически выполненных работ расчетный прогноз окончания увеличен до Tp=63 недель (Tp>Td).

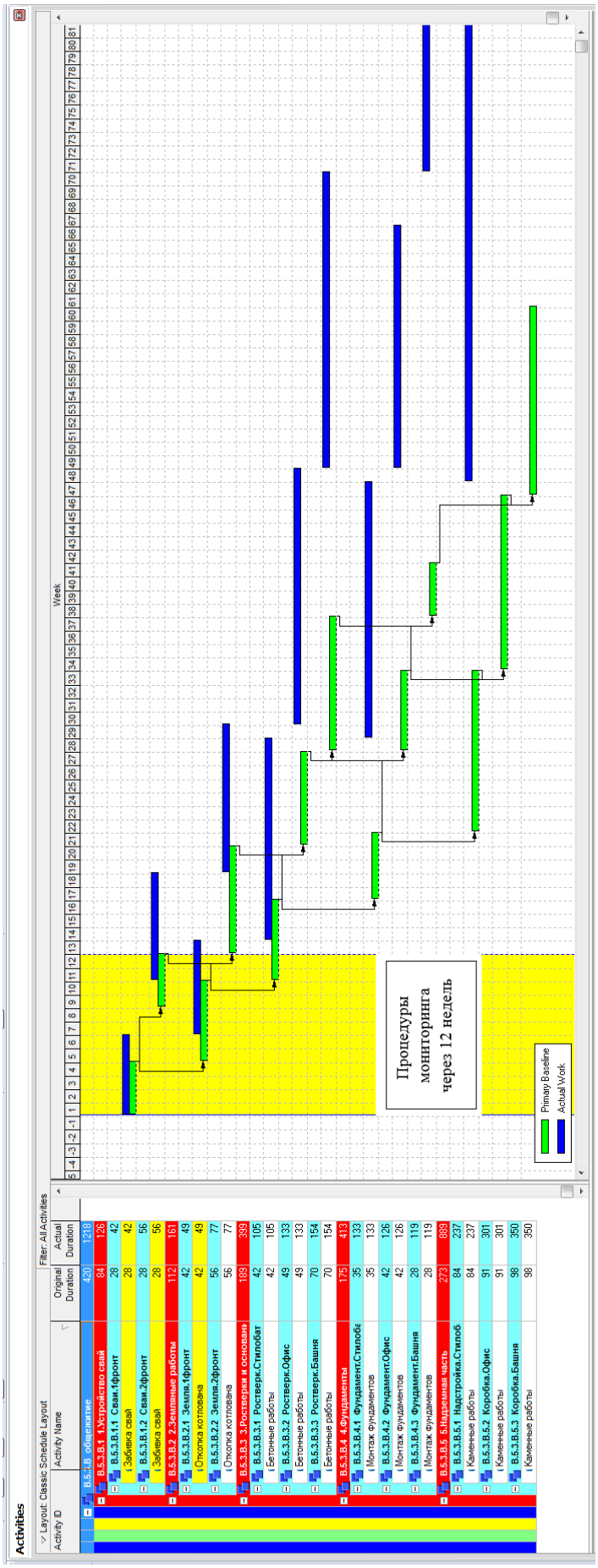

Рисунок 1.7. Мониторинг через 12 недель (20%)

На рисунке 1.8 представлены процедуры мониторинга через 18 недель с начала строительства было установлено, что второй фронт первого вида работ завершен на 100%, первый фронт второго вида работ авершен на 100%, в то время как первый фронт третьего вида достиг уровня завершения 33%, а остальные фронты остались на уровне 0%. После сравнения планового продолжительность с фактическим выяснилось, что произошла задержка в 6 недель. Анализ показал, что фактическая завершенность строительства составляет 20 % против запланированных 30 %. Таким образом, для сохранения директивной продолжительности Td=60 недель, все оставшиеся работы нужно выполнить за 42 недель, однако, при запланированных длительностях работ на их выполнение потребуется 48 недель. С учетом фактически выполненных работ расчетный прогноз окончания увеличен до Tp=66 недель (Tp>Td).

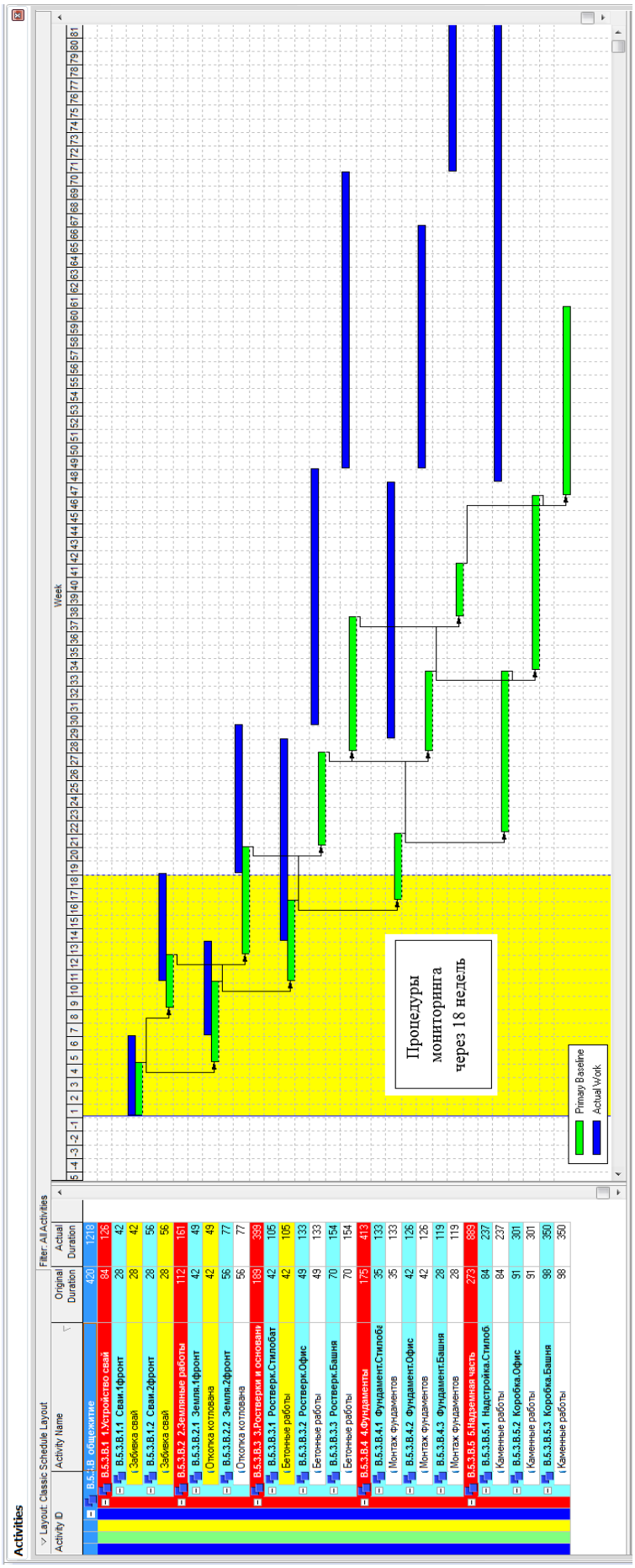

Рисунок 1.8. Мониторинг через 18 недель (30%)

На рисунке 1.9 представлены процедуры мониторинга после периода строительства в 30 недель был сделан вывод, что первоначальные пять фронтов были полностью завершены, при этом второй фронт третьего типа был завершен всего на 0,05%, а остальные фронты остались на уровне 0%. После сравнения планового продолжительность с фактическим выяснилось, что произошла задержка в 13 недель. Анализ показал, что фактическая завершенность строительства составляет 28 % против запланированных 50 %. Таким образом, для сохранения директивной продолжительности Td=60 недель, все оставшиеся работы нужно выполнить за 30 недель, однако, при запланированных длительностях работ на их выполнение потребуется 43 недель. С учетом фактически выполненных работ расчетный прогноз окончания увеличен до Tp=73 недель (Tp>Td).

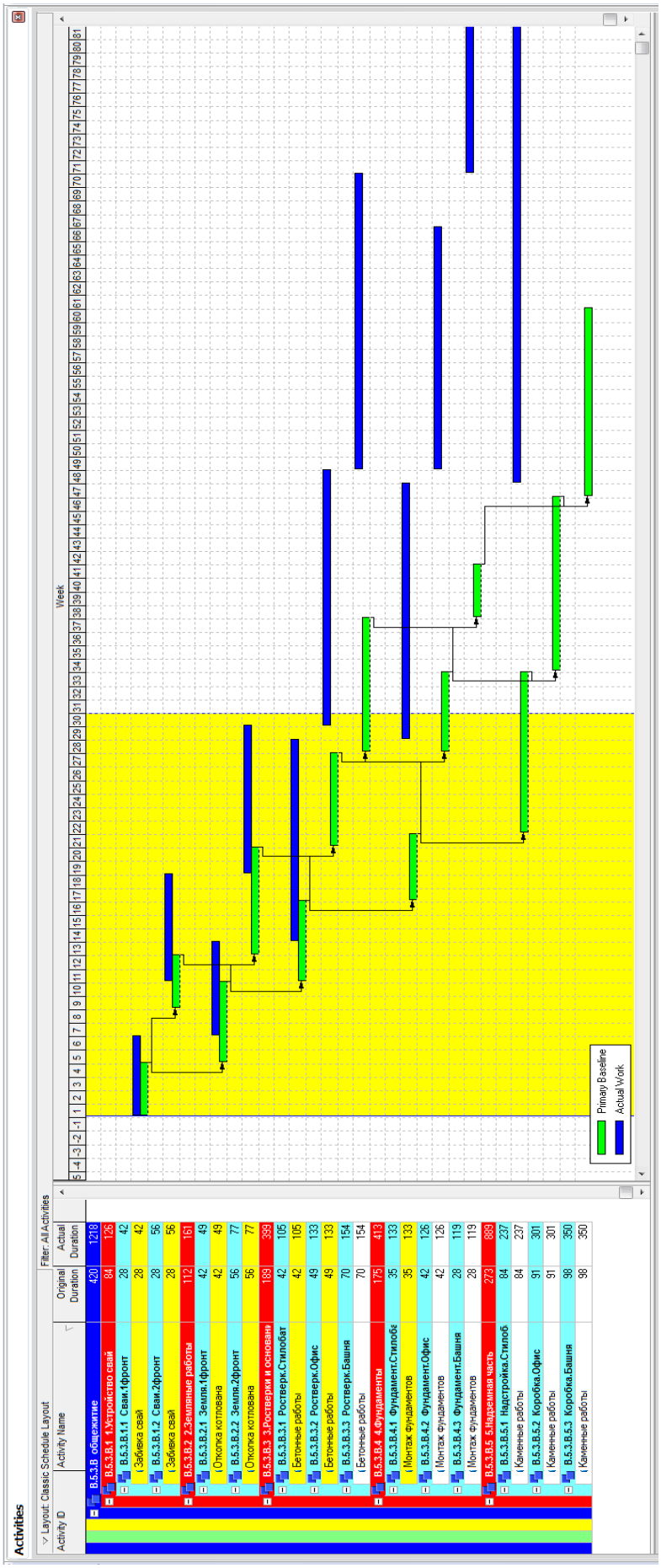

Рисунок 1.9. Мониторинг через 30 недель (50%)

Реальные данные, которые были изучены, дают четкое представление о продолжающихся задержках в строительных проектах Ирака. Не было реальных немедленных решений для решения проблемы задержки, что привело к накоплению задержек в работах. Эти факторы являются следствием того, что большинство местных иракских компаний (частный сектор) являются недавно созданными компаниями после 2003 года. Большинству этих компаний не хватает опыта в управлении строительством, в дополнение к тому факту, что большинство компаний страдают от финансового дефицита из-за представления к торгам в суммах, несоизмеримых с реальной стоимостью реализации и слабость в планировании и составлении графиков строительства.

1.3 Нормативное и правовое обеспечение организационно-технологического проектирования строительства

Проблема задержек строительных работ носит комплексный характер особенно в Ираке, затрагивая различные аспекты строительной деятельности. Организация строительства является важнейшей областью строительной деятельности. Компании должны комплексно проектировать организационные и технические процессы в соответствии с международными требованиями управления проектами. Правильный подход оказывает влияние на своевременное выполнение строительных работ и на конечную стоимость реализации проекта [1, 39].

Первые требования к управлению строительством появились в 1906 году на первом кодексе, и были призваны обеспечивать нормы и требования пожарной и конструктивной безопасности. Сегодня этот кодекс имеет название Основной/Национальный Кодекс Зданий или Basic/National Building Code. Кроме строительных кодексов при строительной деятельности учитываются нормы,

которые относятся к сооружениям других подотраслей, например, сооружения транспортного назначения.

Существуют стандарты на материалы, детали и конструкции. Они предполагают установку уровня качества изделий. Этим занимаются специальные ассоциации. Несмотря на то, что они формально не имеют юридической силы, их критерии и нормы используют авторитетные организации.

Заключительным видом норм, рассматриваемым в рамках нормативного обеспечения проектирование строительства, как с точки зрения организации, так и с точки зрения технологии, являются нормы OSHA (Закон о безопасности и гигиене труда), которые контролируют проектирование с учетом техники безопасности и гигиены [40].

В ходе разработки проектно-строительной деятельности вырабатываются определенные представления о свойствах строительного объекта и их взаимосвязях. Эти идеи документируются в виде чертежей, чертежей, схем, математических уравнений и т.п. и в дальнейшем реализуются в виде рабочих производственных процессов и строительных проектов. Использование копий объектов, схем, формул для изучения свойств объекта называется моделированием [41].

Строительство зданий и сооружений предполагает использование организационно-технологических моделей (ОТМ) в рамках организационно-технологического проектирования (ОТП). (ОТМ) включает модели, иллюстрирующие производственные процессы, связанные со строительством. Эти модели обеспечивают формальное представление организации и технологий, используемых в строительстве зданий. В результате они являются незаменимым ресурсом для эффективного планирования и организации строительного производства [41].

В сфере архитектуры, проектирования и строительства (AEC) недавно появились революционные технологии и процессы, известные как информационное моделирование зданий (BIM), которые привели к значительным преобразованиям в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий [42].

Хотя истоки BIM можно проследить до исследований параметрического моделирования, проведенных в конце 1970-х и начале 1980-х годов в США и Европе, только в середине 2000-х годов индустрия AEC по-настоящему начала включать BIM в свои проекты [43].

С технологической точки зрения, информационная модель здания BIM служит комплексным моделированием проекта, охватывая трехмерные модели компонентов проекта и предоставляя ссылки на всю соответствующую информацию, касающуюся планирования, проектирования, строительства или эксплуатации проекта [44].

BIM изменил способ проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Использование BIM привело к повышению рентабельности, снижению затрат, лучшему управлению временем и улучшенным отношениям между клиентом и клиентом [45].

С другой стороны, Государственные органы разных уровней установили многочисленные нормативные акты, которые необходимо соблюдать при реализации строительных проектов. Эти правила включают строительные нормы и правила зонирования, экологические нормы, законы о лицензировании и строительные нормы и правила. Основная цель этих кодексов – управлять строительной деятельностью и обеспечивать сохранение здоровья и безопасности населения путем обеспечения соблюдения минимальных стандартов качества строительства. Осуществляется эта цель совместно с правилами зонирования и остальными документами, регламентирующими деятельность в области строительства [40].

Возведение объекта предполагает выполнение определённого перечня работ: осуществление различных видов инженерных изысканий; подготовка технико-экономического обоснования; разработка проектно-сметной документации, а именно архитектурного проектирования, конструкторское проектирование, проектирование организации строительства на различных этапах возведения; работы по подготовке и комплектации объекта; возведение сооружения и т.д.

Рассмотренные этапы по подготовке и реализации проектов строительства говорят нам о широкомасштабности строительного процесса, что подразумевает большое число участников и многообразие процессов и правовых норм, регулирующих строительную деятельность [46].

Объект управления строительных организаций – это рассматриваемые задачи организационных методов управления строительством, разработка положений, которые определяют состав организационно-подготовительных мероприятий и способы их реализации [46].

Наличие эффективного управления структурой юридического лица обеспечивает хороший строительный блок для эффективного управления. Совершенствование процессов и внедрение новых технологий позволяет внутренним ресурсам сосредоточиться на стратегических вопросах бизнеса, экономя время, снижая риски и управляя расходами.

Рассмотрев процесс организации и управления строительством, мы можем сделать вывод, что эта деятельность включает в себя огромное множество этапов и факторов, которые необходимо учитывать в процессе реализации проекта, с учетом соответствия всем правовым нормам конкретной страны как Ирак. Изменение правительственных постановлений или их несоблюдение может привести к организационным или юридическим проблемам, которые приведут к задержке хода строительных работ, что требует принятия последующих мер в связи с обновлениями государственных постановлений, касающихся строительства.

1.4 Планирование, мониторинг и оперативное управление строительством в программах управления проектами

График проекта обычно состоит из иерархии выполняемых работ - оценки ресурсов, необходимых для выполнения задач, продолжительности и усилий, затрачиваемых на выполнение этих задач, и затрат, понесенных при выполнении

работы. В инструментах планирования, таких как Microsoft Project, Primavera и Project Expert иерархия работ, известная как иерархическая структура работ (WBS), может быть легко разработана и, таким образом, создавать легкое управление работой. Эти инструменты помогают оценить даты и стоимость каждого мероприятия, что в совокупности вычисляет предполагаемую дату начала и окончания проекта вместе с общей оценкой стоимости проекта. Существуют различные методы отображения и анализа графиков проекта. Методы отображения графиков проекта - вехи, список задач, столбец Ганта, сетевая диаграмма, двухмерный список задач и другие. Методы анализа графиков проекта - Critical Path, Critical Chain, PERT, Resource Leveling, Schedule Acceleration и другие.

Детерминированное планирование — это наиболее часто используемый метод планирования. В этом методе разработанный график представляет собой сеть взаимосвязанных действий. Такие показатели, как продолжительность, даты начала и окончания деятельности, являются детерминированными по своей природе, и поэтому каждому из них присваивается отдельная оценка. Расчетные значения сводятся к уровню проекта, чтобы определить продолжительность, а также даты начала и окончания.

Проект всегда управляется списком связанных действий, имеющих самый длинный путь, известный как критический пути (CPM). (CPM) это статистический инструмент, обычно используемым в инструментах детерминированного планирования Microsoft Project, Primavera и Project Expert. Продолжительность проекта, даты начала и окончания рассчитываются исходя из него. Основное внимание уделяется тому, как проект выполняет действия по критическому пути, а не по всем остальным.

Метод критического пути (CPM) представляет собой преобладающий метод планирования и составления графиков строительных проектов с конца 1950-х годов. CPM, помимо диаграмм Ганта, которые были введены Гантом и Тейлором в начале 1900 года, обеспечивает общий краеугольный камень в инструментах планирования. В CPM действия — это единицы анализа, содержащие данные, необходимые для описания задач по проекту. Действия можно рассматривать как

детерминированные единицы, включенные в логическую сеть для расчета минимальной продолжительности завершения сети действий [47].

Программы (Microsoft Project, Primavera и Project Expert) автоматически разрабатывают диаграмму Ганта на основе входных данных оценки (действия и продолжительность), а также ограничений (даты начала или окончания). Оценки в детерминированном планировании требуют опыта и ссылок на прошлые данные. Шансы на успешное завершение проекта в соответствии с графиком во многом зависят от оценок, которые носят детерминированный характер. Количество критических мероприятий может быть меньше или равно общему количеству мероприятий проекта.

CPM — детерминированная модель, результаты которой имеют определенность. Используя эту детерминированную модель, были определены различные оценки времени и числа с плавающей запятой для каждого действия с использованием методов вычислений, а именно - вычисления прямого прохода и вычисления обратного прохода.

Основное преимущество анализа критического пути - найти минимальную продолжительность времени, необходимого для завершения проекта (Adebowale et al. 2011). С помощью CPM можно следить за фактическим прогрессом проекта и оценивать предложенные альтернативы с точки зрения затрат и времени [48].

Этот тип планирования используется, когда каждый знает, что именно должно произойти, а также в случае, если проекты похожи или повторяются. Просмотр и анализ критического пути, в таких программах, как Microsoft Project, Primavera и Project Expert, могут быть выполнены в кратчайшие сроки. Просто взглянув на различные представления диаграммы Ганта, менеджеры проектов могут понять текущий статус проекта. Это также помогает им принять решение о том, на какой части или деятельности по проекту следует сосредоточить внимание.

Методика вероятностного планирования включает в себя те же действия, что и при детерминированном планировании, например, перечисление задач, распределение ресурсов, оценка продолжительности, определение дат начала и завершения и на основе входных данных разработка диаграммы Ганта.

Единственная разница заключается в способе оценки продолжительности и статистическом инструменте, используемом для разработки графика.

Этот метод планирования ориентирован на создание реалистичного графика с учетом факторов риска, которые могут иметь положительное или отрицательное влияние на проект. Он пытается уловить риски и неопределенности, связанные с задачами проекта и проектом в целом. График составлен с некоторым запасом времени, чтобы справиться с рисками и неопределенностями [48].

Статистические инструменты, используемые в вероятностном планировании (такие как PERT (метод программируемой оценки и анализа), моделирование Монте-Карло, GERT (метод графической оценки и обзора)), используются для оценки продолжительности проекта, сроков выполнения задач, сроков проекта и разработки диаграммы Ганта. Методика оценки и анализа программы (или проекта), обычно обозначаемая аббревиатурой PERT, представляет собой статистический инструмент для управления проектами, анализа и представления задач, связанных с завершением данного проекта. Моделирование методом Монте-Карло — это полный набор вычислительных алгоритмов, которые определяются путем повторной случайной выборки для получения численных результатов. GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), широко известный как GERT, представляет собой метод сетевого анализа, используемый в управлении проектами, который позволяет вероятностную обработку как сетевой логики, так и оценки продолжительности деятельности.

PERT использует трехбалльную оценку задачи. Любая задача, наполненная неопределенностями, может иметь широкий диапазон оценок, в которых задача фактически будет выполнена. Неопределенности включают как благоприятные условия (возможности), так и неблагоприятные условия (угрозы).

В сетевом планировании, используемом в инструментах Microsoft Project, Primavera и Project Expert, PERT (Project Evaluation and Review Technique) является ценным методом, используемым при планировании, составлении графиков и контроле строительных проектов. Эти методы используются для расчета самого раннего старта, самого раннего финиша, самого последнего старта, самого

последнего финиша и различных типов поплавков для каждого действия, а затем для расчета критических действий и критических путей. Эти методы используются для предоставления аналитических средств для планирования действий путем определения действий по проекту, их отношений приоритета и их конкретных требований ко времени.

Чтобы понять, как разрабатывается вероятностный график, необходимо понимание работы статистических инструментов. Оценка, выполняемая в PERT, представляет собой трехбалльную оценку пессимистической (P), оптимистической (O) и наиболее вероятной (M) для каждой задачи. В PERT-анализе предполагается, что длительность задачи имеет бета-распределение вероятностей. В соответствии с этим распределением ожидаемая продолжительность задачи и дисперсия завершения задачи можно расчет произвести, используя формулу, представленную ниже:

Ожидаемая длительность задачи (d) = (O + 4M + P) / 6 Дисперсия (v) = ((PO) / 6) 2 [48].

Метод PERT позволяет рассчитать среднее время, необходимое для завершения проекта, определить критические действия и оценить вероятность достижения запланированных сроков [49].

С помощью PERT можно следить за фактическим прогрессом проекта и оценивать предлагаемые альтернативы с точки зрения затрат и времени [48].

Использование вероятностного методов в строительном проекте позволяет оптимизировать продолжительность и стоимость проекта. Вероятностное планирование дает реалистичное представление о плане проекта, помогая руководителям проектов предсказать неопределенность и ее влияние на план.

После успешного завершения планирования и запуска проекта наступает длительный этап его реализации, в ходе которого необходим регулярный сбор фактической информации для отслеживания прогресса выполнения проекта.

В рамках программы «Проект Эксперт» поставленная задача эффективно решается за счет использования программного комплекса «Отчет», включающего в себя несколько модулей. Модуль редактирования и создания бизнес-плана

позволяет создать тщательно продуманный документ с необходимыми текстовыми разделами, таблицами и графиками. Модуль, предназначенный для создания отчетов о расхождениях между прогнозируемым и фактическим статусами проектов, позволяет менеджерам проектов последовательно составлять такие отчеты и проводить сравнительный анализ. Этот анализ служит основой для принятия решений на протяжении всего процесса управления проектом. Кроме того, модуль построения графиков и диаграмм облегчает интерактивное представление данных и результатов проекта в визуальных форматах. Более того, необходимые вычисления можно беспрепятственно выполнить в процессе построения графа [50].

Основная цель Microsoft Project — помочь менеджерам проектов в создании планов, распределении ресурсов по задачам, отслеживании хода выполнения, управлении бюджетом и анализе рабочей нагрузки. Это программное обеспечение создает расписания, в которых расставлены приоритеты основных задач, и их можно организовать в соответствии с доступными ресурсами. Эти взаимосвязанные задачи затем представляются в визуально привлекательном формате диаграммы Ганта. Кроме того, Project может распознавать разные классы пользователей. Эти разные классы пользователей могут иметь разные уровни доступа к проектам, представлениям и другим данным. В Microsoft Project актуализация плана происходит посредством учета фактических данных, которые поступают от нескольких удаленных ответственных в виде специальных обменных документов Excel, оперативно загружающихся в общий план программы. В представлении «Использование задач» на каждую работу назначен определенный физический объем как материальный ресурс, а также определенное количество единиц трудовых ресурсов, которые должны по плану выполнять данный объем работ. Плановые объемы работ и трудозатраты бригад подрядчиков распределены по дням на временно шкале [51].

В Primavera существует специальный программный модуль для управления проектами, который автоматизирует процессы управления проектами в соответствии со стандартами PMI, IPMA и ISO. Этот модуль позволяет менеджерам

проектов эффективно использовать методологию освоенного объема. Используя Primavera, вы можете делать прогнозы о будущем состоянии вашего проекта, используя различные модели оценки, такие как оптимистичная, пессимистическая и другие. Программное обеспечение также предоставляет настраиваемые методы расчета процента выполнения и оценки времени завершения (ETC). Эти параметры можно настроить индивидуально для каждого проекта и уровня WBS. Для отслеживания любых отклонений от заданных параметров проекта Primavera использует индикаторные механизмы. Эти индикаторы предоставляют менеджерам проектов четкое представление о любых проблемах и проблемах. Дополнительно уведомления об отклонениях автоматически рассылаются участникам проекта, ответственным за отклонения конкретных параметров [52].

Планирование строительства прошло долгий путь за последние 20 лет, начиная со времени, когда руководители строительной площадки считали, что использование строительных программ не имеет отношения к повседневным операциям и отнимает много времени. Сегодня такие программы стали неотъемлемой частью большинства строительных проектов [53].

Информационное моделирование зданий (BIM) зарекомендовало себя как мощный метод планирования, составления графиков и управления проектами, хотя он, в основном, используется в качестве инструмента перед началом строительства. Были проведены некоторые исследования на предмет его использования на этапе строительства, жизненного цикла проекта, поскольку потенциальные выгоды от использования BIM реализуются строительными менеджерами и подрядчиками. Модель BIM позволяет видеть компоненты здания, включая такие детали, как материал, размер, геометрическое положение, конструкция и другие конструктивные параметры [54]. При планировании и составлении графиков проектов инструменты на основе BIM позволяют интегрировать традиционные методы визуализации графиков Ганта CPM для графиков с 4D-визуализацией и визуализацией линии баланса [55].

Концепцию информационного моделирования зданий (BIM) можно описать как комплексный виртуальный процесс, который объединяет различные аспекты,

дисциплины и системы строительной площадки в единую виртуальную модель. Это обеспечивает более эффективное сотрудничество между всеми членами строительной бригады, что приводит к повышению точности и эффективности по сравнению с традиционными методами [56]. Основное преимущество модели BIM заключается в ее способности предоставлять подробную информацию о конструкции, а также о ее различных областях, системах и элементах. Конечная цель – использовать эту информацию для эффективных процедур управления объектами [57].

Стандарт национальной модели строительной информации определяет BIM как «цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта, и он служит общим ресурсом знаний для информации об объекте, формирующей надежную основу для принятия решений в течение его жизненного цикла с самого начала» [58].

В работе [45] разделили приложения BIM по этапам, связанным со строительством, следующим образом:

1. BIM на этапе подготовки к строительству

Применение BIM на этапе подготовки к строительству можно резюмировать следующим образом:

−На основе информационных моделей здания подрядчики могут выполнить довольно точную количественную съемку и подготовить подробные оценки. По данным Центра интегрированного проектирования (CIFE) Стэнфордского университета, использование оценок на основе BIM показало точность примерно 3%, что привело к значительному сокращению времени, необходимого для создания этих оценок, до 80%.

−Используя 3D- или 4D-модели координации объекта, подрядчики могут эффективно координировать деятельность на объекте, разрабатывать стратегию транспортных потоков и заранее выявлять потенциальные опасности, что в конечном итоге позволяет разработать комплексный и практический план обеспечения безопасности объекта.

−Используя модели BIM, команда проекта имеет возможность провести комплексный анализ устойчивости конструкции, что позволяет им стратегически планировать последовательность действий на строительной площадке [59].

2. BIM на этапе строительства

На этапе строительства использование BIM проектной командой позволяет им:

−Ход реализации проекта тщательно контролируется с использованием планов поэтапной реализации 4D.

−В целях содействия встречам по координации торговли.

−Очень важно беспрепятственно включать в модель BIM запросы на информацию, заказы на изменения и информацию о списках штампов.

На этапе строительства команде проекта крайне важно постоянно обновлять модель BIM, гарантируя, что она точно представляет самую актуальную информацию. В конечном итоге это принесет пользу менеджерам объектов в их будущих задачах по эксплуатации и техническому обслуживанию зданий [60].

3. BIM на этапе после строительства

Информационная модель здания содержит полную информацию об объекте по мере его развития в процессе планирования, проектирования и строительства. Эта информация может быть использована для дальнейшего использования руководителями предприятия, тем самым повышая эффективность эксплуатации и обслуживания объекта. Исследования показывают, что 85% стоимости жизненного цикла объекта приходится на завершение строительства, соединенные Штаты ежегодно теряют около 10 миллиардов долларов исключительно из-за недостаточного доступа к информации и проблем совместимости при эксплуатации и техническом обслуживании. Однако внедрение информационного моделирования зданий (BIM) для управления объектами (FM) может эффективно смягчить эти потери [61].

Внедрение BIM, которое в настоящее время внедряется многими участниками строительной индустрии, изменит способ организации, выполнения, документирования строительных работ и позволит значительно улучшить процесс строительства [62].

1.5 Современные методы, подходы и принципы, используемые в календарном планировании строительства

Современные подходы позволяют традиционным сетевым моделям строить «логический» график. Тем не менее, ограничения этой модели могут привести к тому, что она будет признана технологически или организационно непригодной [63]. Традиционные сетевые модели обладают рядом некоторыми недостатками (отображение работ в них возможно только для последовательно выполняемых или независимых). Такие модели имеют одновариантную технологию выполнения и потому – низкую «устойчивость» относительно происходящих и вносимых изменений в процессе выполнения работ. Для избежания подобных трудностей профессором В.И. Воропаевым были разработаны обобщенные сетевые модели, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными. Сетевые модели, известные как таковые, используются для учета различных дополнительных критериев, которые обычно возникают в сфере строительства. Эти критерии охватывают такие факторы, как плавное выполнение отдельных задач и соблюдение установленных сроков для объединения двух отдельных работ. Для эффективного представления этих дополнительных зависимостей рекомендуется визуально представить схему сети, используя язык работы (<нет событий>> (см. граф, изображенный на рисунке 1.10 [64].

На языке работы сетевые графы «без событий» представляются без событий или воображаемой работы, с акцентом исключительно на работе и ее связях. Работа обозначается различными формами, такими как круги или прямоугольники, а детали работы, такие как код и продолжительность, либо обведены контуром внутри фигуры, либо расположены рядом с ней. Ход работы визуализируется стрелками, обозначающими связи между различными задачами.

В обобщенных сетевых моделях существует два типа связей, связывающих зависимые работы: «не раньше» снизу и «не позже» сверху. Это означает, что график может включать как фиктивную работу с нулевой оценкой времени, так и работу с отрицательными временными характеристиками [64].

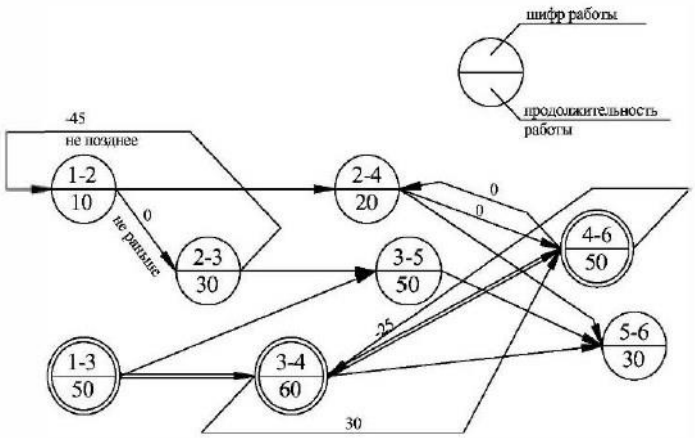

Рисунок 1.10. Обобщенная сетевая модель

Организационные и технологические возможности конкретного производственного процесса для решения управленческих задач можно отобразить с помощью альтернативной модели. Данная модель имеет форму топологической сети, охватывающей все возможные организационно-технологические подходы к строительно-монтажным работам на одном или нескольких сооружениях. Путем выбора конкретных методов организации и выполнения каждой задачи устанавливается уникальная схема построения. На протяжении всего процесса исправления любых неудач или отклонений от первоначального плана крайне важно выбрать схему продолжения работы, которая сводит к минимуму общее количество отклонений или дополнительных затрат [64, 65].

В процессе формирования управляющего решения возможна реконструкция альтернативной модели сети, включающей различные варианты доработки структуры. За счет полного включения альтернативных моделей система управления может достичь высокого уровня эффективности с учетом как организационных, так и технологических факторов. Однако эффективное управление значительным объемом исходной и текущей информации требует

хорошо организованной структуры банка данных и широкого использования компьютерных ресурсов [66].

Альтернативные сети предлагают более широкую интерпретацию понятия «событие» по сравнению с сетями с детерминированной структурой. С точки зрения «узла-события» каждый внутренний узел сети выполняет как входные, так и выходные функции. Однако исходное событие имеет только функцию вывода, а конечное событие имеет только функцию ввода. Визуальное представление базовой альтернативной сетевой модели можно увидеть на рисунке 1.11.

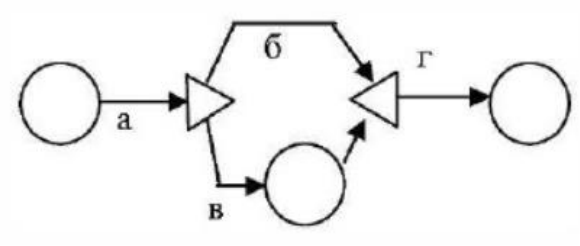

Рисунок 1.11. Простая альтернативная модель сети

Метод графической оценки и анализа (GERT), разработанный в США в 1966 году, служит альтернативным методом вероятностного сетевого планирования. Этот подход особенно полезен в ситуациях, когда инициирование последующих задач зависит от выполнения определенного количества предыдущих задач, а не требует завершения всех задач, изображенных в сетевой модели для завершения проекта. Метод GERT основан на использовании сетей GERT, которые предлагают более комплексные средства описания сложных строительных процессов. Эти сети особенно ценны, когда из-за объективных ограничений оказывается сложно или невозможно окончательно установить точную последовательность и характер работы, необходимой для достижения целей проекта [67].

В 1997 году Элияху Голдратт предложил метод критической цепочки (CCM) — подход к планированию и управлению проектом, в котором приоритет отдается ограничениям ресурсов проекта. Этот метод, основанный на теории ограничений, отличается от традиционных методов критического пути или PERT тем, что он не следует строгой последовательности задач и планирования. Вместо этого CCM

предполагает создание календарного плана, который равномерно распределяет ресурсы во времени, позволяя при этом исполнителям задач гибко настраивать время начала задач и быстро переключаться между задачами и цепочками задач. Такая гибкость необходима для обеспечения соблюдения графика всего проекта. Одной из ключевых концепций, представленных ССМ, является критическая цепочка, представляющая собой последовательность задач, продолжительность которых напрямую влияет на общую продолжительность проекта [68].

ССМ рекомендует оценивать продолжительность действий с учетом 50% вероятности завершения в срок и учитывать буферы (буферы проектирования и кормовые буферы) в конце каждой цепочки действий для учета неопределенности. Существуют и другие буферы, а именно: буфер ресурсов, буфер барабана, буфер емкости и буфер стоимости не требует ни статистической сложности, ни владения фактическими распределениями данных об эффективности деятельности. Такие данные обычно не существуют для проектов, и даже там, где они есть, например, в строительной отрасли, они не решают проблему превышения сроков [69, 70].

С другой стороны, как заявил академик А.А. Гусаковой в 1974 году понятие «Организационно-технологическая надежность» (ОТН) относится к способности организационно-технологических и управленческо-экономических решений эффективно достигать желаемого результата строительного производства даже при столкновении с непредсказуемыми сбоями, присущими сложному и вероятностный характер строительной отрасли.

Коэффициент готовности (Кг.э.) применяется для оценки надежности элемента конструкции по критерию времени. Его рассчитывают путем деления времени безотказной работы элемента на время завершения процесса строительства.

Для повышения надежности принятия решений при строительстве зданий можно предложить несколько подходов. Эти подходы можно разделить на различные типы, такие как организационные, технологические, структурные, информационные и управленческие. По мнению Абдуллаев (2010), создание функциональной системы управления является наиболее эффективным методом

повышения уровня организационно-технологической надежности (ОТН) до определенных стандартов. Благодаря эффективному управлению можно своевременно вносить коррективы в ходе производственного процесса, тем самым предотвращая ненужные расходы и сводя к минимуму риск снижения надежности [71].

Использование точных и достоверных исходных данных, комплексный анализ ключевых задач, внедрение комплексных стандартов, специально разработанных для моделирования строительного производства, имеют решающее значение для обеспечения надежности организационных и технологических решений по управлению сроками строительства [72].

В строительной отрасли существуют различные методы, которые можно использовать для повышения показателей надежности [71]:

1. Создание эффективных методов организации труда, соответствующих показателям надежности.
2. Одним из важных аспектов планирования и контроля решений является разработка методов создания резервов времени и ресурсов, что, в свою очередь, повышает уровень надежности.
3. Создание системы управления строительным производством, включающей постоянный контроль за ходом работ и оперативное реагирование на отклонения от принятых показателей.
4. В целях повышения надежности при разработке решений по планированию и контролю следует учитывать минимизацию потенциальных внешних воздействий.

Стремясь повысить надежность решений по планированию и регулированию, крайне важно учитывать влияние внешних обстоятельств. Прогнозируя ход производственного процесса, можно заранее реализовать меры по минимизации сбоев в рабочем процессе и смягчению воздействия на уровень ОТН [71].

1.6 Выводы по первой главе

Проведенный в этой главе аналитический обзор, связанный с возникновением задержек в строительстве, преимущественно ориентированного на республику Ирак, позволил сделать ряд важных выводов:

1. Задержки строительных проектов - проблема, с которой сталкиваются все строительные компании мира это также является очень большой проблемой в Ираке, касается даже тщательно подготовленных и организованных проектов, где существует группа факторов, которые довольно трудно предвидеть.
2. Причины задержки могут различаться в разных регионах в зависимости от характеристик строительной отрасли, а также правил и положений в регионе, где реализуется проект.
3. Исследованием установлено, что задержка в некоторых проектах в Ираке достигла более чем вдвое больше срока, указанного в контракте и причины этих задержек в первую очередь связаны с планированием.
4. Статистический анализ реальных данных о задержках строительства в Ираке показал, что средняя задержка строительных проектов в Ираке составила 52%.
5. Анализ предыдущих исследований, проведенных иракскими исследователями, показал, что не было разработано никакой конкретной методологии для уменьшения задержки путем улучшения календарного планирования или научных методов с помощью имеющихся инженерных программ.
6. Изученные реальные данные на этапах мониторинга реализации строительства, дают четкую картину постоянных задержек в Ираке, компании редко соблюдают графики строительства и предпринимают серьезные шаги на этапах мониторинга, чтобы минимизация задержек в строительстве.
7. Результаты аналитического обзора задержек строительства в Ираке показали, что первые 10 факторов являются очень важными факторами, которые имеют большое влияние на продолжительность строительных проектов.

8. Чтобы справиться с текущим состоянием строительной отрасли Ирака, необходимо разработать инновационные принципы и методологии проектирования организационных и технологических процессов в этом секторе.

9. Установлено, что такие программы, как Microsoft Project, Primavera, Project Expert и BIM–технологии проектирования стали неотъемлемой частью большинства строительных проектов, а использование этих программ способствует повышению рентабельности, снижению затрат и лучшему управлению временем.

ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА И АДАПТАЦИЯ КОМПЛЕКСА ЗАДАЧ УЧЕТА ЗАДЕРЖЕК СТРОИТЕЛЬСТВА, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ И ПРОФИЛАКТИКИ ПРИЧИН НЕСВОЕВРЕМЕННОГО ИСПОЛНЕНИЯ РАБОТ

2.1 Обобщенная схема решения комплекса задач по минимизации задержек строительных работ

Известно, что для реализации любого строительного проекта он должен пройти совокупность взаимосвязанных этапов или процессов, которые приводят к реализации проекта согласно требуемым целям, поскольку все процессы управления проектом можно разделить на пять различных процессов [73]:

1. Процесс инициации проекта: Первым этапом управления строительным проектом является жизненный цикл проекта для измерения стоимости проекта и экономической целесообразности.
2. Процесс планирования проекта: включает в себя определение целей проекта и стратегическое планирование необходимых действий для успешного достижения этих целей в рамках определенных целей и объема.
3. Процесс исполнения проекта: предполагает плавную интеграцию людей и ресурсов для эффективной реализации плана управления проектом.
4. Процессы контроля и мониторинга: прогресс регулярно отслеживается для выявления расхождений с планом управления проектом и принятия корректирующих мер для достижения целей проекта.
5. Процесс закрытия проекта: он формализует приемку продукта или услуги и приводит проект к завершению.

Процессы управления проектом, включая пять процессов, обеспечивают структуру и организацию, необходимые для его завершения, поскольку стартовая группа обеспечивает основу для того, чтобы остальные этапы в группах были

непрерывными и постоянными в ходе работы. Каждая группа независима сама по себе с момента начала процесса строительства и до его завершения, на рисунке 2.1 показано процессы управления проектом.

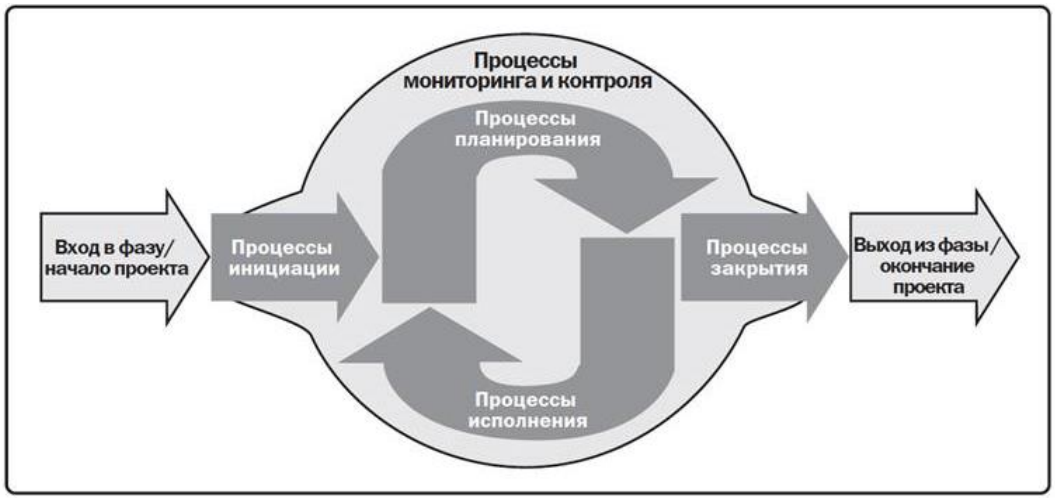

Рисунок 2.1. Группы процессов управления проектом

Для снижения задержек в строительстве на основе описанных выше этапов проекта представлена комплексная техническая рецептура в виде схемы-алгоритма решения текущих проблем, вызывающих задержки в строительстве, где сформирован группа способов, прямо и косвенно влияющих на минимизацию задержек строительных работ.

Прежде чем приступить к процессу реализации строительства (этап планирования), необходимо заранее спланировать продолжительность работ. Для усовершенствования планирования продолжительности работ, необходима адекватная база трудозатрат, создание которой требует огромных денежных и временных затрат. Поэтому представлен новый метод, позволяющий на основе реальных статистических данных о трудозатратах и регрессионные особенности нейросетевого моделирования выбрать наиболее адекватные нормы существующих баз данных по трудовым затратам.

На этапе реализации строительства для решения задачи оперативного управления сроками строительства адаптирован метод неопределенных ресурсных коэффициентов, с помощью которого задержки оперативно компенсируются за

счет соответствующего планирования, и о котором пойдет речь в третьей главе диссертации. В алгоритме также представлены блоки, позволяющие на основе мониторинга оценить качество управления строительством и на его основе перераспределение финансовых ресурсов, связанных с накладными расходами. Этот упреждающий подход направлен на предотвращение любых будущих негативных отклонений от запланированного плана работы. Качество управления оптимизируется на основе расчета индекса энтропии выполненных работ, о чем пойдет речь в четвертой главе диссертации.

На этапе завершения строительного проекта или в конце циклов мониторинга, если задержки по-прежнему сохраняются, в этом случае возникает определенная экономическая ответственность, которая должна быть распределена между исполнителями проекта. В таких случаях предлагается распределять соответствующую экономическую ответственность по байесовскому подходу. Блок-схема общего алгоритма, предлагаемого решения поставленной задачи представлена на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2.

2.2 Разработка модели регенерации адекватных норм трудовых затрат, основанной на применении метода нейросетевого моделирования

Органичной частью эффективного управления строительством является регулирование труда. Взаимосвязь между стандартами труда и различными аспектами предпринимательской деятельности хорошо задокументирована в экономически развитых странах. Эти страны установили всеобъемлющие правила, регулирующие производство, технологию, организацию, финансы, экономику и

социальные аспекты труда. Разработка современных методов регулирования труда может быть связана с опытом специалистов этих экономически развитых стран.

Во многих странах разработка трудовых норм является самостоятельной коммерческой деятельностью. Например, в США RSMeans — известная независимая коммерческая организация, специализирующаяся на разработке и производстве ряда показателей стоимости строительства: единичных, элементарных и укрупненных. Сборник RSMeans публикуется под названием «Данные о затратах на строительство зданий» и выпускается ежегодно. Он содержит информацию о подразделении, выполняющем работу, выработке продукции за 1 смену за 8 часов, затратах труда в человеко-часах на единицу продукции, прямых затратах на материалы, заработной плате рабочих, затратах на машины и оборудование и других показателях [74].

Французская группа компаний Groupe Moniteur издает сборник (Стоимость строительных работ). Он составляется ежегодно и в нем указываются цены на каждый элементарный вид работ, показатели затрат труда, а также стоимостные показатели статей расходов (вспомогательных материалов, приспособлений, инструментов и т.п.).

В Финляндии созданы стандарты РАТУ. Они представлены в виде технологических карт строительных работ с подробным описанием операций. Эти стандарты содержат актуальную информацию о трудозатратах, рабочих группах, документах и планах, необходимых для проведения работ, материалах, машины и оборудование, процедуры безопасности, Меры по обеспечению качества. Расчет каждой ставки производится на основе данных, собранных минимум по 10 объектам. При этом погрешность для каждой ставки не превышает 10%.

В России стандарты затрат на рабочую силу называются «Единые нормы и расценки» (ЕНиР) «Едиными нормами и ценами» и охватывают как производственные стандарты, так и стоимостные соображения, которые позже были обновлены до «Государственные элементные сметные нормы на строительные работы» (ГЭСН) «Государственные элементные нормы и цены». Все

нормы, входящие в ГЭСН и РАТУ, определяются нормальными условиями труда, не учитывающими возможные случайные колебания [75, 76, 77, 78].

В результате представленного анализа можно утверждать, что создание базы данных затрат труда требует достаточно больших ресурсных затрат. Поэтому для Республики Ирак можно рекомендовать менее ресурсоемкий метод, а именно регрессионный метод создания базы данных, основанный на учете фактических трудозатрат строительных организаций.

Реализация предлагаемого метода на основе использования реальных статистических данных о строительных объектах в Ираке, отражающих информацию о затратах на оплату труда, зафиксированных в соответствующих исполнительных документах, и учитывая оценки экспертов относительно обстоятельств, при которых были приобретены реальные затраты труда. С точки зрения методической реализации метода регрессии необходимо обосновать используемую в нем процедуру регрессии [79, 80, 81].

Задача аппроксимации ограниченных данных, полученных при решении сложных задач, может быть решена как с помощью регрессионного анализа, так и нейросетевого моделирования, построенного на концепциях, изложенных в монографии [82, 83, 84, 85]. Известно, что первоначально методы множественного регрессионного анализа в основном были ориентированы на описание линейных моделей. Для решения подобных нелинейных моделей необходимо знать соответствующую нелинейную форму и затем отдельные модели можно искусственно привести к линейному виду или разработать для них конкретный алгоритм нелинейной регрессии [86]. Таким образом, для решения нелинейных задач средствами классического регрессионного анализа необходима предварительная информация о виде нелинейной связи искомой функции и ее аргументов.

В общем случае нейросетевое моделирование используется для самых разнообразных прикладных задач [87]. Отличие нейронных сетей от статистики состоит в том, что статистика зависит от формул и уравнений, а нейронные вычисления прибегают к графическому описанию нейронных структур [88].

Считается, что линейная регрессия полезна для некоторых задач, но во многих ситуациях она не эффективна, и полиномиальная регрессия полностью заменяется сетями нейронов высокого порядка. Нейронные сети могут предсказывать пропущенные значения, что показывает столь важную дополнительную возможность использования нейронных сетей в условиях недостаточности данных.

Еще одной положительной особенностью использования нейронных сетей является отказ от конкретного аппроксимирующего выражения, поскольку нейронные сети могут аппроксимировать искомые поверхности отклика любыми непрерывными функциями. В [89] доказана обобщенная аппроксимационная теорема, согласно которой с помощью линейных операций и каскадирования нейронов можно получить из произвольного нелинейного элемента устройство, вычисляющее любую непрерывную функцию с некоторой заданной точностью.

Показан пример однозначного и неоднозначного выбора аппроксимирующего выражения на основе традиционного регрессионного анализа. В [90] для показа уменьшения сменной выработки - y от числа рабочих - x использовалась регрессионная зависимость вида y = a + b/x, в которой a и b - параметры искомой регрессии (рисунок 2.3). Однако представленную зависимость с таким же успехом можно заменить показательной формой, являющейся результатом интегрирования дифференциального уравнения, учитывающего линейное уменьшение производительности от числа работающих.

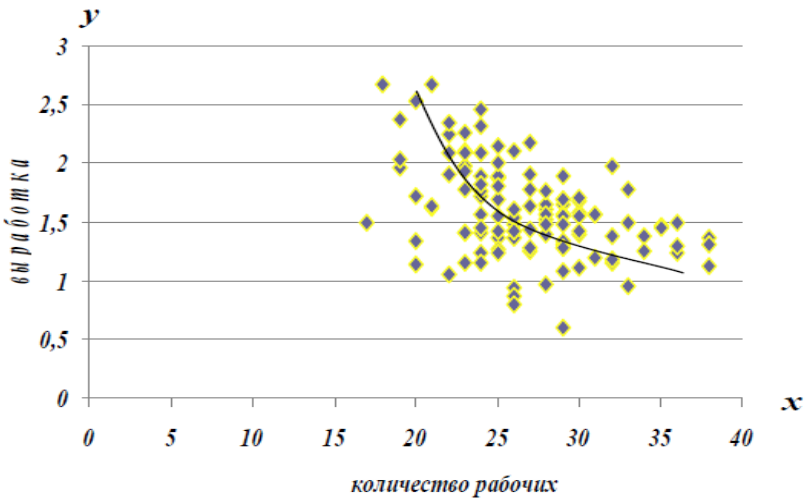

Рисунок 2.3. Аппроксимация выработки в зависимости от числа рабочих

Для описания условий получения значений фактических затрат труда необходимо оценить соответствие завершенных трудовых процессов их нормативным значениям. Для этого выберите следующие параметры.

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.

Представленные характеристики полностью соответствуют учету условий производства, заложенному в наиболее технологически обоснованных стандартах, таких как Российский (ГЭСН) и Финский РАТУ. Однако в ряде российских регионов из-за их сурового климата дополнительно вводятся различные поправочные коэффициенты [91], которые также можно считать частью нормативной базы затрат на оплату труда, принятой в РФ. Поэтому, учитывая влияние климатических факторов на производительность труда в строительстве, Республике Ирак целесообразно ввести дополнительный коэффициент − X4, показывающий степень нейтрализации погодных условий в ходе производственного процесса.

Следует иметь в виду, что представленные оценочные характеристики могут быть оценены только количественно на основе применения экспертных методов. Также необходимо учитывать, что в рассматриваемой задаче отсутствует теоретическая связь между нормами затрат труда и параметрами безопасности их выполнения. Отличие метода нейросетевого моделирования от классического регрессионного анализа заключается именно в том, что для него не требуется априорно устанавливать какую-либо зависимость, поскольку этот метод скрыто учитывает любую нелинейность. Однако для корректной реализации метода нейросетевого моделирования необходимо построить подходящую архитектуру нейронной сети.

Проведение процедуры обучения нейронных сетей позволяет получить правильный результат даже на основе данных, которых не было в обучающей выборке. Искусственные нейроны используют различные функции активации [92, 93, 94]. Логистическая функция активации считается самой популярной среди всех функций активации [95], поэтому может использоваться для решения нашей задачи регрессии. Используя функцию логистической активации, можно построить простейшую сеть, состоящую из одного нейрона. На входы формального нейрона подаются сигналы xi, которые суммируются с соответствующими весами в операторе NET, интегрирующем взвешенные сигналы по формуле (2.1), а за сумматором следует выбранная нами функция активации. В результате использования модели с одним нейроном функциональная связь между выходными и входными данными будет иметь нелинейное представление, определяемое следующей формулой:

$$y = \frac{1}{1+\mathrm{Exp}(-w_1x_1-w_2x_2-w_3x_3-w_4x_4)} \tag{2.1}$$

Решение задачи нахождения набора весов Wi происходит в режиме обучения на априорно заданном объеме выборки. В этом случае начальные значения неизвестных весов вычисляются с использованием случайных чисел, равномерно распределенных в диапазоне от -0,5 до +0,5. Далее следует итерационная процедура, основанная на определении выходной ошибки, а затем на основе полученной выходной ошибки корректируются веса с использованием алгоритма обратного распределения ошибок. Итерационная процедура заканчивается, когда разработчиком сети определен определенный результат, например, когда определенное количество шагов исчерпано, достигнута заданная ошибка и т. д. При использовании функции активации логистического типа также можно свести задачу к методу наименьших квадратов, линеаризовав задачу, применив следующую замену искомой переменной Y (формула 2.2):

$$\mathrm{z} = ln\frac{y}{1-y} \tag{2.2}$$

Однако если для решения использовать простейшую одно нейронную сеть и линейную функцию активации, то задачу поиска неизвестных весов можно решить более эффективно, используя метод наименьших квадратов. Тогда в этом случае решение задачи будет сведено к аналогичной задаче нелинейной аппроксимации с использованием априорно заданного вида уравнения (2.1).

Наиболее используемым семейством в сетях прямого распространения являются многослойные перцептроны, в которых слоистые нейроны имеют однонаправленные связи между слоями. На рисунке 2.4 показан двухслойный перцептрон, который мы использовали в качестве одной из сетей. Данная конкретная сеть предполагает подачу на входы нейрона сигналов, представляющих собой независимые переменные, при этом из выходного нейрона извлекается сигнал для аппроксимации функциональной связи типа Y (X1, X2, X3, X4).

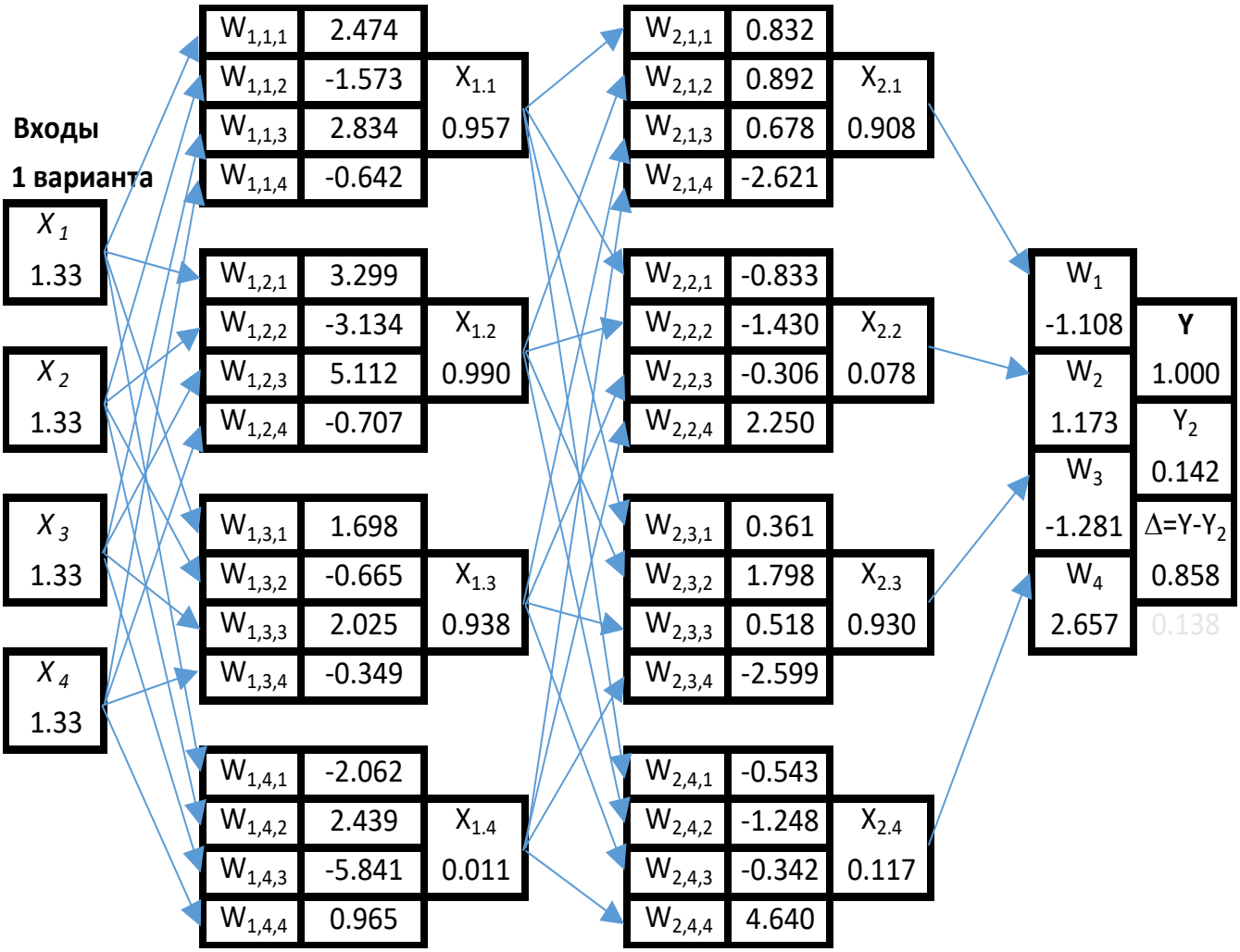

Рисунок 2.4. Двухслойный перцептрон-аппроксиматор y (X1, X2, X3, X4)

Чтобы нейронные сети могли эффективно обрабатывать числовые данные, которые могут различаться по диапазону, необходимо нормализовать все переменные. Этот процесс нормализации включает в себя корректировку значений как входных, так и выходных переменных, чтобы они соответствовали стандартизированному диапазону от 0 до 1. Если мы представим нормализованный параметр входного значения как L, его конкретное значение можно определить с помощью следующей формулы:

$$\mathrm{Li} = \frac{\mathrm{Xi} - \mathrm{minXi}}{\mathrm{maxXi} - \mathrm{minXi}} \tag{2.3}$$

Весь обучающий массив подвергается нормализации как для входных, так и для выходных данных, как показано в таблице 2.1 в качестве иллюстративного примера.

Таблица 2.1. 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 X3	0.17	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.50	0.67	0.67	1.00
Standardization X4	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	0.705	0.69	0.68	0.66	0.645	0.63	0.615	0.6

Продолжение таблицы 2.1.

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
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

В первых четырех строках таблицы 4 показаны результаты, полученные после ввода в общей сложности 10 вариантов данных об условиях обеспечения фактических затрат труда (ФТЗ). Следующие четыре строки таблицы 4 показывают результаты расчета нормированных значений данных о обеспеченности нормативными условиями, приводящими к получению (ФТЗ). Обучающий массив определяется 10 вариантами. Доступный диапазон вариантов соответствует минимальным требованиям для обеспечения репрезентативности данных, собранных в ходе разработки трудовых стандартов Финляндии RATU.

После нормированных значений, определяющих условия протекания процесса, в таблице 2.1 представлена строка, в которой непосредственно указаны значения (ФТЗ), определяемые буквой - Й, а в следующей строке приведены ее нормированные значения, которые рассчитываются по формуле, аналогичной формуле (2.3). В дальнейшем фактические данные о трудозатратах будут играть роль поучительного руководства, помогающего подобрать весовые коэффициенты для каждого нейрона сети. Весовые коэффициенты на рисунке 2.4 обозначены тремя индексами. Первый индекс указывает сетевой уровень, второй индекс указывает нейрон внутри слоя, а третий индекс указывает входной номер этого конкретного нейрона. В выходном слое, состоящем из одного нейрона, веса представлены одним индексом. Выходные данные сети, показанные на рисунке 2.4, представлен набором нормализованных значений, полученных на основе расчетных значений выхода сети и их разностей, с помощью которых

корректируются все весовые коэффициенты. При модификации весов используется принцип коррекции ошибок, обеспечивающий постепенное снижение погрешности.

Перейдем к показу конкретных результатов использования многослойного персептрона. Данные, первоначально представленные в таблице 2.1, были введены в различные нейронные сети, включая однослойные, двухслойные и трехслойные сети. Эти сети указаны в таблице 2.2 соответствующими индексами.

Таблица 2.2. Результаты расчета исходных данных по трудозатратам в трех типах нейронных сетей

Сумма слоев	Y	ρ	Z	ρ
1	0.540	0.96	0.556	0.96
2	0.554	0.94	0.556	0.96
3	0.556	0.97	0.557	0.97

Было обнаружено, что результаты расчетов разных сетей очень близки, а относительная погрешность не превышает 1%. Кумулятивный расчет показал, что трехслойная сеть продемонстрировала самый высокий коэффициент парной корреляции (ρ = 0,97) по сравнению с фактическими данными. Следовательно, можно рекомендовать к использованию трехслойную сеть.

Рассматриваемые сети были апробированы на получение затрат труда. По результатам реализации норм производства, которые, как мы все знаем, это обратная стоимость рабочей силы. В результате эксперимента вместо фактических трудозатрат вводились фактические выработки, а обратная величина рассчитывалась с использованием нормы выработок, полученной в результате нейросетевого моделирования. Пример итогового расхождения представлен в таблице 2.2 в графе под буквой Z. Как видно из данных таблицы 2.3, результаты расчета прямых и обратных величин практически совпадают, а соответствующие парные коэффициенты корреляции имеют близкие значения. до максимума. Таким образом, «экспериментально» подтверждена «универсальность» использования нейросетевой регрессии к нелинейной зависимости.

При моделировании сетей необходимо учитывать определенные ключевые факторы. Факторами, которые следует учитывать, являются количество случаев в обучающем наборе, равное 10, размер шага для каждой итерации, определяющий время расчета (задается равным 0,2) и общее количество итераций (10 000). Время расчета определяется этими переменными и выполняется в макропрограмме на платформе электронных таблиц Excel. Стоит отметить, что весь процесс расчета занимает менее одной секунды.

Используя предоставленные атрибуты и проводя соответствующие эксперименты, становится возможным изменить факторы, определяющие прогнозируемую продолжительность, в частности, скорость и количество итераций. Данные, полученные в результате сетевого тестирования, представлены в Таблице 2.3, позволяют оценить погрешность и воспроизводимость результатов расчета.

Таблица 2.3. Данные тестирования сетей на воспроизводимость результатов

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y1	541	541	540	543	541	543	544	543	543
Y2	551	546	550	550	551	549	551	551	548
Y3	559	567	556	568	564	562	556	565	569
N	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Y1	543	543	542	542	542	540	542	541	543
Y2	547	551	551	553	554	548	539	554	551
Y3	566	557	571	555	567	552	553	560	569

По результатам обработки представленных данных значение коэффициента вариации менее 2%, что достаточно для определения нормативных затрат труда. Следует отметить, что финские трудовые стандарты RATU имеют ограниченную погрешность в 10%. Однако регрессионный анализ, используемый для определения затрат на оплату труда, вносит большую погрешность из-за неточностей в определении процента соблюдения нормативных условий. Поэтому для получения

более точных результатов с использованием предложенного метода целесообразно сочетать его с эффективными методами экспертной оценки [96, 97].

Рассматривая практический результат представленной разработки, можно сделать вывод в общем смысле, для сокращения затрат, связанных с созданием базы данных трудовых затрат в строительстве, разработан алгоритм нейросетевой регенерации норм на основе оценки соответствующих актуальных данных [81], которые формируются по исполнительной документации реализованных строительных проектов в организациях, участвующих в их реализации, а также по экспертным оценкам условий строительного производства.

2.3 Определение меры экономической ответственности за задержки работ и байесовский подход в распределении штрафов

Ограничение ответственности — это правовое положение, которое устанавливает предел суммы убытков, которые может понести сторона договора в отношении любого будущего судебного спора. Строительные контракты часто являются очень крупными предприятиями из-за огромного объема деятельности и финансовых вложений между двумя или более сторонами-участниками. В положениях об ограничении ответственности оговаривается компенсация за несоблюдение договорных соглашений заранее из-за рисков, связанных со сложными строительными проектами. Это приводит к тому, что положения об ограничении ответственности становятся обычным явлением среди договорных сторон в подавляющем большинстве развитых стран [98].

Чаще всего в строительные проекты вовлечены самые разные заинтересованные стороны, включая основных участников проектных групп, клиентов, подрядчиков и руководство проектами [99]. Список возможных заинтересованных сторон обширен, Оландер [100] описывает «заинтересованные стороны как любую группу или отдельное лицо, которые могут повлиять на

достижение цели корпорации или уже влияют», и может включать владельцев, менеджеров и пользователей объектов, менеджеров проектов, проектировщиков, акционеров, юридических лиц, сотрудников, субподрядчиков, поставщиков, поставщиков услуг, конкурентов, финансовые учреждения, страховые компании [101]. Эти основные участники в целом обладают большой властью, которая может влиять на ход любого проекта и формировать его [99, 102, 103].

Одним из методов определения ответственности за задержку строительства является метод, разработанный [104] на основе байесовского подхода, который были разработаны Томас Байес, математик и теолог 18-го века, впервые опубликовал свою работу в 1763 году [105]. Однако другой ученый Пьер-Симон Лаплас внес свой вклад в продвижение и применение теоремы Байеса в научных исследованиях, введя общую форму теоремы [106], [107]. Математически это можно выразить следующей формулой:

$$P(A \mid B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \tag{2.4}$$

Где A и B — два случайных события;

$P(A)$ и $P(B)$ — априорные вероятности или предельные вероятности А и В соответственно, независимо от появления друг друга;

$P(A \mid B)$ — условная вероятность А при данном В;

$P(B \mid A)$ — условная вероятность В при заданном А.

Байесовские подходы хорошо подходят для решения проблем, связанных с высоким уровнем неопределенности и сложности [108], что делает их подходящими для исследований и практики СМ. Вообще говоря, они могут объединять субъективные и объективные данные для количественного анализа взаимосвязей, диагностики, прогнозирования и мониторинга [109].

Байесовские подходы все чаще применяются в различных областях исследований СМ, таких как прогнозирование вероятности задержки графика [110], оценка рисков перерасхода средств [111] и безопасное поведение на работе [112]. Байесовские подходы в основном использовались для прогнозирования выполнения графика строительных проектов [113, 114]. Был предложен метод

байесовского обновления для постоянного обновления изменений данных в процессе строительства для относительно точной оценки графика [115, 116, 117].

Другие применения байесовских подходов в управлении процессами, такие как прогнозирование успеха процесса реализации строительного проекта [118], повышение качества моделирования строительного процесса [119], мониторинг прогресса [120] и измерение эффективности [121].

Болотин, [104] видит, что адаптация байесовского подхода к определению доли солидарной ответственности участников строительного производства за задержку строительства заключается в замене априорных вероятностей возникновения задержек выполнения отдельных работ на соответствующие значения абсолютных задержек. Чтобы инициировать байесовский подход, начальный этап включает в себя определение априорных вероятностей, связанных с объектами, имеющими общие характеристики. Впоследствии второй этап влечет за собой вычисление апостериорных вероятностей, которые указывают на вероятность того, что конкретный объект обладает вышеупомянутым свойством на основе его происхождения. Математическое вычисление этих апостериорных вероятностей достигается за счет использования следующей формулы:

$$P_i = \frac{p_i n_i}{\sum_{i=1}^{N} p_i n_i} \tag{2.5}$$

Где n — множество объектов, порождаемых i-N источниками;

p — априорная вероятность того, что определенный атрибут существует в объекте, сгенерированном источником i-N.

Определение апостериорных вероятностей имеет первостепенное значение, поскольку оно позволяет ранжировать всех подрядчиков на основе их вклада в общий риск задержек строительства. Уравнение (2.6) представляет собой аналитический метод расчета этих вероятностей путем умножения априорной вероятности на мощность источника события и суммирования всех парных произведений. Интересно, что аналитическая структура уравнения (2.6) не меняется при замене априорных вероятностей соответствующими значениями временных задержек. Эта нормализация гарантирует, что сумма апостериорных

вероятностей равна единице, и эти вероятности можно интерпретировать как ответственность подрядчиков за несвоевременное завершение строительного проекта, как показано в следующем уравнении:

$$P_i = \frac{\tau_i^a c_i^a}{\sum_{i=1}^{N} \tau_i^a c_i^a}, \tag{2.6}$$

Где T^a, C^a — фактическое время задержки и стоимость i-N работы.

В дальнейшем по результатам мониторинга, в случае задержки строительства, фактическая задержка определенного типа проекта может быть определена на основе календарного графика исполнения, и соответственно будет определена совместная доля ответственность за возможную невыполнение проекта в срок.

Рассмотрим запланированный и фактический график проекта B, который был реализован в республике ирак в 2018 году. Этот проект предполагал строительство здания площадью 800 кв.м. С общим бюджетом 925 тысяч долларов сша. Проект состоит из 14 видов работ, как показано в графике работ, представленном на рисунке 16. Из графика работы видно, что общий плановый период для проекта составляет 120 дней, время начала проекта – 01. 02. 2018, а дата окончания – 05. 30. 2018.

На Рисунке 2.5 показано подробное сравнение запланированного и фактического графиков строительных работ, цифра включает плановый период для каждого события, даты начала и окончания запланированных работ, а также фактическую продолжительность каждого события и фактические даты начала и окончания деятельности. Желтая полоса представляет собой плановое расписание деятельности проекта, а синяя полоса – фактическое.

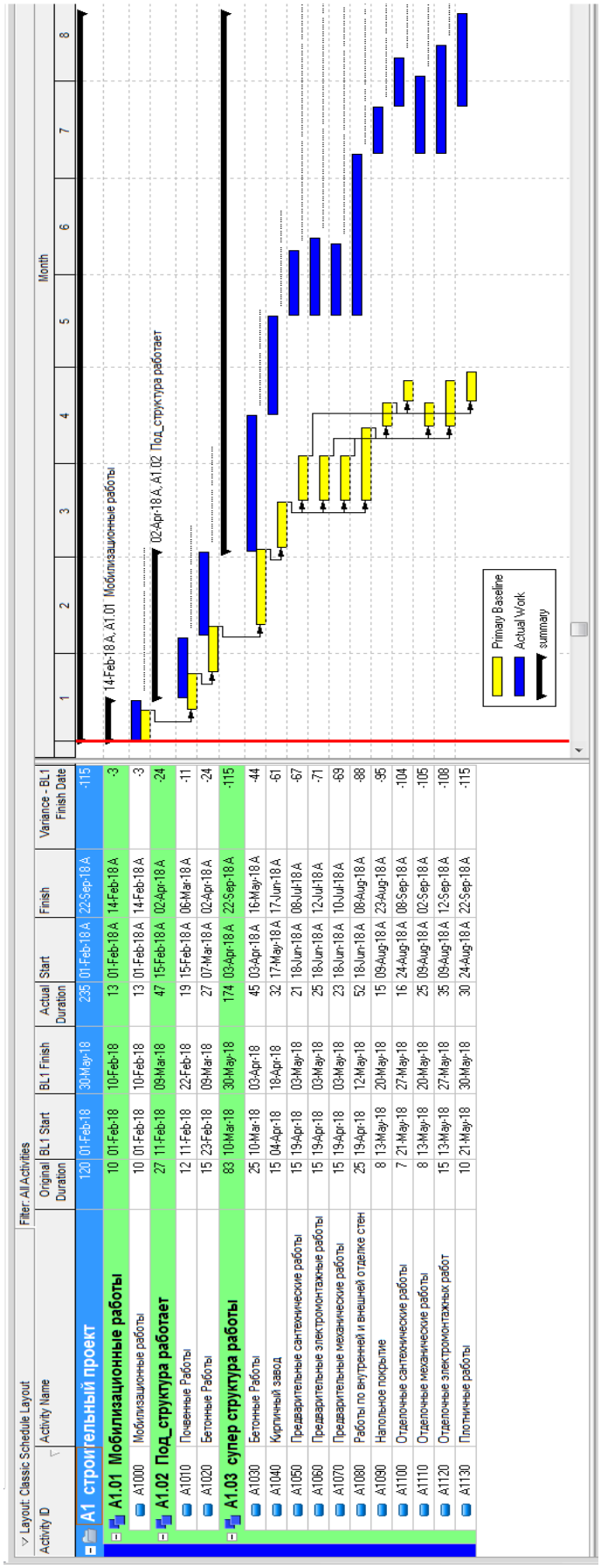

Рисунок 2.5. Сравнение запланированного и фактического графиков строительных работ

Из графика видно, что фактический срок реализации проекта составил 235 дней, а величина задержки в плановом графике - 115 дней, по сравнению с плановым периодом реализации проекта в 120 дней. Таблица 2.4 содержит следующую информацию:

Индекс работы (Инд**)**; вид работы;

–Планируемая продолжительность работы в днях (Т план);

–Фактическая продолжительность работы в днях (Т факт);

–Продолжительность задержки в днях (d); причины задержки;

–Лицо, ответственное за задержку.

Таблица 2.4. Определить ответственность за задержку

Инд	Вид работы	*T* план	*T* факт	*d*	Причины задержки	Ответственный
A1000	мобилизационные работы	10	13	3	из-за плохого управления строительной площадкой	Руководитель проекта
A1010 A1020	фундаментые работы	27	46	7	по причине задержки поставки стройматериалов	Поставщик *No1*
				4	из-за дождя	погодные условия (Внешние факторы)
				8	связаны с нехваткой рабочей силы	Субподрядчик *No1*
A1030	Бетонные работы	25	45	10	из-за бюрократии работодателя	работодатель

Продолжение таблицы 2.4.

				4	связаны с задержкой результатов экспертизы материала Лабораторией структурных испытаний,	Лаборатория строительных материалов
				6	связаны с задержкой предоставления технических рекомендаций консультантом для решения некоторых проблем проектирования	Консультант
A1040	Кирпичные работы	15	32	5	по причине задержки поставки строительных материалов	Поставщик No 2
				7	из-за нехватки ресурсов	Субподрядчик No 2
				5	из-за некомпетентности наблюдателей,	Главный инженер и его помощники
A1080	Отделка работы	25	52	12	связаны с изменением дизайна работодателем	Работодатель

Продолжение таблицы 2.4.

				8	связи с низкой квалификацией, опытом и навыками рабочих	Субподрядчик *No3*
				7	связаны с нехваткой рабочей силы,	Субподрядчик *No3*
A1090	Напольное покрытие			6	связаны с изменением спецификаций и типов материалов работодателем,	Работодатель
A1130	плотничны е работы	8	15	7	из-за низкой производительности труда.	Субподрядчик *No4*
		10	30	14	связаны с политическими событиями.	Внешние факторы

Перечисленные ниже виды работ не указаны в таблице 2.4, потому что они лежат вне критического пути:

A1050-предварительные сантехнические работы;

A1060-предварительные электромонтажные работы;

A1070-предварительные механические работы;

A1100-отделочные сантехнические работы;

A1110-отделочные электромонтажные работы;

A1120-отделочные механические работы.

Общая задержка строительства составила 115 дней. В отношении задержек в работе по вине работодателя, задержек, вызванных погодными условиями, а также задержек, вызванных безопасностью и политическими событиями, которые в сумме составляют 46 дней, вместо него работодатель предоставил компании

дополнительный срок. Таким образом, оставшийся срок просрочки, на основании которого рассчитываются штрафы, составляет всего 69 дней. Следовательно, на основе уравнения (2.7) [122]:

$$P = \frac{C}{T} \times (10 - 25)\% \tag{2.7}$$

Где P - штраф за один день;

C- сумма контракта;

T- срок контракта.

Штрафы будут рассчитаны за задержку в 69 дней, что составляет 53130 долларов США.

Анализируя конкретные задержки в различных видах работ, становится возможным рассчитать соответствующие доли общей ответственности за конечную задержку сдачи проекта, которая определяется по формуле (2.6). В таблице 2.5 рассчитана доля ответственности за задержку для каждого лица, участвующего в строительстве.

Таблица 2.5. Доли ответственности за задержку денежных средств

Индекс работы	Стоимость работы, долл.	Ответственный	Коэффициент задержки	Стоимость Задержка, долл.	Доля ответственности	Пеня доля, долл.
1	30000	Руководитель проекта	0.3	9000	0.016	836,6
2	180000	Поставщик *No1*	0,26	46800	0.082	4350,2
		Субподрядчик *No1*	0,29	52200	0.091	4852,1
3	300000	Работодатель	0,4	120000	0.210	11154,3
		Лаборатория строительных материалов	0,16	48000	0.084	4461,7

Продолжение таблицы 2.5.

		Консультант	0,24	72000	0.126	6692,6
4	80000	Поставщик *No2*	0,333	26640	0.047	2476,3
		Субподрядчик *No2*	0,46	36800	0.064	3420,7
		Главный инженер и его помощники	0,333	26640	0.047	2476,3
8	150000	Субподрядчик *No3*	0,32	48000	0.084	4461,7
		Субподрядчик *No3*	0,28	42000	0.073	3904
9	50000	Субподрядчик *No4*	0,87	43500	0.076	4043,4
Сумма	-	-	-	571580	-	-

Применение байесовского подхода к определению совместной ответственности за задержки строительства на этапе оперативного управления позволит предотвратить некоторые задержки и в конечном итоге рассчитать фактическое значение ответственности участникам, вызывающим задержки строительства, что позволит избежать убытков, связанных с ним. Также на этапе завершения строительства байесовский подход может быть основой для расчета итоговых долей солидарной ответственности участников строительства.

2.4 Выводы по второй главе

1. Для решения проблемы задержек в строительстве, была разработана обобщенная схема, включающий группа способов, прямо и косвенно влияющих на минимизацию задержек строительных работ.

2. Для сокращения затрат, связанных с созданием базы данных трудовых затрат в строительстве, разработан алгоритм нейросетевой регенерации норм на основе оценки соответствующих актуальных данных, которые формируются по исполнительной документации реализованных строительных проектов в организациях, участвующих в их реализации.

3. В заключительной стадии реализации строительного проекта возникают убытки, связанные с несвоевременным вводом проекта в эксплуатацию и для их регрессионного распределения разработана методика, основанная на байесовском подходе и на данных по задержкам и стоимостям фактически выполненных работ, что позволяет косвенно воздействовать на минимизацию задержек в будущем строительстве.

ГЛАВА 3 КОМПЕНСАЦИЯ ЗАДЕРЖКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

3.1 Оптимизационный поиск комплекса условий, выполнение которых ориентировано на компенсацию задержки строительства

Для оптимизации графиков строительства с использованием системы линейных уравнений рекомендуется использовать метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК), основы которого изложены в [123, 124, 125].

Используемый подход основан на последующем изображении продолжительности работы. Для иллюстрации: при рассмотрении конкретного количества трудовых ресурсов (R) и соответствующей трудоемкости (Q) используется формула для выяснения продолжительности выполнения каждой задачи (T) [126]:

$$T = \frac{Q}{R} \tag{3.1}$$

Необходимо изменить зависимость между сроком строительства и количеством трудовых ресурсов, которая обратно пропорциональна, представленную в уравнении (3.1), в линейную форму, поскольку оптимизация метода осуществляется методом линейного программирования, для этой цели вводится коэффициент неопределенности ресурса, как показано в уравнении (3.2) [126]:

$$\alpha = \frac{R_{max} - R}{R}, \tag{3.2}$$

Где α – коэффициент неопределенности ресурса;

R_{max} – максимальное количество трудовых ресурсов;

R – количество оптимизированных ресурсов.

Можно рассчитать продолжительность соответствующей работы, когда количество ресурсов представляет собой переменное значение, ограниченное максимальным значением R_{max}, по следующей формуле:

$$T = \frac{Q}{R} + \frac{Q}{R_{max}} - \frac{Q}{R_{max}} = \frac{Q}{R_{max}} + \frac{Q}{R_{max}}\left(\frac{R_{max}}{R} - 1\right) = \frac{Q}{R_{max}} + a\frac{Q}{R_{max}} \qquad (3.3)$$

Представление продолжительности работы как переменной, линейно зависящей от коэффициента неопределенного ресурса, можно вывести из формулы (3.3), особенно когда продолжительность работы изначально не определена, а ограничена минимальным значением.

$$T = T_{min} + aT_{min} \qquad (3.4)$$

Помимо продолжительности работ, система линейных уравнений должна включать в себя растяжки связей [127] и временные ограничения начала и окончания работ по календарному графику [128]. Изменяя значения, присвоенные ресурсам и фронтальным связям, можно добиться разных способов организации строительства.

Для иллюстрации процесса моделирования графиков строительства проанализируем базовую организационно-технологическую схему строительства [128], изображенную на рисунке 3.1, и рассмотрим ее основные характеристики.

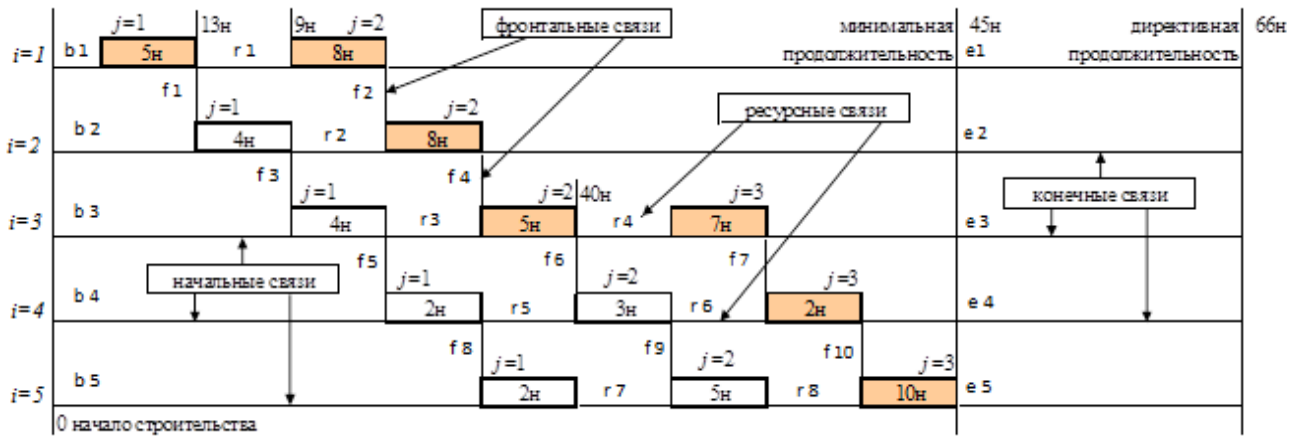

Рисунок 3.1. Примерная схема организационно-технологической строительства

Реализация организационно-технологической схемы предполагает выполнение пяти различных видов работ, обозначенных первым индексом (*i*), которые выполняются по двум или трем отдельным фронтам, обозначенным вторым индексом (*j*). Прямоугольники, обозначающие каждое задание, отображают минимальную продолжительность в неделях. Технологическая последовательность и приоритетность работ на частных фронтах определяются традиционными фронтальными связями (*fij*) и ресурсными связями (*rij*), установленными между работами. Для облегчения создания системы линейных уравнений также указываются начальная и конечная связи. Начальные связи (*bij*) иллюстрируют зависимости времени начала работ от соответствующих временных ограничений, а конечные связи (*eij*) изображают зависимости завершения работ от соответствующих временных ограничений.

При создании графика строительства одной из основных задач является обеспечение завершения строительства в течение заданного целевого срока, известного как – Td (директивная продолжительность) [129], а также соблюдение установленных ограничений по времени и ресурсам. Приведенный пример иллюстрирует конкретные требования, например, первую задачу на первом фронте необходимо выполнить к 13-й неделе, третью задачу на втором фронте необходимо выполнить к 40-й неделе, а первая задача на втором фронте должна начаться не ранее 9-й недели.

Используя директивную продолжительность, можно установить систему уравнений (3.5), которая точно представляет организационно-технологическую схему (ОТС), показанную на рисунке 3.1.

1) $b_1+13a_1+r_1+e_1=66-13$

2) $b_2+12a_2+r_2+e_2= 66-12$

3) $b_3+16a_3+r_3+r_4+e_3=66-16$

4) $b_4+7a_4+r_5+r_6+ e_4= 66-7$

5) $b_5+17a_5+r_7+ r_8+e_2=66-17$

6) $b_1+5a_1+12a_2+f_1+r_2+e_2=66-17$

7) $b_2+13a_1+8a_2+f_2+r_1+e_2=66-21$

$$8)\ b_2+4a_2+16a_3+f_3+r_3+r_4+e_3=66-20$$

$$9)\ b_2+12a_2+12a_3+f_4+r_2+r_4+e_3=66-24$$

$$10)\ b_3+4a_3+7a_4+f_5+r_5+r6+e_4=66-11$$

$$11)\ b_3+9a_3+5a_4+f_6+r_3+r_6+e_4=66-14$$

$$12)\ b_3+16a_3+2a_4+f_7+r_3+r_4+e_4=66-18$$

$$13)\ b_4+2a_4+17a_5+f_8+r_7+\ r_8+e_5=66-19$$

$$14)\ b_4+5a_4+15a_5+f_9+r_5+r_8+e_5=66-20$$

$$15)\ b_4+7a_4+10a_5+f_{10}+r_5+r_6+e_5=66-17$$

$$16)\ 8a_1+r_1+e_1=66-13$$

$$17)\ 8a_1+e_1=66-9$$

$$18)\ 7a_3+r_4+e_3=66-40 \qquad (3.5)$$

В представленной системе уравнений (3.5) первые пять уравнений определяются как уравнения ресурсов, объединяющие всех работников, выполняющих аналогичные задачи, включая все связи и продолжительности работы одного и того же типа, от текущего фронта до финального фронта.

Следующие 13 уравнений построены с использованием передних связей, которые синхронизируют верхнюю и нижнюю части соответствующих уравнений ресурсов. Каждое фронтальное звено составляет фронтальные уравнения, которые связывают начальную часть верхней ветви уравнения с нижней ветвью конечной части уравнения.

Последняя тройка уравнений классифицируется как уравнения ограничений и служит для обозначения ограничений, связанных с началом или завершением задач.

Предоставленные уравнения содержат коэффициенты для неизвестных ресурсов, которые играют решающую роль в определении потенциальных изменений первоначально установленной минимальной продолжительности работ.

Чтобы повысить эффективность планирования, будь то за счет сокращения или увеличения ресурсов [130, 131, 132, 133] становится обязательным рассмотреть результирующую систему линейных уравнений. Этого можно достичь, используя традиционный подход линейного программирования [134,135] в котором для

определения ограничений, касающихся топологии, времени и ресурсов, используется набор линейных уравнений и неравенств:

$$b = \sum Ti + \sum Ti*\alpha i + \sum bij + \sum rij + \sum fij + \sum eij \quad (3.6)$$

где b – допустимый запас времени;

$\sum Ti$ – сумма наименьших длительностей описываемых задач;

$\sum Ti*\alpha i$ – сумма произведений наименьшего строительного периода работы и соответствующего коэффициента неопределенного ресурса;

$\sum bij$ – сумма растяжений начальных связей описываемой работы;

$\sum rij$ – сумма диапазонов подключения ресурсов описываемой работы;

$\sum fij$ – сумма растяжений фронтальных связей описываемых работ;

$\sum eij$ – сумма растяжений конечных связей описываемых работ;

i – вид работы;

j – Порядковый номер связи.

Одновременно строится целевая функция, которая включает в себя сумму ресурсных коэффициентов, умноженную на продолжительность их работы, а также учитывает важность выполнения всех задач, обозначенных в календарном графике.

$$z = \sum_{i=1}^{I} (t_i . a_i) \rightarrow min \quad (3.7)$$

Где t_i – минимальная продолжительность i-го вида работ;

α – коэффициент неопределенности ресурса;

I – количество видов работ.

Для согласования поставленной задачи с потоковыми методами организации работы необходимо учитывать принципиальные характеристики получаемой системы и разработать подходящие алгоритмы расчета. Следовательно, чисто формальный подход требует определения наивысшего значения целевой функции (3.7). С учетом расчета срока, необходимого для отдельных задач, как указано в формуле (3.4), проанализируем график строительства *Проекта № 1*, состоящего из трех зданий, реализованного за последнее десятилетие в Республике Ирак. На

Рисунке 3.2 показан подробный график строительства, а на Рисунке 3.3 представлен общий вид комплекса.

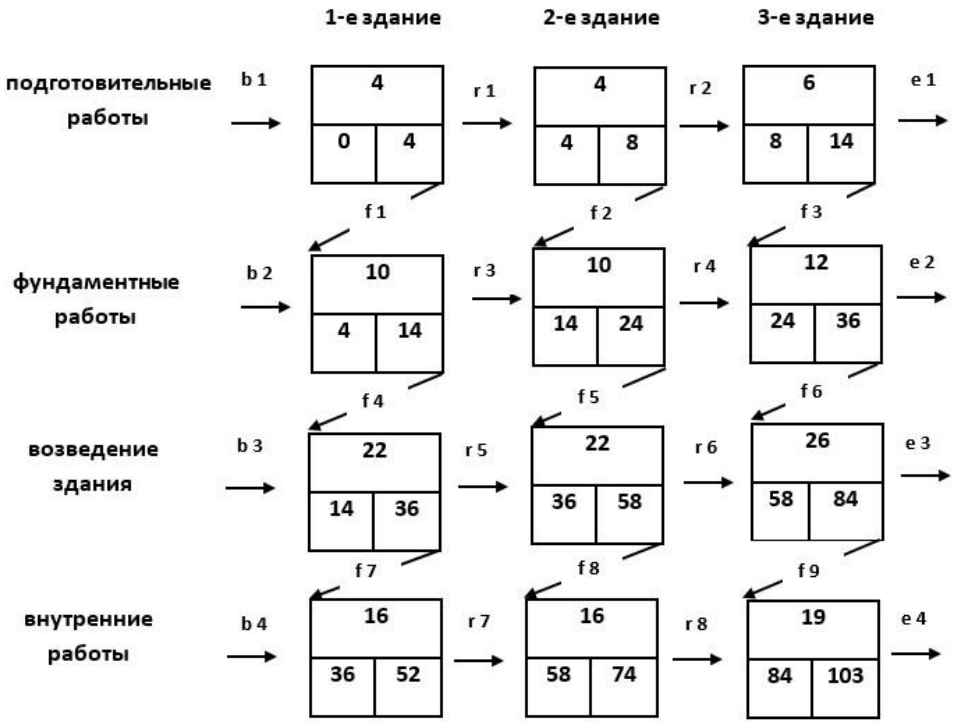

Рисунок 3.2. Расписание поточного строительства 3-х университетских зданий

Рисунок 3.3. Общий вид проекта *№1*

В результате формирования графика работ [136] на рисунке 3.2, было установлено, что расчетная продолжительность строительства T^p =103 недели. Основные характеристики представлены соответствующими прямоугольниками, вверху – продолжительность работы, а нижний левый и нижний правый прямоугольники указывают начало и конец работы соответственно. Также показаны переменные расписания, такие как соединения ресурсов (r_i) и фронтальные соединения (f_j). Кроме того, включаются первоначальные связи (b_k), чтобы показать несоответствия между началом общего проекта разработки и началом соответствующих видов работ. Аналогично, конечные связи (e_k) демонстрируют расхождения между окончанием общего проекта разработки и окончанием соответствующих видов работ.

Кроме расчетной продолжительности, застройщиком обычно указывается директивную продолжительность – T^d = 100 недель. Используя директивную продолжительность, становится возможным создать систему уравнений, описывающую организационно-технологическую диаграмму (ОТС), как показано на рисунке 3.2.

$$1)\ b_1+14a_1+r_1+r_2+e_1= T^d -14$$

$$2)\ b_2+32a_2+r_3 +r4+e_2= T^d -32$$

$$3)\ b_3+70a_3+r_5+r_6+e_3= T^d -70$$

$$4)\ b_4+51a_4+r_7+r_8+ e_4= T^d -51$$

$$5)\ b_1+4a_1+32a_2+f_1+r_3+r_4+e_2= T^d -36$$

$$6)\ b_1+8a_1+22a_2+f_2+r_1+r_4+e_2= T^d -30$$

$$7)\ b_1+14a_1+12a_2+f_3+r_1+r_2+e_2= T^d -26$$

$$8)\ b_2+10a_2+70a_3+f_4+r_5+r_6+e_3= T^d -80$$

$$9)\ b_2+20a_2+48a_3+f_5+r_3+r_6+e_3= T^d -68$$

$$10)\ b_2+32a_2+26a_3+f_6+r_3+r_4+e_3= T^d -58$$

$$11)\ b_3+22a_3+51a_4+f_7+r_7+r8+e_4= T^d -73$$

$$12)\ b_3+44a_3+35a_4+f_8+r_5+r_8+e_4= T^d -79$$

$$13)\ b_3+70a_3+19a_4+f_9+r_5+r_6+e_4= T^d -89 \qquad (3.8)$$

Основной целью решения системы уравнений (3.8) является нахождение допустимого базового решения с использованием подхода линейного программирования, изложенного в [134]. Кроме того, если расчетная длительность меньше директивной, то можно найти допустимое базовое решение для системы (3.8). Однако, если директивная продолжительность меньше расчётной, становится невозможным получить приемлемое базовое решение. Тем не менее, пока Td < Tp, получение базового решения остается возможным, хотя и неприемлемым.

Основной особенностью предлагаемого совершенствования метода неопределенных ресурсных коэффициентов является использование симплекс алгоритма поиска базисного решения при отрицательных резервах времени уравнений, которые в совокупности представляют недопустимое базисное решение [132]. 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.

При решении системы уравнений (3.8) стало очевидно, что существует только одна базовая переменная с отрицательным значением. Это значение означает, что завершение внутренних работ в третьем здании проекта опоздает на 3-м недели. Следовательно, чтобы компенсировать эту задержку, можно соответствующим образом повлиять на все переменные, включенные в уравнение (3.9).

$$b_1+4a_1+f_1+10a_2+f_4+70a_3+f_9+19a_4+r_5+r_6+\underline{e}_4= -3 \qquad (3.9)$$

В последующей последовательности давайте внимательно рассмотрим доступные альтернативы принятия решений для лица, принимающего решения (ЛПР) [126].

– ЛПР, считает выявленную задержку строительства приемлемой и, таким образом, не требует никаких дальнейших действий.

– Если ЛПР, обнаружит, что указанная задержка не подходит и связана с конкретным ограничением времени, установленным для мероприятия, оно может принять решение снять препятствующее ограничение.

– Задержки можно сократить за счет увеличения рабочей силы.

– Может минимизировать задержки, изменив профили ресурсов, чтобы увеличить перекрытие между соседними заданиями одного и того же типа.

– Может минимизировать задержки за счет увеличения перекрытия между смежными действиями, выполняемыми в заданной технологической последовательности.

Рассмотрим математический способ компенсации задержки путем увеличения максимального количества ресурсов. Если свободная переменная в уравнении (3.9), равная $19a_4$, приравнять задержке, то это можно описать с помощью уравнения (3.10):

$$19a_4 = 19\left(\frac{R_{4max}}{R_4} - 1\right) = -3 \qquad (3.10)$$

Решая уравнение R4max/R4, получаем значение, при котором конкретная задержка компенсируется увеличением ресурсов конкретной деятельности. Соответственно, это значение равно 19/16 для увеличения ресурсов по 4-му виду работ. По-простому, чтобы компенсировать задержку в 3 недели, необходимо увеличить ресурсы четвертого вида работ на 18%.

Другой вариант, если ЛПР не может выделить дополнительные ресурсы на четвертый вид работ, альтернативным вариантом, рассмотрим увеличение ресурсов другого вида работ для компенсации задержки (3 недели), например увеличение ресурсов первого фронта первого вида работ в 4 раза, для ресурсов первого фронта второго вида работ компенсация задержки требует увеличения ресурсов на 42%, а для ресурсов третьего вида работ прирост ресурсов составит 4,4%. Таким образом, имеющиеся варианты увеличения ресурсов отдельных видов работ позволяют выбрать оптимальный организационный эффект, направленный на компенсацию задержки строительства.

Причем решение с использованием предлагаемого оптимизация метода МНРК может дать оптимальный организационный эффект как комплексный, включающее увеличение множества ресурсов для различных типов работы, так и единичное, с особым упором на увеличение ресурсов для одного конкретного типа

работы. Это зависит от количества уравнений, содержащих отрицательные значения, так как решение в методе неопределенных ресурсных коэффициентов может дать распределение увеличение ресурсов на сокращение продолжительности строительства по конкретному числу строительных операций, которые появляются при анализе решения в виде уравнений, содержащих отрицательные значения.

Из результатов решения уравнения 3.2 видно, что разработанный нами метод дает набор вариантов решения. Один из таких вариантов является непосредственным, что показано в предлагаемом решении для ресурсов первого вида работы $4a_1$ (подготовленные работы первого здании). Но возможное решение дает увеличение ресурсов на последней работе, например предлагаемое решение по ресурсам последнего вида работы $19a_4$ (внутренние работы третьего здании). Решение дает и следующий вариант, связанный с увеличением ресурсов во всех работах, относящихся к одному виду работ, например, анализ решения уравнения 3.9 в переменной $70a_3$ дает возможность увеличения ресурсов для всех работ, входящих в процесс возведение здания, за счет увеличения ресурсов на 4,4%, чтобы уменьшить продолжительности строительства на 3 недели, таким образом получается прирост ресурсов для всей группы работ, принадлежащих одному процессу.

С целью найти организационное решение вопроса компенсации за задержку. Для этого выберем группу работ, относящуюся к одному виду работ. Если предыдущая работа выполняется с линейным уменьшением ресурсов, а последующая работа — с линейным увеличением ресурсов [137] можно достичь оптимальной эффективности, предполагая, что обе задачи имеют одинаковую продолжительность и трудоемкость. В результате становится возможным перейти от последовательного к параллельному выполнению определенных задач, эффективно сокращая любые задержки. Для нашего примера, работу по возведению второго здания можно совместить с возведением первого здания путем введения отрицательного лага времени, равного 3 неделям. В результате при отсутствии ограничений для этих работ, можно реализовать проект в указанные

директивная продолжительность. Эта процедура может применена при возведение третьего здания путем совмещения с возведением второго здания, что в итоге дает тот же результат.

Другое решение проблемы компенсации задержки называется технологическим решением. Для компенсации задержки можно объединить смежные задачи, выполняемые в определенной технологической последовательности. Например, задержку можно компенсировать, введя отрицательный временной лаг в 3 недели между работами на возведении здания и внутренними работами. Действительно, с появлением современных технологий некоторые внутренние задачи теперь могут быть решены до завершения наземного строительства, так как можно проводить внутренние работы на нижних этажах, где работы по конструкции завершены и подготовлены к внутренним работам, продолжая при этом установить конструкции верхних этажей для ускорения работ. Определенный совмещение работ может быть реализован путем введения отрицательных временных лагов, которые можно ввести в программы управления проектами Microsoft Project и Project Expert [138], [139].

В нашем анализе мы продемонстрировали, что предлагаемое усовершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов концентрируется на генерировании недопустимого базисного решения. Это позволяет выявить составляющие графика строительства, за счет которых можно компенсировать задержки в строительстве. Результаты также указывают на то, что существуют различные подходы к уменьшению задержек в строительстве, включая сочетание сокращения продолжительности определенных задач и с введением отрицательных лагов времени с помощью программного обеспечения для управления проектами.

3.2 Практические примеры формирования компенсационных графиков работ при реализации строительных проектов в Ираке

Рассмотрим следующие практические примеры (проекты, реализованные в Республике Ирак), показывающие компенсацию задержек строительства во время мониторинга за счет увеличения ресурсов с использованием предлагаемого усовершенствования метода неопределенных ресурсов коэффициентов:

Проект № 2 – В настоящее время в городе Шатра на юге Ирака строится больница, состоящая из четырех зданий общей площадью 60 000 квадратных метров, директивная продолжительность строительства проекта 130 недель, работы на объекте завершены на 15 %. Стоимость проекта – 70 миллиона долларов США. На рисунке 3.4 показан общий вид Проекта.

Рисунок 3.4. Общий вид проекта *№2*

На рисунке 3.5 показан график работы оставшихся работ по проекту, директивная продолжительность остальных работ согласно плановому графику

проекта составляет 103 недели, а расчетная продолжительность на рисунке 3.5 составляет 110 недель, поэтому получается, что у нас задержка 7 недель.

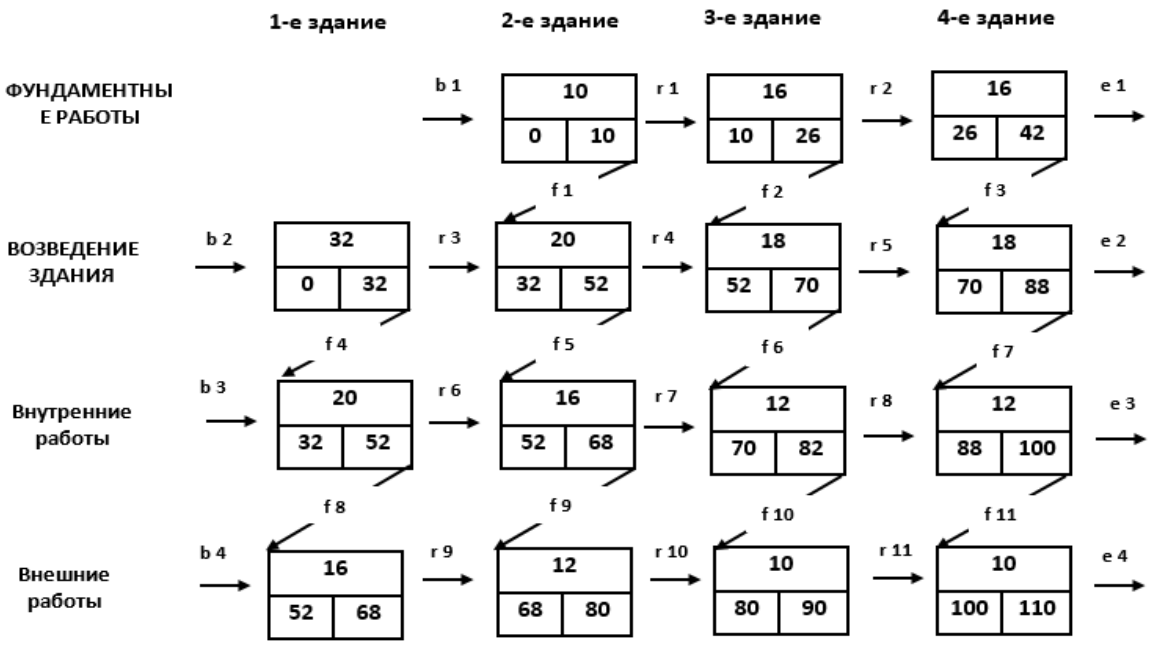

Рисунок 3.5. Расписание поточного строительства проект *№ 2*

На рисунке 3.6 вид на работы, выполненные по Проекту *№2*.

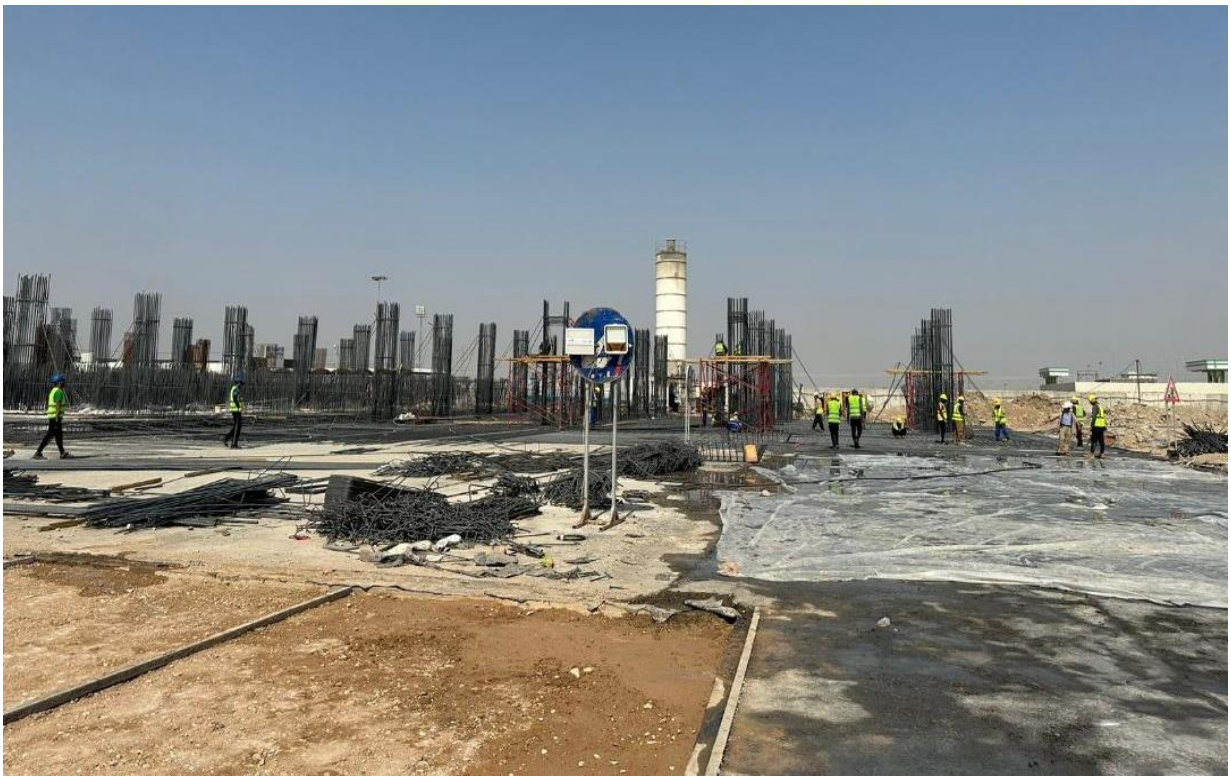

Рисунок 3.6. Вид на работы, выполненные по Проекту *№2*

Варианты, доступные ЛПР, по сокращению задержки, изложены в параграфе 3.1. Если лицо, принимающее решение, решит компенсировать задержку за счет увеличения ресурсов в оставшейся работе, можно использовать предлагаемое улучшение метода МНРК. Организационно-технологическая схема (ОТС), изображенная на рисунке 3.5, была построена и описана с помощью системы уравнений (3.11) с директивной продолжительностью 103 недели.

$$
\begin{aligned}
&1)\ b_1+42a_1+r_1+r_2+e_1= 61\\
&2)\ b_2+88a_2+r_3+r_4+r_5+e_2= 15\\
&3)\ b_3+60a_3+r_6+r_7+r_8+e_3= 43\\
&4)\ b_4+48a_4+r_9+r_{10}+r_{11}+e_4= 55\\
&5)\ b_1+10a_1+56a_2+f_1+r_4+r_5+e_2= 37\\
&6)\ b_1+26a_1+36a_2+f_2+r_1+r_5+e_2= 41\\
&7)\ b_1+42a_1+18a_2+f_3+r_1+r_2+e_2= 43\\
&8)\ b_2+32a_2+60a_3+f_4+r_6+r_7+r_8+e_3= 11\\
&9)\ b_2+52a_2+40a_3+f_5+r_3+r_7+r_8+e_3= 11\\
&10)\ b_2+70a_2+24a_3+f_6+r_3+r_4+r_8+e_3= 9\\
&11)\ b_2+88a_2+12a_3+f_7+r_3+r_4+r_5+e_3= 3\\
&12)\ b_3+20a_3+48a_4+f_8+r_9+r_{10}+r_{11}+e_4= 35\\
&13)\ b_3+36a_3+32a_4+f_9+r_6+r_{10}+r_{11}+e_4= 35\\
&14)\ b_3+48a_3+20a_4+f_{10}+r_6+r_7+r_{11}+e_4= 35\\
&15)\ b_3+60a_3+10a_4+f_{11}+r_6+r_7+r_8+e_4= 33
\end{aligned}
\qquad (3.11)
$$

Анализ решения показал, что у нас есть более одного уравнения, содержащего отрицательное значение как показано в системе уравнений (3.12), в этом случае метод предоставляет несколько вариантов уменьшения задержки:

$$
\begin{aligned}
&b_2+88a_2+12a_3+10a_4+f_7+f_{11}+r_3+r_4+r_5+e_4= -7\\
&b_2+32a_2+48a_3+20a_4+f_4+f_{10}+r_6+r_7+r_{11}+e_4= -5\\
&b_2+32a_2+36a_3+32a_4+f_4+f_9+r_6+r_{10}+r_{11}+e_4= -5
\end{aligned}
\qquad (3.12)
$$

В этом случае организационное воздействие оказывается комплексным, из-за множества уравнений, содержащих отрицательные значения, чтобы компенсировать задержку, рассмотрим следующие варианты:

Первый вариант – уменьшить всю задержку (7 недель) в первом уравнении, как показывают результаты расчетов на основе уравнения (3.2) в таблице 3.1:

Таблица 3.1. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 7 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	8 %	800 тыс. долл.
R 3	140 %	720 тыс. долл.
R 4	230 %	660 тыс. долл.

В таблице 3.1 увеличение ресурсов второго вида работ на 8% представляет собой все фронты, связанные с видом работ (возведение здания), увеличение ресурсов третьего вида работ на 140% представляет собой увеличение ресурсов для внутренние работы четвертого здания, а увеличение ресурсов четвертого вида работ на 230% представляет собой увеличение ресурсов для внешних работ четвертого здания. Другие варианты заключаются в разделении задержки между двумя уравнениями. Например, можно уменьшить задержку на две недели в первом уравнении и на 5 недель во втором уравнении, результаты чего показаны в Таблице 10, или наоборот. Это касается и третьего уравнения, которое содержит отрицательное значение, так как его результаты приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	2 %	200 тыс. долл.
R 3	20 %	60 тыс. долл.
R 4	25 %	50 тыс. долл.
Сумма задержки (*d*)= 5 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	18 %	720 тыс. долл.

Продолжение таблицы 3.2.

R 3	11 %	170 тыс. долл.
R 4	33 %	132 тыс. долл.

Конечный результат увеличения ресурсов в таблице 3.3 представлен суммированием затрат на увеличение ресурсов, полученных из первого и второго уравнения для каждого вида работы в отдельности, что представлено увеличением ресурсов второго вида на сумму 920 тыс. долл., третий вид на сумму 230 тыс. долл. и четвертый вид на сумму 182 тыс. долл.

Таблица 3.3. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	2 %	200 тыс. долл.
R 3	20 %	60 тыс. долл.
R 4	25 %	50 тыс. долл.
Сумма задержки (*d*)= 5 н.		
вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	18 %	720 тыс. долл.
R 3	16 %	200 тыс. долл.
R 4	18 %	117 тыс. долл.

Рассмотрим и другой вариант, который заключается в разделении задержки между тремя уравнениями, например, можно компенсировать трехнедельную задержку в первом уравнении и по две недели для второго и третьего уравнений так как его результаты приведены в таблице 12, и т. д., поскольку метод предоставляет ЛПР, множество вариантов.

Таблица 3.4. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 3 н.

Продолжение таблицы 3.4.

вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	3 %	300 тыс. долл.
R 3	33 %	99 тыс. долл.
R 4	42 %	84 тыс. долл.
Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	6 %	240 тыс. долл.
R 3	4 %	62 тыс. долл.
R 4	11 %	44 тыс. долл.
Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	6 %	240 тыс. долл.
R 3	5 %	62,5 тыс. долл.
R 4	6 %	39 тыс. долл.

При сравнении результатов операций увеличения ресурсов по видам работ, входящих в переменные системы (3.12), с уравнениями, содержащими отрицательные значения, видно, что результаты, приведенные в таблице 3.2, являются наименее затратными результатами, особенно увеличение ресурсы четвертого вида, равные 182 тыс. долл., считаются наиболее подходящими для ЛПР.

Проект № 3 – В настоящее время в древнем городе Уре на юге Ирака строится туристический проект, который включает в себя древнее здание Зиккурат и место рождения Пророка Ибрагима 5000 г. до н.э. Проект состоит из трех зданий: Римского культурного театра, Шумерского театра и развлекательного здания. Площадь проекта составляет 4000 квадратных метров, директивная продолжительность строительства проекта 156 недель, объект завершено на 66%, стоимость проекта составляет 15 миллионов долларов США. На рисунке 3.7 вид на одно из зданий проекта.

Рисунок 3.7. Общий вид здания Римского культурного театра

На рисунке 3.8 показан график оставшихся работ по проекту, директивная продолжительность остальных работ согласно плановому графику проекта составляет 53 недель, а расчетная продолжительность на рисунке 3.8 составляет 55 недель, поэтому получается, что у нас задержка 2 недели.

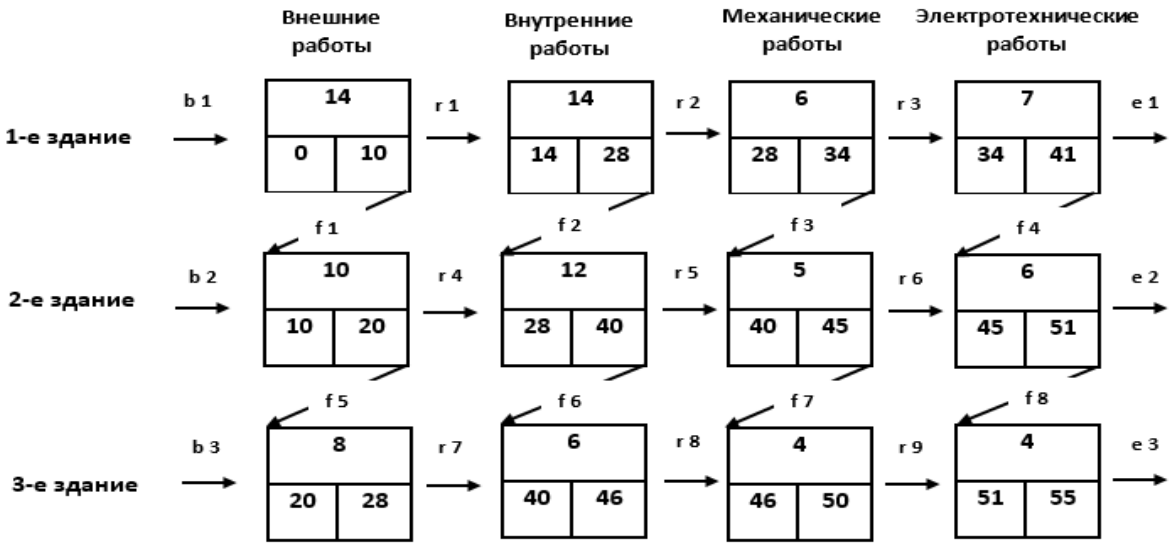

Рисунок 3.8. Расписание поточного строительства проект *№ 3*

Организационно-технологическая схема (ОТС), изображенная на рисунке 3.8, была представлена системой уравнений (3.13) с использованием директивной продолжительности 53 недели.

$$1)\ b_1+41a_1+r_1+r_2+r_3+e_1= 12$$
$$2)\ b_2+33a_2+r_4+r_5+r_6+e_2= 20$$
$$3)\ b_3+22a_3+r_7+r_8+r_9+e_3=31$$
$$4)\ b_1+14a_1+33a_2+f_1+r_4+r_5+r_6+e_2= 6$$
$$5)\ b_1+28a_1+23a_2+f_2+r_1+r_5+r_6+e_2= 2$$
$$6)\ b_1+34a_1+11a_2+f_3+r_1+r_2+r_6+e_2= 8$$
$$7)\ b_1+41a_1+6a_2+f_4+r_1+r_2+r_3+e_2= 6$$
$$8)\ b_2+10a_2+22a_3+f_5+r_7+r_8+r_9+e_3= 21$$
$$9)\ b_2+22a_2+14a_3+f_6+r_4+r_8+r_9+e_3= 17$$
$$10)\ b_2+27a_2+8a_3+f_7+r_4+r_5+r_9+e_3= 18$$
$$11)\ b_2+33a_2+4a_3+f_8+r_4+r_5+r_6+e_3= 16 \qquad (3.13)$$

Анализ решения показал, что у нас есть более одного уравнения, содержащего отрицательное значение как показано в системе уравнений (3.14):

$$b_2+28a_1+23a_2+4a_3+f_2+ f_8+r_1+r_5+ r_6+e_3= -2$$
$$b_2+28a_1+12a_2+14a_3+f_2+ f_6+r_1+r_8+ r_9+e_3= -1 \qquad (3.14)$$

Чтобы компенсировать задержку, рассмотрим следующие два варианта:

Первый вариант – уменьшить всю задержку (2 недель) в первом уравнении, как показывают результаты расчетов на основе уравнения (3.2) в таблице 3.5:

Таблица 3.5. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 1	7 %	56 тыс. долл.
R 2	9 %	54 тыс. долл.
R 3	100 %	100 тыс. долл.

Второй вариант — компенсировать задержку путем распределения значения задержки по двум уравнениям, как показано в Таблице 3.6:

Таблица 3.6. Проценты и затраты на увеличение ресурсов по видам работ на этапе мониторинга

Сумма задержки (*d*)= 1 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 1	3 %	21 тыс. долл.
R 2	4 %	14 тыс. долл.
R 3	33 %	115 тыс. долл.
Сумма задержки (*d*)= 1 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 1	7 %	56 тыс. долл.
R 2	20 %	70 тыс. долл.
R 3	16 %	56 тыс. долл.

При сравнении результатов операций увеличения ресурсов по видам работ, входящих в переменные системы (3.14), с уравнениями, содержащими отрицательные значения, видно, что результаты, приведенные в таблице 3.6, являются наименее затратными результатами, особенно увеличение ресурсы второго вида, равные 54 тыс. долл., считаются наиболее подходящими для ЛПР.

На представленных выше примерах, отражающих реальные проекты, реализуемые в Республике Ирак, нами доказано, что использование метод МНРК приведет к сокращению задержки строительства. При этом разработанный метод позволяет получить множественных решений для компенсации отрицательных величин, в полученных уравнениях. Более того в них сосредоточено такое основное решение, которое приводит к возможности множественных вариантов увеличения ресурсов в видах работ.

3.3 Выводы по третьей главе

1. Основной особенностью предлагаемого совершенствования метода МНРК является использование симплекс алгоритма поиска базисного решения при отрицательных резервах времени уравнений, которые в совокупности представляют недопустимое базисное решение. 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.
2. Показано, что применение предложенного усовершенствования к методу МНРК продемонстрировало свою эффективность в оперативном решении проблем с задержками в строительстве. Результаты показывают, что существуют различные подходы к смягчению этих задержек, такие как сокращение продолжительности выполнения отдельных задач и с введением отрицательных лагов времени, чего можно достичь за счет использования программного обеспечения для управления проектами.
3. На прикладных примерах, связанных с реализацией проектов в Республике Ирак, было доказано, что использование метод МНРК приведет к сокращению задержки строительства и дает возможность получения множественных решений, направленных на компенсацию отрицательных величин в уравнениях, представляющих основное решение.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ, СВЯЗАННЫХ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, НАПРАВЛЕННОГО НА МИНИМИЗЗАЦИЮ ЗАДЕРЖЕК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

4.1 Алгоритм комплексного методического обеспечения минимизации задержки строительства объектов

В целях совершенствования планирования, организации и оперативного управления строительством в республике Ирак, разработан алгоритм комплексного методического обеспечения, направленный на минимизацию несвоевременности работ [140], блок-схема которого представлена на рисунке 4.1:

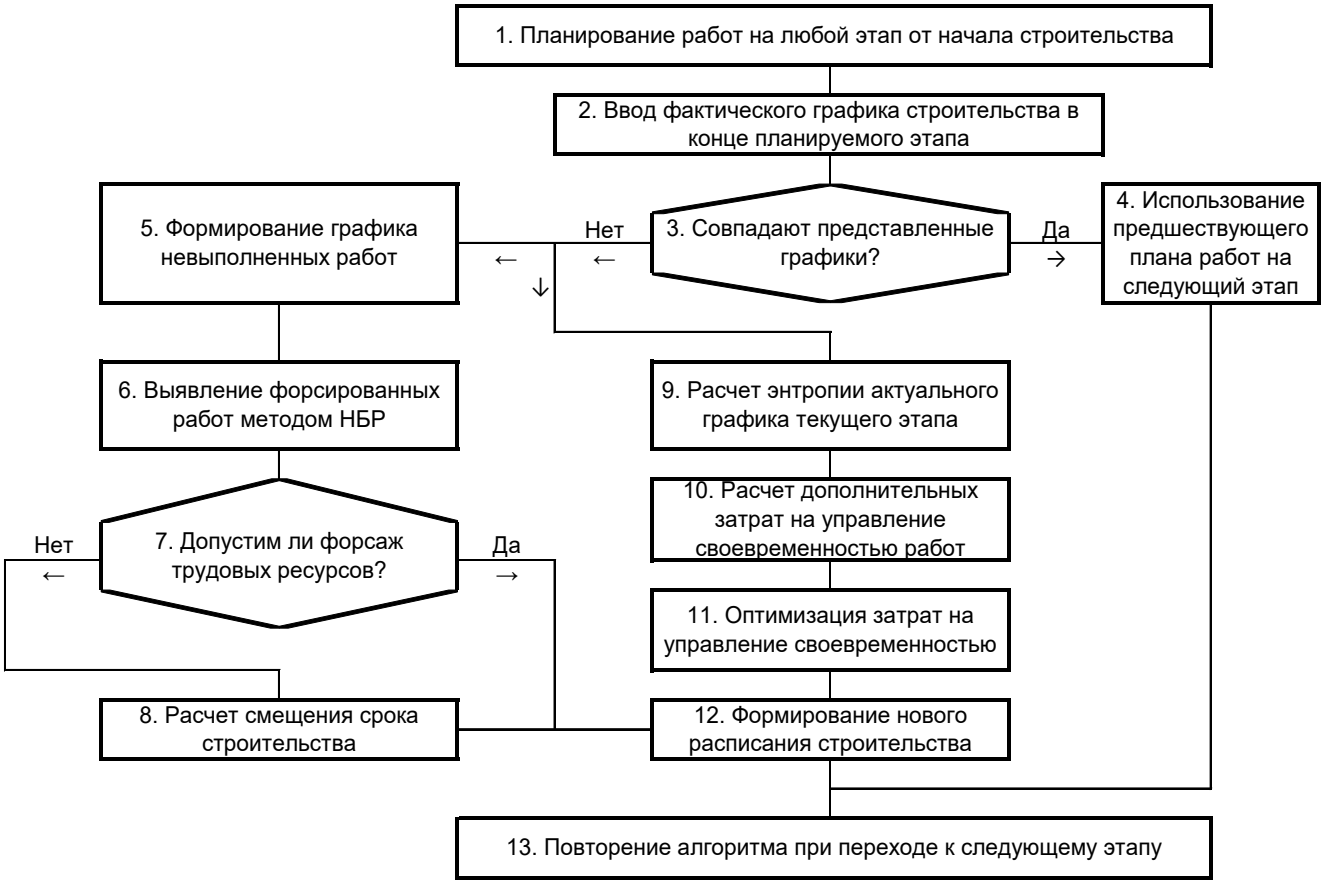

Рисунок 4.1

В разработанном алгоритме осуществляется сравнение плана и факта его выполнения на некотором этапе, определенном индексом — *l*, а сам алгоритм состоит из двух функционально отличных составляющих.

В первую составляющую входит усовершенствованный в диссертации метод планирования, основанный на формировании ОТС, описываемую уравнениями, включающими неопределенные ресурсные коэффициенты. Данное усовершенствование базируется на поиске недопустимого базового решения (НБР) для набора линейных уравнений, описывающих структуру календарного расписания, а также ограничения по ресурсам и времени. Модули отрицательных резервов времени в уравнениях указывают на необходимость сокращения продолжительности заданной работы путем воздействия на соответствующие параметры НБР. Во вторую составляющую входит нейтрализация будущих задержек на основе расчета показателя энтропии выполненных работ. Одновременно разработана методика расчета дополнительных расходов, связанных с обеспечением своевременного выполнения плана работ, с целью предотвращения нежелательных отклонений от запланированного выполнения в будущем.

Начальный этап процесса строительства включает в себя планирование и организацию каждого этапа проекта, представленного блоком 1. Далее, после фактического завершения рассматриваемого этапа –*l*, график строительства оценивается посредством мониторинга, в результате чего устанавливаются параметры, как показано в блоке 2. Затем в блоке 3 план сравнивается с фактической реализацией, и при полном совпадении предыдущее планирование и организация считаются удовлетворительными и не требуют каких-либо корректировок (блок 4). Затем алгоритм повторяется для следующего шага, как указано в блоке 13.

В случае, если графики не совпадают идеально, после блока 3 выполняются две параллельные ветви. Первая ветвь включает блоки 5, 6, 7 и 8, а вторая ветвь включает блоки 9, 10 и 11. Обе ветви завершаются созданием нового расписания строительства (блок 12), в котором учитываются любые несоответствия между

первоначальный план и фактический ход строительства на момент мониторинга. В результате формируется новый график строительства, служащий основой для последующего этапа. В блоке 13 процесс периодически повторяется.

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 мы использовали модификацию метода коэффициентов неопределенных ресурсов, описанную ранее в парграфе 3.1. Предлагаемое усовершенствование содержится в блоке 6, который основан на поиске недопустимого базового решения (НБР) [126]. В блоке 7 оценивается потенциал увеличения ресурсов. Если все ограничения устранены в блоке 12 задание графика рассчитывается исходя из имеющихся новых ресурсов, график должен соответствовать ранее запланированной продолжительности строительства. В противном случае общая задержка строительства определяется в блоке 8, она минимизируется. Рассмотренная ветвь алгоритма показывает, как на следующем этапе необходимо исправить задержки, возникшие на предыдущих этапах. Важно отметить, что в этом случае необходимо сравнить стоимость дополнительных ресурсов с ожидаемой суммой штрафа за задержку строительства согласно Уравнению (2.7), прежде чем принимать решение об увеличении ресурсов.

Параллельно во второй ветве 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 ΔS_l) выполненных работ на этапе, ранее обозначенном литерой –*l* [141]. Увеличение энтропии в блоке 9 определяется по следующей формуле:

$$\Delta S_l = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^{\text{plan}} \ln\left(\frac{t_i^{\text{act}}}{t_i^{\text{plan}}}\right)}{\ln 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} t_i^{\text{plan}}} \text{ бит} \quad (4.1)$$

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.

В блоке 10 величина полезной деятельности строительного подразделения A_{act}. определяется на основе расчета прироста фактической энтропии работы. Эта величина аналогична коэффициенту производительности (КПД), используемому в технологии, и показывает долю полезной управленческой деятельности, от которой зависит своевременность строительства. Если измеренная стоимость деятельности составляет менее 100%, это обязательно подразумевает решение об увеличении управленческой деятельности до запланированного значения. Уравнение (4.2) показывает, что стоимость полезной деятельности по управлению строительством A_{act} определяется как:

$$A_{act} = 1 - \frac{S_{act}}{S_{pess}} \quad (4.2)$$

В этом случае показатель увеличения затрат на управление будет определяться как обратный полезной управленческой деятельности, а определяемую таким образом величину дополнительных затрат можно считать предельной. В целом размер увеличения расходов на оперативное управление должен определяться административным путем. Однако, поскольку дополнительные затраты на совершенствование управления распределяются между отдельными элементами, требуется решение задачи распределения, соответствующего этим затратам. Таким образом, в Блоке 11 качество управления повышается за счет оплаты статей накладных расходов, вызвавших задержки в

предыдущих работах, которые выявляются посредством ежедневных отчетов о выполнении проекта.

В строительных проектах события часто фиксируются в ежедневном отчете [142]. В ежедневном журнале строительства можно найти подробную информацию о производительности, типе работ, количестве рабочих, использованном оборудовании и материалах, а также примечательных событиях, произошедших на протяжении всего процесса строительства [143]. Накладные расходы по проекту играют существенную роль в определении затрат, связанных с оперативным управлением на этапе реализации строительства. Расчет накладных расходов по проекту включает в себя определение процента от прямых затрат, который обычно составляет 10-15%, как указано большинством строительных компаний [144,145, 146]. Другие ученые также предположили, что накладные расходы оказывают влияние на общий успех проекта не менее 1% [147].

Накладные расходы на строительство изучались и анализировались во многих странах; например, в России проценты накладных расходов установлены как методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве, например МДС 81-33. 2004 [148]. В других странах составлены сметы по косвенным элементам затрат на строительство. Эти сметы основаны на детальном анализе деятельности подрядчика, условий площадки, данных и метода использования ресурсов, а также проекта, используемого для каждого вида деятельности [144, 149, 145].

Далее на основе расчета показателя энтропии выполненной работы можно рассчитать прогноз завершения строительства [150] без учета мероприятий по повышению качества управления, по уравнению (4.3):

$$T^{\text{for}} = T^{\text{plan}} \times e^{(S^{\text{act}} \cdot \ln 2)} \tag{4.3}$$

Где T^{for} и T^{plan} - прогнозируемая и планируемая продолжительности строительства.

В результате, на основе систематического совершенствования планирования и организации строительных работ был разработан алгоритм оперативного управления, направленный на снижение несвоевременности работ. выключает в себя оптимизированный поиск работы, требующей увеличения ресурсов, и оптимальное перераспределение накладных расходов для минимизации будущих задержек в работе

4.2 Практическая методика реализации оптимизационного расчета в программах управления проектами

Мы разработали практический метод улучшения планирования выполнения строительства в программном обеспечении для управления проектами. для снижения трудоемкости при коррекции графиков выполнения работ, ориентированных на компенсации задержек строительства был разработан новый подход. Он реализован посредством дополнительной оптимизации метода неопределенных ресурсных коэффициентов, устраняющей временные конфликты. Данный подход основан на замене пошаговых итераций системным определением и анализом корректирующих процедур, для чего разработана соответствующая методика и компьютерный инструментарий, внедренный в программу Ms Project. Данная методика позволяет в автоматизированном режиме сформировать комплекс мероприятий, компенсирующих задержки строительства. Для этой цели используются макросы в Visual Basic 6.3 на основе семейства программ Microsoft Project. Данный макрос включает в себя процедуру линейного программирования, обеспечившую нахождение оптимального решения, направленного на уменьшение задержки за счет увеличения ресурсов. Выполнение этой программы-макроса осуществляется посредством реализации следующей цепочки действий:

1. Прежде чем приступить к процедурам оптимизации графика строительства, необходимо внести данные в таблицы программы MP для организации

информационных потоков. Для этого нам понадобится функционал программы, который позволяет создавать пользовательские столбцы и вводить в них различные данные. Эти столбцы включают: "Предшественники" - отображение связей между работами-фронтами; "Название" - названия работ-видов (1-й уровень), работ-фронтов (2-й уровень), ресурсов (3-й уровень); "Ресурсы" - здесь задаются трудовые ресурсы; "Трудозатраты" - отображение затрат труда; "Начало"; "Длительность"; "Окончание"; "Тип ограничения"; "дата ограничения", с добавлением поля , связанная с оставшимся временем (осталось до сдачи), которая представляет собой директивная продолжительность.

Обратите внимание, что все продолжительности в календарных расписаниях необходимо вводить в неделях. Это сделано для обеспечения согласованности между длительностью, указанной в электронной таблице, и длительностью, отраженной в графической части экрана действий МР, как это показано на следующем рисунке 4.2.

	Св пр	Названия задач	R	Q	Начало	T	Конец	Тип Огранич	Дата Огранич
0		Проект 11		530 н	23/9/21	45 н	3/8/22		
1		1.Забивка свай		26 н	23/9/21	13 н	22/12/21		
2		Секция-фронт1		10 н	23/9/21	5 н	27/10/21	не позднее	23/12/21
3		Копровщики	Копровщик[200%]	10 н	23/9/21	5 н	27/10/21		
4	2	Секция-фронт2		16 н	28/10/21	8 н	22/12/21		
5		Копровщики	Копровщик[200%]	16 н	28/10/21	8 н	22/12/21		
6		2.Фундаменты		84 н	25/11/21	12 н	16/2/22		
7	2	Секция-фронт1		28 н	25/11/21	4 н	22/12/21	о не ранее	25/11/21
8		Разнорабочие	Разнорабочий[700%]	28 н	25/11/21	4 н	22/12/21		
9	4;7	Секция-фронт2		56 н	23/12/21	8 н	16/2/22		
10		Ранорабочие	Разнорабочий[700%]	56 н	23/12/21	8 н	16/2/22		
11		3.Коробка здания		160 н	23/12/21	20 н	11/5/22		
12	7	Секция-фронт1		40 н	23/12/21	4 н	19/1/22		
13		Монтаж	Монтажник[1,000%]	40 н	23/12/21	4 н	19/1/22		
14	12;9	Секция-фронт2		50 н	17/2/22	5 н	23/3/22	не позднее	30/6/22
15		Монтаж	Монтажник[1,000%]	50 н	17/2/22	5 н	23/3/22		
16	14	Секция-фронт3		70 н	24/3/22	7 н	11/5/22		
17		Монтаж	Монтажник[1,000%]	70 н	24/3/22	7 н	11/5/22		
18		4.Инженерия		56 н	20/1/22	18 н	25/5/22		
19	12	Секция-фронт1		16 н	20/1/22	2 н	2/2/22		
20		МонтажИС	Разномонтажник[800%]	16 н	20/1/22	2 н	2/2/22		
21	14;19	Секция-фронт2		24 н	24/3/22	3 н	13/4/22		
22		МонтажИС	Разномонтажник[800%]	24 н	24/3/22	3 н	13/4/22		
23	16;21	Секция-фронт3		16 н	12/5/22	2 н	25/5/22		
24		МонтажИС	Разномонтажник[800%]	16 н	12/5/22	2 н	25/5/22		
25		5.Отделка здания		204 н	3/2/22	26 н	3/8/22		
26	19	Секция-фронт1		24 н	3/2/22	2 н	16/2/22		
27		Отделочники	Штукатур-маляр[1,200%]	24 н	3/2/22	2 н	16/2/22		
28	21;26	Секция-фронт2		60 н	14/4/22	5 н	18/5/22		
29		Отделочники	Штукатур-маляр[1,200%]	60 н	14/4/22	5 н	18/5/22		
30	23;28	Секция-фронт3		120 н	26/5/22	10 н	3/8/22		
31		Отделочники	Штукатур-маляр[1,200%]	120 н	26/5/22	10 н	3/8/22		
32		Осталось до сдачи		0 н	23/9/21	40 н	29/6/22		

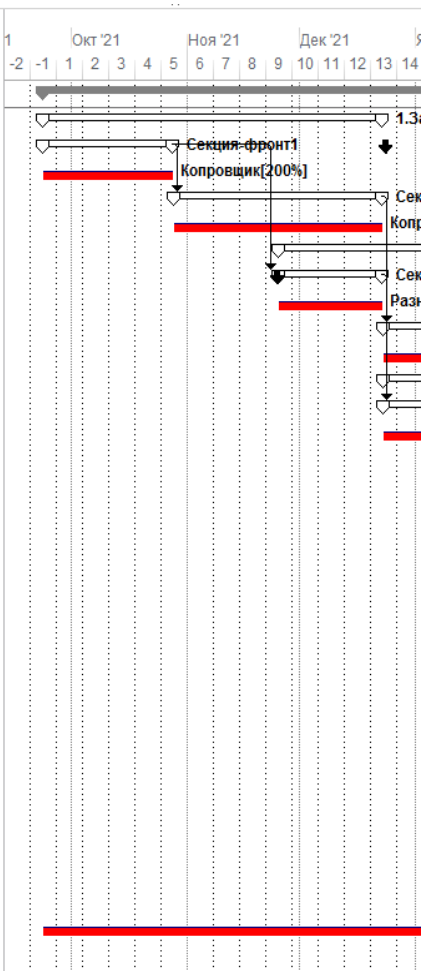

Рисунок 4.2. Данные, введенные в программу MP

2. Следующим шагом является установка программы-макроса в Microsoft Project (MP): вкладка «Вид» – Макросы – Запись макроса. Соответствующее окно представлено на следующем рисунке 4.3:

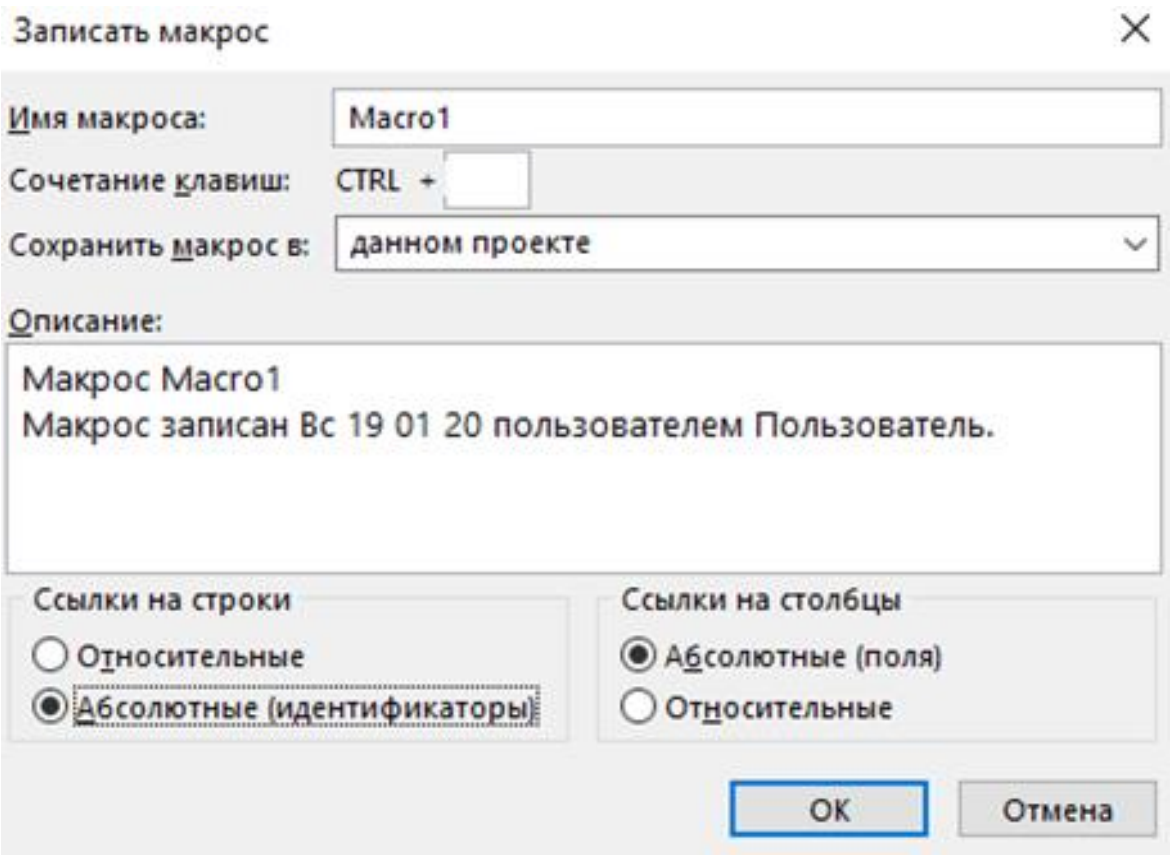

Рисунок 4.3. Формирование общих параметров макроса

3. После записи нового макроса на его место нужно вставить текст программы, в меню МР «Макросы» появится внедренная программа-макрос. Название этого макроса будет состоять из названия файла и после точки названия программы (Stat), как это показано на следующем рисунке 4.4.

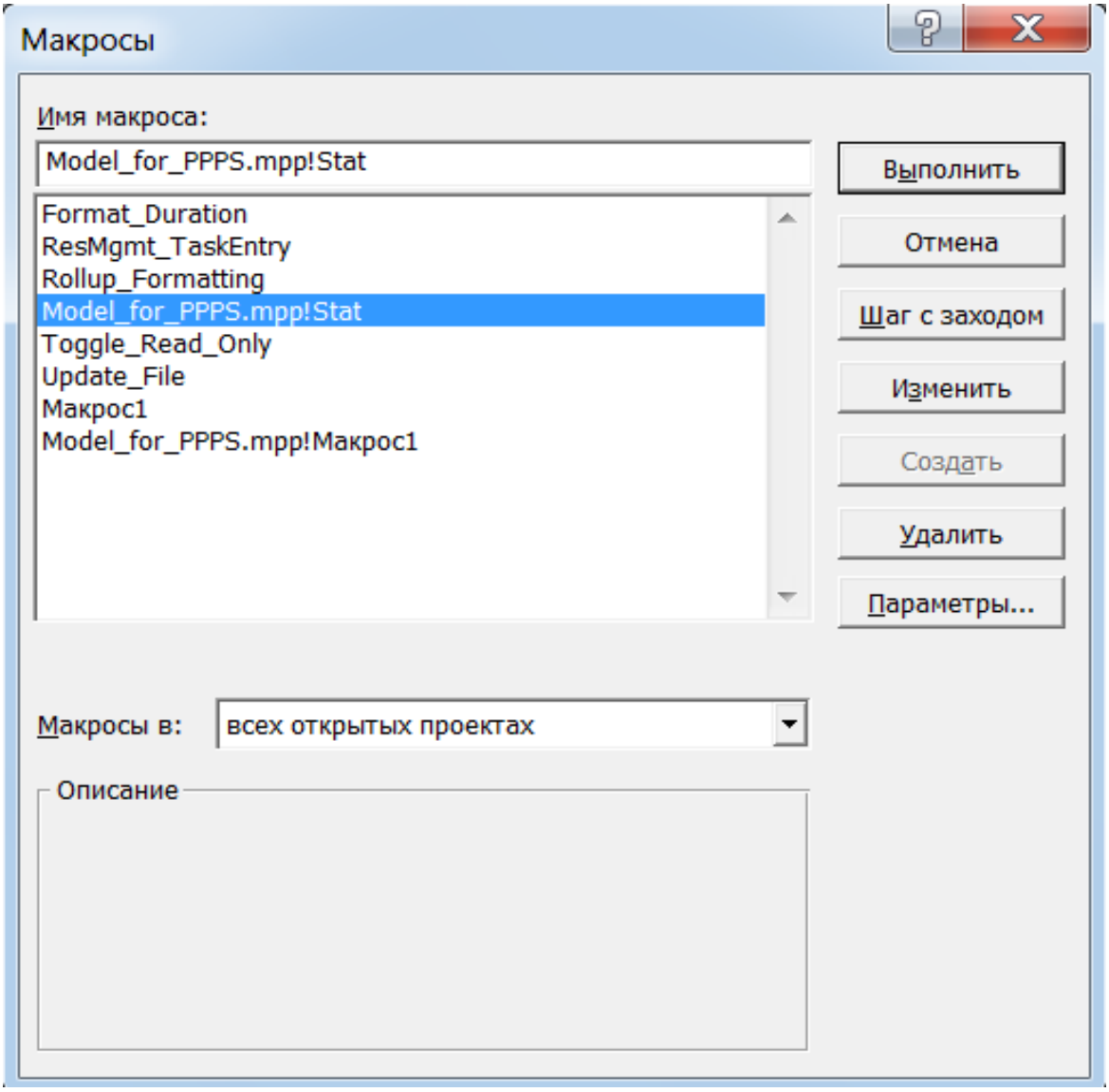

Рисунок 4.4. Результат внедрения программы-макроса

4. Выполнение осуществляется посредством реализации следующей цепочки действий: Вид – Макросы – «Название файла!Stat» – Выполнить. Ориентировочная продолжительность работы программы-макроса составляет порядка 30 секунд, после чего появляются соответствующие результаты статистического моделирования, как показано на рисунке 4.5.

	№ TSK	VID (1)	FRN (2)	CTP (3)	T (4)	НАЧ> (5)	<КОН (6)	FC (7)	PC (8)	Prim (9)	Last (10)	№ ур	REZ	PK1	ADR 1	PK2	ADR 2	HC	KC	FC	PC 1н	PC 2н	PC 3н	PC 1в	PC 2в	PC 3в	НЕР	НЕП	№ переменной=Значение
0					-5							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1												1	27	13	1	0	0	25	13	0	133	0	0	0	0	0	0	0	Б= 13: 0= 32; 2=-8; 3=-12; 4=-2; 5=-10; 13= 1; 17=-1; 140=-1; 170=-1; 174=-1; 179=-1; 183=-1;
2	1	1	1	2	5	0	13	0	0	1	2	2	28	12	2	0	0	26	14	0	136	0	0	0	0	0	0	0	Б= 26: 0= 9; 26= 1; 89=-1;
3												3	24	16	3	0	0	27	15	0	139	140	0	0	0	0	0	0	Б= 27: 0= 13; 2=-4; 27= 1; 89=-1; 173=-1;
4	2	1	2	4	8	0	45	0	1	1	2	4	33	7	4	0	0	28	16	0	142	143	0	0	0	0	0	0	Б= 25: 0=-5; 1= 13; 2= 8; 3= 12; 4= 2; 5= 10; 17= 1; 25= 1; 133= 1; 140= 1; 170= 1; 174= 1; 179= 1; 183= 1;
5												5	23	17	5	0	0	29	17	0	145	146	0	0	0	0	0	0	Б= 29: 0= 19; 2=-4; 3=-4; 4=-2; 29= 1; 89=-1; 173=-1; 177=-1; 181=-1;
6												6	23	12	2	5	1	14	25	169	136	0	0	0	0	0	0	0	Б= 169: 0= 9; 1=-8; 2=-8; 3=-12; 4=-2; 5=-10; 17=-1; 89=-1; 133=-1; 140=-1; 169= 1; 170=-1; 174=-1; 179=-1; 183=-1;
7	3	2	1	7	4	9	45	1	0	3	4	7	19	8	2	13	1	14	25	170	0	0	0	133	0	0	0	0	Б= 14: 0= 24; 3=-12; 4=-2; 5=-10; 14= 1; 17=-1; 140=-1; 174=-1; 179=-1; 183=-1;
8												8	20	16	3	4	2	15	26	173	139	140	0	0	0	0	0	0	Б= 139: 0=-1; 2= 4; 3= 16; 4= 2; 5= 10; 17= 1; 89= 1; 139= 1; 140= 1; 173= 1; 179= 1; 183= 1;
9	4	2	2	9	8	0	45	2	3	3	4	9	16	12	3	12	2	15	26	174	140	0	0	136	0	0	0	0	Б= 15: 0= 12; 4=-2; 5=-10; 15= 1; 17=-1; 179=-1; 183=-1;
10												10	29	7	4	4	3	16	27	177	142	143	0	0	0	0	0	0	Б= 142: 0= 2; 2= 4; 3= 11; 4= 4; 5= 10; 17= 1; 89= 1; 140= 1; 142= 1; 173= 1; 177= 1; 178=-1; 179= 1; 183= 1;
11												11	26	5	4	9	3	16	27	178	143	0	0	139	0	0	0	0	Б= 146: 0= 1; 3=-7; 4= 1; 5= 5; 140=-1; 146= 1; 178= 1; 179=-1; 182= 1; 183=-1;
12	5	3	1	12	4	0	45	3	0	5	7	12	22	2	4	16	3	16	27	179	0	0	0	139	140	0	0	0	Б= 16: 0= 10; 5=-10; 16= 1; 17=-1; 183=-1;
13												13	21	17	5	2	4	17	28	181	145	146	0	0	0	0	0	0	Б= 145: 0= 3; 2= 4; 3= 11; 4= 1; 5= 12; 17= 1; 89= 1; 140= 1; 145= 1; 173= 1; 177= 1; 178=-1; 179= 1; 181= 1; 182=-1; 183= 1
14	6	3	2	14	5	0	40	4	5	5	7	14	20	15	5	5	4	17	28	182	146	0	0	142	0	0	0	0	Б= 28: 0= 17; 2=-4; 3=-4; 28= 1; 89=-1; 173=-1; 177=-1;
15												15	23	10	5	7	4	17	28	183	0	0	0	142	143	0	0	0	Б= 143: 0= 4; 3=-7; 4= 3; 140=-1; 143= 1; 178= 1; 179=-1;
16	7	3	3	16	7	0	45	0	6	5	7	16	13	0	1	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	Б= 37: 0= 18; 1=-13; 2=-8; 3=-12; 4=-2; 5=-10; 17=-1; 37= 1; 133=-1; 140=-1; 170=-1; 174=-1; 179=-1; 183=-1;
17												17	19	12	2	0	0	0	14	0	0	0	0	136	0	0	89	0	Б= 136: 0=-5; 2= 12; 3= 12; 4= 2; 5= 10; 17= 1; 89= 1; 136= 1; 140= 1; 174= 1; 179= 1; 183= 1;
18												18	31	9	3	0	0	27	0	0	139	0	0	0	0	0	0	46	Б= 46: 0= 19; 3=-7; 4=-2; 5=-10; 17=-1; 46= 1; 140=-1; 179=-1; 183=-1;
19	8	4	1	19	2	0	45	5	0	8	10																		
20																													
21	9	4	2	21	3	0	45	6	8	8	10																		
22																													
23	10	4	3	23	2	0	45	7	9	8	10																		
24																													
25																													
26	11	5	1	26	2	0	45	8	0	11	13																		
27																													
28	12	5	2	28	5	0	45	9	11	11	13																		
29																													
30	13	5	3	30	10	0	45	10	12	11	13																		
31																													
32																													

Рисунок 4.5. Данные, извлеченные в программе МР

Столбцы, сгенерированные макросом, на рисунке включают:

"Текст 13" - номер работы 2-го уровня; "Текст 1" - вид работы 2-го уровня; "Текст 2" - фронт работы 2-го уровня; "Текст 3" - номер строки работы 2-го уровня; "Текст 4" - продолжительность работы 2-го уровня; "Текст 5" -ограничение на начало работы 2-го уровня; "Текст 6" - ограничение на конец работы 2-го уровня; "Текст 7" - фронтальная связь; "Текст 8" - ресурсная связь; "Текст 9" - перый номер данного вида работы; "Текст 10" - последний номер данного вида работы; "Ид." - номер строки используется как номер уравнения; "Число 1" - резерв начального уравнения; "Число 2" - 1-й ресурсный коэффициент; "Число 3" - его адрес; "Число 4" - 2-й ресурсный коэффициент; "Число 5" - его адрес; "Число 6" - начальная связь; "Число 7" - конечная связь; "Число 8" - фронтальная связь; "Число 9" - 1-я нижняя ресурсная связь; "Число 10" - 2-я нижняя ресурсная связь; "Число 11" - 3-я нижняя ресурсная связь; "Число 12" - 1-я верхняя ресурсная связь; "Число 13" - 2-я верхняя ресурсная связь; "Число 14" - 3-я верхняя ресурсная связь; "Число 15" - ограничение "не раньше"; "Число 16" - ограничение "не позже"; "Текст 16" - текстовое отображение ДБР; "No. переменной = значения" содержит уравнения, в которых лежит решение.

Последний столбец "No переменной = значения" содержит систему уравнений, сгенерированных макросом, а извлеченные отрицательные значения (-5,-1,-5) указывают на задержки, которые можно уменьшить, увеличив ресурсы на указанных фронтах.

После краткого описания программно-информационной составляющей разработанной методики переходим к демонстрации методики на практическом примере строительного проекта, реализуемого в Республике Ирак в настоящее время.

4.3 Практический пример проекта, использующего разработанную методику сокращения задержек строительства в республике Ирак

Проект № 4 – В настоящее время реализуется здание центрального местного правительства в городе на юге Ирака. Состоит из башни и двух зданий, общей площадью 5000 квадратных метров со стеной и открытым двором. директивная продолжительность строительства проекта – 127 недель, объект завершен на 72%. Стоимость проекта – 10 миллионов долларов США. На рисунке 4.6 показан общий вид Проекта.

Рисунок 4.6. Общий вид Проекта

На рисунке 4.7 показан график работы оставшихся работ по проекту, директивная продолжительность остальных работ согласно плановому графику проекта составляет 36 недель, а расчетная продолжительность составляет 40 недель, поэтому получается, что у нас задержка 4 недели.

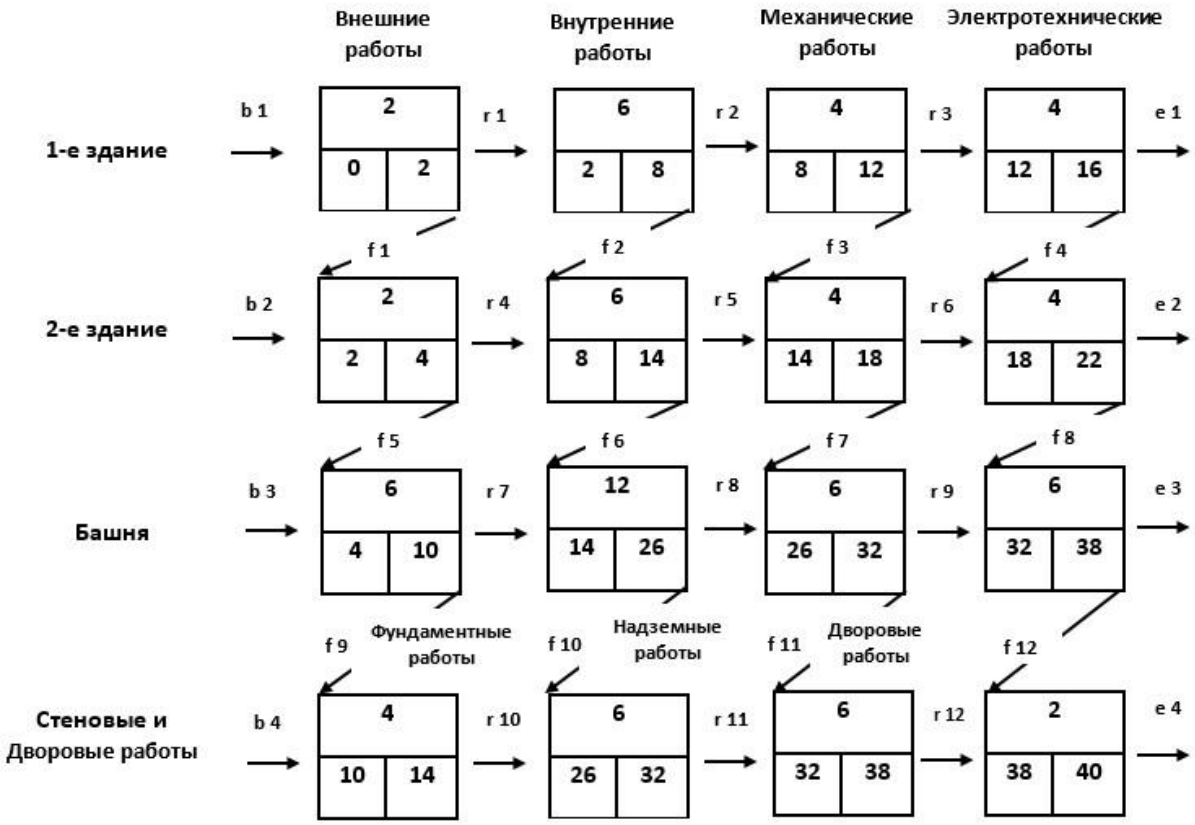

Рисунок 4.7. Расписание поточного строительства проект *№4*

Рассмотрим первую ветвь алгоритма, блоки (5-8) на рисунке 4.1, позволяющую сразу уменьшить задержку с помощью метода неопределенных ресурсных коэффициентов(МНРК).

Организационно-технологическая схема (ОТС), изображенная на рисунке 4.7, была представлена системой уравнений (4.4) с использованием директивной продолжительности 36 недели.

$$1)\ b_1+16a_1+r_1+r_2+r_3+e_1=20$$

$$2)\ b_2+16a_2+r_4+r_5+r_6+e_2=20$$

$$3)\ b_3+30a_3+r_7+r_8+r_9+e_3=6$$

$$4)\ b_4+18a_4+r_{10}+r_{11}+r_{12}+e_4=18$$

$$5)\ b_1+2a_1+16a_2+f_1+r_4+r_5+r_6+e_2=18$$

$$6)\ b_1+8a_1+14a_2+f_2+r_1+r_5+r_6+e_2=14$$

$$7)\ b_1+12a_1+8a_2+f_3+r_1+r_2+r_6+e_2=16$$

$$8)\ b_1+16a_1+4a_2+f_4+r_1+r_2+r_3+e_2=16$$

$$9)\ b_2+2a_2+30a_3+f_5+r_7+r_8+r_9+e_3=4$$

$$10)\ b_2+8a_2+24a_3+f_6+r_4+r_8+r_9+e_3=4$$

$$11)\ b_2+12a_2+12a_3+f_7+r_4+r_5+r_9+e_3=12$$

$$12)\ b_2+16a_2+6a_3+f_8+r_4+r_5+r_6+e_3=14$$

$$13)\ b_3+6a_3+18a_4+f_9+r_{10}+r_{11}+r_{12}+e_4=12$$

$$14)\ b_3+18a_3+14a_4+f_{10}+r_7+r_{11}+r_{12}+e_4=4$$

$$15)\ b_3+24a_3+8a_4+f_{11}+r_7+r_8+r_{12}+e_4=4$$

$$16) b_3+30a_3+2a_4+f_{12}+r_7+r_8+r_9+e_4=4 \qquad (4.4)$$

В программе MS Project с помощью описанного в предыдущем параграфе макроса реализована предложенная оптимизация метода МНРК в виде метода получения (НБР). Результаты решения системы уравнений (4.4) показали, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в следующее уравнение:

$$b_1 +8a_1+6a_2+12a_3+14a_4+ r_1+f_2+ f_6+ f_{10}+r_{11}+r_{12}+e_4= -4. \qquad (4.5)$$

Отрицательное значение (–4) указывает на необходимость корректировки графика работы. Чтобы нейтрализовать указанную задержку, можно соответствующим образом повлиять на переменные, входящие в уравнение. Если ЛПР, решает минимизировать задержку за счет максимизации ресурсов, для компенсации задержки можно использовать следующее уравнение:

$$a_i = \left(\frac{R_{i\,max}}{R_i} - 1\right) = -d \qquad (4.6)$$

Где a_i - неопределенный ресурсный коэффициент;

$R_{i\,max}$ - максимальное значение ресурса;

d - значение задержки.

При решении уравнения для R4max/R4, мы получаем значение компенсации задержки за счет увеличения ресурсов. Это значение будет равно 1,27 для ресурсов,

используемых в работе вида 4. Следовательно, чтобы компенсировать четырехнедельную задержку, максимальное количество ресурсов необходимо увеличить на 27%, что соответствует увеличению стоимости на 51 300 долларов США, при этом возможное увеличение других ресурсов оценивается аналогичным образом: например, ресурсы для первого вида работ увеличиваются на 60. %, стоимостью 63 000 долларов США; Ресурсы для второго вида работ увеличиваются на 100% и стоит 75 000 долларов; а ресурсы для третьего вида работ увеличиваются на 33 %, расходы увеличились на 49 500 000 долларов США. После этого рассчитывается сумма штрафа за 4 недели задержки. Сумма штрафа за задержку, рассчитанная по уравнению (2.7), составляет 78 400 долларов США.

Таким образом, получается, что все доступные варианты максимизации ресурсов во всех видах работ меньше суммы штрафа за задержку. Поэтому для уменьшения задержки выбирается одно из этих решений, исходя из мнения ЛПР. На наш взгляд, наиболее подходящим решением является увеличение ресурсов третьего или четвертого типа, так как они являются наименее дорогостоящими среди имеющихся вариантов. После этого план строительства обновляется.

Далее рассмотрим вторую ветвь предлагаемого алгоритма, блоки (9-11), представляющую собой расчет управленческой деятельности на основе данных оптимистического, пессимистического и фактического планов действий. В этом случае соответствующий плановый график будет считаться оптимистичным, а график, дающий максимальное значение энтропии — пессимистическим. Для иллюстрации результатов расчета мы использовали данные периода строительства в процессе мониторинга, плановых (оптимистических) — 36 недель, пессимистических — 54 недель и фактических — 40 недель. Выполняя этот расчет, мы можем определить значения энтропии для реальных и пессимистических действий.

Учитывая, что энтропия планового расписания равна нулю. Согласно уравнению (4.1), фактическая энтропия равна 0,15 бит, а пессимистическая энтропия, основанная на пессимистическом прогнозе в тот же момент времени, равна 0,58 бит.

Управление, необходимое для реализации запланированной организации строительства, считается идеальным управлением, поэтому его первоначальную активность будем считать равной единице (*Aplan* = 1). При пессимистическом графике строительства полезная управляющая деятельность будет равна нулю (*Apes*s = 0). Если строительство ведется по плановому графику строительства, то выполняются следующие условия: *Splan* = 0, *Aplan* = 1. При пессимистическом графике: *Apess* = 0, *Spess* = 0,58 бит. В момент мониторинга расчет энтропии фактически проделанной работы показал, что Sact = 0,15 бит. Затем с помощью интерполяции можно рассчитать фактическую деятельность процесса управления завершенным строительством по уравнению (4.2):

$$A_{act} = 1 - \frac{0{,}15}{0{,}58} = 0{,}74$$

Уравнение (4.2) показало, что эффективная управленческая деятельность равна Aact = 0,74 — в этом случае обратная величина будет равна 1,35; который указывает, во сколько раз необходимо увеличить стоимость управления, чтобы не допустить задержек в работе в будущем.

Распределение долей компонентов накладных расходов устанавливается в соответствии с руководящими принципами, изложенными в МДС 81-33-2004, в частности в Приложении 9. Анализируя информацию, записанную в ежедневном журнале проекта, можно точно определить факторы, способствующие задержкам строительства.

В таблице 4.1 представлены причины задержки, элементы накладных расходов, соответствующие выявленным причинам задержки, и их процентное соотношение с учетом того, что доля накладных расходов составляет 10-15% от общей стоимости проекта. Следовательно, для повышения качества управления необходимо улучшить

управление этими элементами в 1,35 раза. Таким образом, необходимо добавить 8750 долларов США на улучшение этих элементов.

Таблица 4.1. Причины задержки, элементы накладных расходов, соответствующие выявленным причинам задержки, и их процентное соотношение

№	Причина задержки	Наименования соответствующих статей затрат накладных расходов МДС 81-33-2004, приложение 9)	Удельный вес статей затрат (%)
1.	Отсутствие финансовых возможностей подрядчика	4.2 Платежи по кредитам банков	
2.	Задержки с подачей материалов из-за отсутствия законных лицензий на импорт;	Оплата консультационных, информационных, лицензионных, юридических и аудиторских услуг	
3.	Низкая квалификация, опыт и навыки технического персонала подрядчика	Затраты, связанные с подготовкой и переподготовкой кадров	
4.	Несчастные случаи на производстве.	2.4 Расходы на охрану труда и технику безопасности	

Представленный выше пример, в первую очередь демонстрирует применение методики для цели составления компенсационного графика и профилактики несвоевременности на последующем этапе строительства. Однако данный материл можно использовать и для промежуточного расчета штрафных санкций за допущенную на момент мониторинга несвоевременность. Применение штрафных санкций на промежуточном этапе вполне реалистично, так как для повышения управленческой активности требуются дополнительные финансовые ресурсы, поэтому на основе адаптации байесовского подхода доля ответственности за задержку строительства, можно определить на основе выявления фактических задержек по

отдельным видам работ, а на этом основании может быть определена доля солидарной ответственности за несвоевременность. На основе информации, представленной в журнале проекта, в таблице 4.2 показаны причины задержек, лица, ответственные за задержки, а также объем задержек по каждому человеку.

Таблица 4.2. Причина задержки и лицо, ответственное за задержку

№	Значение задержки	Причина задержки	Лицо, ответственное за задержку
1.	12 дней	Отсутствие финансовых возможностей подрядчика	Субподрядчик № 1
2.	8 дней	Задержка подачи материала	Поставщик №1
3.	6 дней	Низкая квалификация, опыт и навыки технического персонала подрядчика	Субподрядчик № 2
4.	2 дня	Несчастные случаи на производстве	Инженер по охране труда

Так как штраф за задержку в день в проекте равен 2,800 тыс. долл. Тогда можно определить процент ответственности лиц, причастных к фактической задержке строительства, и на его основе определить размер штрафа, который несет каждое лицо, вызвавшее задержку, который определяется по формуле (2.6). В таблице 4.3 рассчитана доля ответственности за задержку для каждого лица, участвующего в строительстве.

Таблица 4.3. Доли ответственности за задержку денежных средств

Ответственный	Коэффициент задержки	Стоимость Задержка, долл.	Доля ответственности	Пеня доля, долл.
Субподрядчик № 1	0,428	171 200	0,488	38 320
Поставщик №1	0,285	38 475	0,1	8612

Продолжение таблицы 4.3.

Субподрядчик № 2	0,214	115 560	0,33	25 868
Инженер по охране труда	0,07	25 025	0,07	5 600
сумма		350260		78 400

В Таблице 4.4 представлены все результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 95 недель после начала строительства.

Таблица 4.4. Мониторинг результатов после 95 недели начала работы

Сумма задержки (*d*)= 4 н.		
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 1	60 %	63 тыс. долл.
R 2	100 %	75 тыс. долл.
R 3	33 %	49,5 тыс. долл.
R 4	27 %	51,3 тыс. долл.
Фактическая сумма штрафов за задержку на момент мониторинга (P_{act})		78,400 тыс. долл.
Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга		
План.	Факт.	Песс.
36 н.	40 н.	54 н.
S_{act}= 0,15 бит	S_{pess}= 0,58 бит	A_{act}= 1,35
Стоимость улучшения качества управления (СУУ)	8,750 тыс. долл.	
Доли ответственности за задержку		
Ответственный	Пеня доля, $	

Продолжение таблицы 4.4.

Субподрядчик № 1	38,320 тыс. долл.
Поставщик №1	8,612 тыс. долл.
Субподрядчик № 2	25,868 тыс. долл.
Инженер по охране труда	5,600 тыс. долл.

4.4 Выводы по четвертой главе

1. Разработан алгоритм управления строительством, направленный на устранение задержек строительства на этапах мониторинга, на основе систематической оптимизации планирования и организации строительных работ. Он включает в себя распределение ресурсов между работами на основе оптимального поиска работы, требующей увеличения ее ресурсов, а также оптимальное перераспределение управленческих затрат, что позволит сократить задержки работ в будущем.
2. Для снижения трудоемкости при корректировке графиков работ с целью компенсации задержек в строительстве методом неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК), метод автоматизирован с помощью макросов в Visual Basic 6.3 на базе программ семейства Microsoft Project.
3. На основе экспериментальной фиксации информационной энтропии разработана методика, определяющая долю потерянной энергии, связанную с некачественным управлением, а на основе расчета прироста энтропии будет определен индекс увеличения управленческих затрат, необходимый для нейтрализовать будущие задержки.
4. На прикладных примерах, выбранных из Республики Ирак, было показано, что использование разработанного алгоритма и методики его реализации приведет к сокращению задержки строительства.

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 сведении 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седых Ю. И. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства : учебное пособие / Ю. И. Седых., В. М. Лазебник. – Москва: Стройиздат, 1989. – 396 с.

2. Baldwin J. R. Causes of delay in the construction industry / J. R. Baldwin, J. M. Manthei, H. Rothbart, and R. B. Harris // J. Constr. Div. –1971. – vol. 97, no. 2, pp. 177–187.

3. Srdić A. Delays in construction projects: causes and mitigation / A. Srdić and J. Šelih // Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J., vol. 7, no. 3, pp. 1383–1389, 2015

4. Głuszak M. Construction delays in clients opinion–multivariate statistical analysis / M. Głuszak and A. Leśniak // Procedia Eng., vol. 123, pp. 182–189, 2015

5. S. Toor and S. O. Ogunlana, “Problems causing delays in major construction projects in Thailand,” // Constr. Manag. Econ., vol. 26, no. 4, pp. 395–408, 2008

6. M. Haseeb, A. Bibi, and W. Rabbani, “Problems of projects and effects of delays in the construction industry of Pakistan,” // Aust. J. Bus. Manag. Res., vol. 1, no. 5, pp. 41–50, 2011

7. A. S. Faridi and S. M. El-Sayegh, “Significant factors causing delay in the UAE construction industry,” // Constr. Manag. Econ., vol. 24, no. 11, pp. 1167–1176, 2006

8. A. Kazaz, S. Ulubeyli, and N. A. Tuncbilekli, “Causes of delays in construction projects in Turkey,” // J. Civ. Eng. Manag., vol. 18, no. 3, pp. 426–435, 2012

9. A. A. Bubshait and M. J. Cunningham, “Comparison of delay analysis methodologies,” // J. Constr. Eng. Manag., vol. 124, no. 4, pp. 315–322, 1998

10. J.-B. Yang and C.-K. Kao, “Review of delay analysis methods: A process-based comparison,” // Open Constr. Build. Technol. J., vol. 3, no. 1, 2009

11. M. Tafazzoli and P. P. Shrestha, “Investigating Causes of Delay in US Construction Projects.,” 2017

12. M. S. Islam and B. Trigunarsyah, “Construction delays in developing countries: a

review," // J. Constr. Eng. Proj. Manag., vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2017

13. Соловьева А. П. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций. / А. П. Соловьева, В. В. Харитонов, О. Г. Шмаков // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2018. – № 3. – С. 52–62.

14. Харисов А. Р., Исследование существующих методов определения продолжительности строительства промышленных объектов. / А. Р. Харисов, Л. А. Коклюгина, А. В. Коклюгин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета: Технология и организация строительства, 2012. –№ 1 (19). – С. 134–139.

15. G. Sweis, R. Sweis, A. A. Hammad, and A. Shboul, "Delays in construction projects: The case of Jordan," // Int. J. Proj. Manag., vol. 26, no. 6, pp. 665–674, 2008

16. M. Sun and X. Meng, "Taxonomy for change causes and effects in construction projects," // Int. J. Proj. Manag., vol. 27, no. 6, pp. 560–572, 2009

17. Котовская М. А. Особенности теории ограничений систем Голдратта и метода критической цепи в области календарного планирования строительных проектов, дис. канд. Технических наук –СПб.: СПбГАСУ. –2014. –234с.

18. T. A. Khaleel and I. Z. Hadi, "Controlling of time-overrun in construction projects in Iraq," // Eng. Technol. J., vol. 35, no. 2 Part A, pp. 111–117, 2017

19. Karim Al-Hindawi and Awad Hussein Ali "Reasons for delaying construction projects in Iraq," // J. Univ. Babylon, vol. 14, no. 4, pp. 483–495, 2007

20. G. A. Bekr, "Causes of delay in public construction projects in Iraq," Jordan J. Civ. Eng., vol. 9, no. 2, 2015

21. S. R. Mohammed and A. J. Jasim, "Study and analysis of the delay problems in Iraqi construction projects," // Int. J. Sci. Res., vol. 6, pp. 2331–2336, 2017

22. K. I. Wali and N. S. Ali, "Evaluation of construction delay of public projects in Erbil Governorate," // Cihan Univ. Sci. J., vol. 3, no. 1, pp. 18–26, 2019

23. M. T. Almusawi and K. R. Erzaij, "Retrospective Delay Analysis in Construction Projects of Iraq," // ARPN J. Eng. Appl. Sci., vol. 14, no. 10, pp. 2003–2019, 2019

24. P. Ballesteros-Pérez, M. L. del Campo-Hitschfeld, M. A. González-Naranjo, and M. C. González-Cruz, “Climate and construction delays: case study in Chile,” // Eng. Constr. Archit. Manag., vol. 22, no. 6, pp. 596–621, 2015

25. J. Büdel, “Büdel, J. 1982: Climatic geomorphology. Princeton: Princeton University Press.(Translation of Klima-geomorphologie, Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 1977),” // Prog. Phys. Geogr., vol. 30, no. 1, pp. 99–103, 2006

26. A. Enshassi, J. Al-Najjar, and M. Kumaraswamy, “Delays and cost overruns in the construction projects in the Gaza Strip,” // J. Financ. Manag. Prop. Constr., vol. 14, no. 2, pp. 126–151, 2009

27. P. E. D. Love, A. Wyatt, and S. Mohamed, “Understanding rework in construction,” 1997

28. A. Procurement and C. Council, “Construct Australia: Building a better construction industry in Australia,” Aust. Procure. Constr. Counc. Inc., Deakin West, ACT, Aust., 1997

29. P. L. Alreck and R. B. Settle, “The Survey Research Handbook. Homewood, IL: Richard D. Irwin.” Inc, 1985

30. H. Lind and F. Brunes, “Policies to avoid cost overruns in infrastructure projects: Critical evaluation and recommendations,” // Australas. J. Constr. Econ. Build., vol. 14, no. 3, pp. 74–85, 2014

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

32. S. Chandrusha and M. Basha, “Rework management in construction projects and comparison with time and cost,” // Int. J. Eng. Sci. Comput., vol. 7, no. 6, pp. 13020–13025, 2017

33. A. R. Fayek, M. Dissanayake, and O. Campero, “Measuring and classifying construction field rework: A pilot study,” Res. Rep.(May), 2003

34. I. Mahamid, “Study of relationship between rework and labor productivity in Building Construction Projects,” // Rev. la construcción, vol. 19, no. 1, pp. 30–40, 2020

35. E. Palaneeswaran, M. M. Kumaraswamy, T. S. T. Ng, and P. E. D. Love, “Neural network modeling for rework related cost overrun and contractual claims in construction projects,” // in Proceedings of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, 2006, pp. 1393–1402

36. D. M. Abeku, E. B. Ogunbode, C. Salihu, S. S. Maxwell, and M. A. Kure, “Projects management and the effect of rework on construction works: A case of selected projects in Abuja Metropolis, Nigeria,” 2016

37. Z. A. Memon, M. Zaimi, A. Majid, and M. Mustaffar, “a Systematic Approach for Monitoring and Evaluating the Construction Project Progress,” // Journal-The Inst. Eng., vol. 67, no. 3, p. 26, 2006

38. T. Callistus and A. Clinton, “The role of monitoring and evaluation in construction project management,” // in Intelligent Human Systems Integration: Proceedings of the 1st International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2018): Integrating People and Intelligent Systems, January 7-9, 2018, Dubai, United Arab Emirates, 2018, pp. 571–582

39. Иванец В. К. Информационная технология проектирования организационно-технологических процессов в строительстве: Автореферат дис. канд. технических наук. –Москва. Закрытое акционерное научно-проектное внедренческое общество, Экология. – 2000. –362с.

40. F. (51).ris and D. L. Dikman, “Construction organization in the USA,” Moscow ACB, p. 376, 2004

41. Молодин В. В., Волков С. В. Организационно-технологическое проектирование строительства жилых объектов. Учебное пособие. Новосибирск, 2015. –216 с.

42. B. Hardin, “BIM and Construction Management: proven Tools, Methods, and Workflows‖ Wiley Publishing Inc,” Indianapolis, Indiana, 2009

43. C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley & Sons, 2011

44. W. Kymmell, Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations (McGraw-Hill construction series). McGraw-Hill Education, 2008

45. S. Azhar, M. Khalfan, and T. Maqsood, “Building information modeling (BIM): now and beyond,” Australas. J. Constr. Econ. Build., vol. 12, no. 4, pp. 15–28, 2012

46. Лисичкин В. А., Ковальский М. И., Организация управления строительством в капиталистических странах. Стройиздат, 1987.

47. L. P. Leach, Critical chain project management. Artech House, 2014

48. S. Rama, A. Sathya, A. Shasikala, and I. Clifa, “A study of project planning using the deterministic and probabilistic models by network scheduling techniques,” // Int. J. Eng. Res. Appl., vol. 7, pp. 32–38, 2017

49. M. A. Gurau and L. V Melnic, “An overview of critical path applied to project management with WinQSB software,” // Int. J. Math. Model. Methods Appl. Sci., vol. 7, no. 6, pp. 829–836, 2012

50. Царев В.В. Внутрифирменное планирование. СПб.: Питер, 2002. –496с.

51. P. M. Wale, “Planning and Scheduling of Project using Microsoft Project (case study of a building in India),” 2015

52. ТРОФИМОВ В. В., КАРПОВА В. С., ДЕМЧЕНКО С. А. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ С PRIMAVERA. Учебное пособие. СПб: СПбГЭУ. 2014. –65с.

53. R. Büchmann-Slorup and N. Andersson, “BIM-based scheduling of Construction–A comparative analysis of prevailing and BIM-based scheduling processes,” // in Proc., 27 th Int. Conf. of the CIB W78, 2010, pp. 113–123

54. C. C. Wang and O. Chien, “The use of BIM in project planning and scheduling in the Australian construction industry,” // in ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology, 2014, pp. 126–133

55. F. Peterson, T. Hartmann, R. Fruchter, and M. Fischer, “Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned,” // Autom. Constr., vol. 20, no. 2, pp. 115–125, 2011

56. J. Carmona and K. Irwin, “BIM: Who, what, how and why,” // Build. Oper. Manage., vol. 54, no. 10, pp. 37–39, 2007

57. S. Philips and S. Azhar, “Role of BIM for Facility Management in Academic Institutions’,” // in Proceedings of the 6th International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-VI), Kuala Lumpur, Malaysia, July, 2011, vol. 5, no. 7, pp. 950–957

58. K. Barlish and K. Sullivan, “How to measure the benefits of BIM—A case study approach,” // Autom. Constr., vol. 24, pp. 149–159, 2012

59. C. R. C. C. Innovation, “Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House,” // Coop. Res. Cent. Constr. Innov. Brisbane, Aust., 2007

60. J. Rubenstone, “Autodesk steers users toward the cloud with expanded subscription-based services,” // Eng. News Rec., vol. 16, 2012

61. R. S. Newton, “Inadequate interoperability in construction wastes 415.8 billion annually,” // AECNews. com, vol. 13, 2004

62. J. D. Goedert and P. Meadati, “Integrating construction process documentation into building information modeling,” // J. Constr. Eng. Manag., vol. 134, no. 7, pp. 509–516, 2008

63. Пахомова В. В. Использование программных средств и методов сетевого управления проектами в АПК. / В. В. Пахомова // Тенденции развития науки и образования. 2016. – №(19–1). – С. 22-23.

64. Воропаев В.И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством. М.: Стройиздат, 1974. – 232 с.

65. Четыркин Е. М., Теория массового обслуживания и ее применение в экономике. Статистика. Москва. 1971. –105с.

66. Абдуллаев Г. И. О. Влияние организационно-технологических факторов на эффективность управления строительством сооружений. / Г. И. О. Абдуллаев // ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ, 2011. – №2 (20). – С. 52-54.

67. Антамошкина Е. А. GERT-сетевой анализ производственных процессов. / Е. А. Антамошкина, А. С. Дегтерев, Ю. В. Ерыгин // Исследовано в России, 2004. – №7 – С. 2571-2576.

68. Жуков, Д. В. МЕТОД КРИТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ КАК МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014. — Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html, свободный.

69. T. El Korany and S. E. F. Taher, “Critical Chain Project Management- A Critique Critical Chain Project Management- A Critique,” no. March, 2016

70. M. Ghaffari and M. W. Emsley, “Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management,” // Surv. Oper. Res. Manag. Sci., vol. 20, no. 2, pp. 43–54, 2015

71. Оглы Абдуллаев Г. И. Основные направления повышения надежности строительных процессов / Г. И. Оглы Абдуллаев // Инженерно - строительный журнал, 2010. – № 4 – С. 59-60

72. Лебедев В. М. Организационно-технологическая надежность управляющих систем строительства. / В. М. Лебедев // Вестник МГСУ, 2008. – № 4 – С. 191-194

73. P. Sanghera, Project Management Professional Certification Study Guide for the PMP ® exam. 2019. https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-3910-0

74. Солин А. А. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных сметных нормативов / А. А. Солин // Строительство. Экономика и управление, 2011. – № 1 – С. 46-51

75. Болотин С. А. Анализ европейской и российской нормативных баз трудовых затрат применительно к календарному планированию строительства / С. А. Болотин, М. А. Котовская // Вестник гражданских инженеров, 2013. – № 2 – С. 98-103

76. M. Romanovich, T. A. Musorina, E. D. Starshinova, and N. N. Sushkov, “Normative bases of labor costs influence on construction duration and crew forming,” // Stroit. Unikal’nyh Zdanij i Sooruz., no. 7, p. 74, 2017

77. Матвеев М. Ю. Аналитическое сравнение отечественных и зарубежных нормативов в строительстве / М. Ю. Матвеев, А. А. Солин // Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности: Сборник докладов и материалов 2-й Международной научно-практической конференции. Том 1. Институт непрерывного образования. Москва МГАКХиС, Центральный научно-исследовательский институт экономики и управления в строительстве, 2012. –С.205–222

78. Потуданская В. Ф. Еще раз о принципах нормирования труда / В. Ф. Потуданская, Л. С. Горскина // Экономика труда, 2017. – № 4 – С. 197-208

79. Y. Yousif Babakr Hussein Khoshnaw. 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

80. Хошнав Ю. Б. 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

81. Kh. Y. B. Hussein. Regression rationing of labor costs based on the estimation of their actual values by neural network modelling / Kh. Y. B. Hussein, S. A. Bolotin, N. Q. R. Huraini, **H. A. Bohan** // Vestnik MGSU. – 2023. – Vol. 18, No. 4. – P. 638-650

82. Павлова А. И. Сравнительный анализ применения нейронных сетей для аппроксимации функций / А. И. Павлова, О. Ю. Лончакова // SCIENCE TIME, 2015. –

№ 5 (17). – С. 314–320

83. M. Guo, A. Manzoni, M. Amendt, P. Conti, and J. S. Hesthaven, “Multi-fidelity regression using artificial neural networks: Efficient approximation of parameter-dependent output quantities,” Comput. Methods Appl. Mech. Eng., vol. 389, p. 114378, 2022

84. Y. Chen, L. Song, Y. Liu, L. Yang, and D. Li, “A review of the artificial neural network models for water quality prediction,” Appl. Sci., vol. 10, no. 17, p. 5776, 2020

85. S. J. Choudhury and N. R. Pal, “Imputation of missing data with neural networks for classification,” Knowledge-Based Syst., vol. 182, p. 104838, 2019

86. N. R. Draper and H. Smith, Applied regression analysis, vol. 326. John Wiley & Sons, 1998

87. A. H. Boussabaine, “The use of artificial neural networks in construction management: a review,” // Constr. Manag. Econ., vol. 14, no. 5, pp. 427–436, 1996

88. K.-L. Du and M. N. S. Swamy, Neural networks and statistical learning. Springer Science & Business Media, 2013

89. Гализдра В. И. Нейронные сети и аппроксимация данных / В. И. Гализдра, Ш. Б. Бабаев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2011. –№ 3 – С. 35–43

90. РАКОВСКИЙ В. И. Оптимизация воспроизводственных процессов обновления жилищного фонда города посредством применения методов математического моделирования / В. И. РАКОВСКИЙ, О. Н. ПОПОВА // Промышленное и гражданское строительство, 2012. –№ 10 – С. 32–43

91. Русанов А. Е. Исследование влияния дефектов строительных работ на теплозащитные свойства фрагмента ограждающей конструкции с устройством навесной фасадной системы / А. Е. Русанов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Строительство и архитектура, 2013. –№ 2 (13) – С. 38–42

92. Климов С. Э. Развитие теории и совершенствование методологии календарного планирования строительства в суровых условиях Крайнего Севера:

Автореферат дисс. на соиск. степ. д. т. н. –СПб: СПбГАСУ, 2005. –324 с

93. M. Abd Elaziz et al., “Advanced metaheuristic optimization techniques in applications of deep neural networks: a review,” // Neural Comput. Appl., vol. 33, no. 21, pp. 14079–14099, 2021

94. Y. Wang, Y. Li, Y. Song, and X. Rong, “The influence of the activation function in a convolution neural network model of facial expression recognition,” Appl. Sci., vol. 10, no. 5, p. 1897, 2020

95. Z. C. Lipton, J. Berkowitz, and C. Elkan, “A critical review of recurrent neural networks for sequence learning,” arXiv Prepr. arXiv1506.00019, p. 38, 2015

96. T. Mamalis, D. Stipanović, and P. Voulgaris, “Stochastic learning rate optimization in the stochastic approximation and online learning settings,” // in 2022 American Control Conference (ACC), 2022, pp. 4286–4291

97. Болотин С. А. Определение погрешности квалиметрической оценки весов аддитивных показателей качества календарных планов строительства / С. А. Болотин and А. Х. Дадар // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2010. –№ 2 – С. 29–33

98. W. Bakir, “Liquidated Damages versus Delay Penalties and Limitation of Liability: A Comparison between the English and United Arab Emirates Law.” The British University in Dubai (BUiD), 2016

99. S. Ward and C. Chapman, “Stakeholders and uncertainty management in projects,” // Constr. Manag. Econ., vol. 26, no. 6, pp. 563–577, 2008

100. S. Olander, “Stakeholder impact analysis in construction project management,” // Constr. Manag. Econ., vol. 25, no. 3, pp. 277–287, 2007

101. E. Chinyio and P. Olomolaiye, Construction stakeholder management. John Wiley & Sons, 2009

102. O. Cretu, R. B. Stewart, and T. Berends, Risk management for design and construction, vol. 75. John Wiley & Sons, 2011

103. R. Newcombe, “From client to project stakeholders: a stakeholder mapping

approach," // Constr. Manag. Econ., vol. 21, no. 8, pp. 841–848, 2003

104. Болотин С. А. Байесовский подход в определении доли солидарной ответственности участников строительства при его несвоевременном завершении / С. А. Болотин, А.-К. Дадар // Вестник гражданских инженеров, 2019. –№ 2 – С. 79–84

105. T. Bayes, "An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. 1763," // MD Comput. Comput. Med. Pract., vol. 8, no. 3, pp. 157–171, 1991

106. S. M. Stigler, The history of statistics: The measurement of uncertainty before 1900. Harvard University Press, 1986

107. T. Hamelryck, K. Mardia, and J. Ferkinghoff-Borg, Bayesian methods in structural bioinformatics. Springer, 2012

108. T. D. Phan, J. C. R. Smart, S. J. Capon, W. L. Hadwen, and O. Sahin, "Applications of Bayesian belief networks in water resource management: A systematic review," // Environ. Model. Softw., vol. 85, pp. 98–111, 2016

109. D. K. Chua and Y. M. Goh, "Poisson model of construction incident occurrence," // J. Constr. Eng. Manag., vol. 131, no. 6, pp. 715–722, 2005

110. S.-Y. K. Van Truong Luu, N. Van Tuan, and S. O. Ogunlana, "Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks," // Int. J. Proj. Manag., vol. 27, no. 1, pp. 39–50, 2009

111. M. S. Islam, M. P. Nepal, M. Skitmore, and G. Kabir, "A knowledge-based expert system to assess power plant project cost overrun risks," // Expert Syst. Appl., vol. 136, pp. 12–32, 2019

112. B. Jitwasinkul, B. H. W. Hadikusumo, and A. Q. Memon, "A Bayesian Belief Network model of organizational factors for improving safe work behaviors in Thai construction industry," // Saf. Sci., vol. 82, pp. 264–273, 2016

113. C. Sabillon, A. Rashidi, B. Samanta, M. A. Davenport, and D. V Anderson, "Audio-based bayesian model for productivity estimation of cyclic construction activities," J. Comput. Civ. Eng., vol. 34, no. 1, p. 4019048, 2020

114. O. Špačková, J. Šejnoha, and D. Straub, "Probabilistic assessment of tunnel

construction performance based on data," // Tunn. Undergr. Sp. Technol., vol. 37, pp. 62–78, 2013

115. P. Pareek, S. Han, and S. Misra, "Application of Bayesian updating for real-time schedule estimation in a concreting operation," // Int. J. Constr. Manag., vol. 16, no. 1, pp. 54–66, 2016

116. S. Zhang, C. Du, W. Sa, C. Wang, and G. Wang, "Bayesian-based hybrid simulation approach to project completion forecasting for underground construction," J. Constr. Eng. Manag., vol. 140, no. 1, p. 4013031, 2014

117. P. Gardoni, K. F. Reinschmidt, and R. Kumar, "A probabilistic framework for Bayesian adaptive forecasting of project progress," // Comput. Civ. Infrastruct. Eng., vol. 22, no. 3, pp. 182–196, 2007

118. M.-Y. Cheng, C.-C. Huang, and A. F. Van Roy, "Predicting project success in construction using an evolutionary Gaussian process inference model," // J. Civ. Eng. Manag., vol. 19, no. sup1, pp. S202–S211, 2013

119. T. H. Chung, Y. Mohamed, and S. AbouRizk, "Bayesian updating application into simulation in the North Edmonton Sanitary Trunk tunnel project," // J. Constr. Eng. Manag., vol. 132, no. 8, pp. 882–894, 2006

120. M. Golparvar-Fard, F. Pena-Mora, and S. Savarese, "Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models," J. Comput. Civ. Eng., vol. 29, no. 1, p. 4014025, 2015

121. B. McCabe and S. M. AbouRizk, "Performance measurement indices for simulated construction operations," // Can. J. Civ. Eng., vol. 28, no. 3, pp. 383–393, 2001

122. Instructions for the implementation of government contracts in Iraq No. 1, Chapter One, Article 9, Paragraph 4, 2014

123. Болотин С. А. Календарное планирование СМР методом неопределенных ресурсных коэффициентов / С. А. Болотин // Строительство и архитектура, 1989. –№ 9 – С. 75–80

124. Болотин С. А. Методология оптимального ресурсораспределения в

календарном планировании строительства объектов и их комплексов: автореферат дис. на соиск. учен. степ. д-ра. техн. наук. –СПб. СПбГАСУ, 1998

125. Болотин С. А. Максимизация продолжительностей работ всех исполнителей в расписаниях СМР / С. А. Болотин, О. Н. Рунковский // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1990. –№ 11 – С. 66–70

126. Болотин С. 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

127. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. –Ленинград: Стройиздат, 1990

128. Чахкиев И. М. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МИНИМИЗАЦИИ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ И РАСЧЕТА ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ: дис. канд. технических наук –СПб. СПбГАСУ, 2014. –177 с

129. Р. ГОСТ 9001-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования.[Электронный ресурс]/Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. –М. Стандартинформ, 2010

130. Bolotin S. 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

131. Болотин С. 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

132. Болотин С. 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

133. Болотин С. 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

134. Банди Б. Основы линейного программирования. - М.: Радио и связь, 1989. - 176с

135. G. Dantzig, Linear programming and extensions. Princeton university press, 1963

136. Z. Hejducki and M. Rogalska, “Time coupling methods project scheduling and time/cost optimization,” 2011

137. Малкин М. М. Оптимизация графиков движения рабочих в календарных планах методом вариации ресурсных профилей: Автореферат дис. канд. технических наук –СПб. СПбГАСУ, 2010

138. Куперштейн В. И. Microsoft Project 2010 в управлении проектами. –СПБ: БХВ-Петербург, 2012

139. Алиев В. С. Практикум по бизнес-планированию с использованием программы Project Expert. М. ФОРУМ ИНФРА -М, 2010

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

141. Болотин С. 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

142. “construction-daily-reports-logs @ www.projectmanager.com.” [Online]. Available: https://www.projectmanager.com/blog/construction-daily-reports-logs

143. Y. Shin, D. Kim, T.-Y. Kim, and G.-H. Kim, “Daily reporting system using

digital pen at construction site," // J. Korea Inst. Build. Constr., vol. 16, no. 2, pp. 177–183, 2016

144. A. D. Patre and A. B. Ugale, "Indirect Cost in Construction Project," Aegaeum J., vol. 8, no. 5, p. 925, 2020, [Online]. Available: http://aegaeum.com/

145. A. Enshassi, A. Rashid Abdul Aziz, and A. Karriri, "Investigating the overhead costs in construction projects in Palestine," // J. Financ. Manag. Prop. Constr., vol. 13, no. 1, pp. 35–47, 2008

146. СП 47.13330.2012. «СНиП 11-02-96. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.». – Москва, 2013. – 115 с.

147. M. Hutchings and J. Christofferson, "'Factors leading to construction company success: perceptions of small-volume residential contractors," // in ASC Proceedings of the 37th Annual Conference, 2001, pp. 263–270

148. МДС 81-33. 2004 «Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве.», ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ. – Москва: Аудит, 2004. – 40 с

149. R. J., "a Systematic Study on Site Overhead Costs in Construction Industry," // Int. J. Res. Eng. Technol., vol. 04, no. 10, pp. 149–151, 2015

150. Болотин С. 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

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Ранжировка значимостей причин задержки строительства в республике Ирак

Таблица П.1.1. Рейтинг факторов, вызывающих задержку в Ираке

Причины Задержки:	Индекс важности (II) %	ранг (R)	Группа
Факторы безопасности	50.35	1.	1
Недостаточное финансирование строительных проектов.	44.07	2.	2
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
Продажа проекта одному или нескольким субподрядчикам	32.77	11.	4-A
Просрочка ежемесячных платежей подрядчика	30.69	12.	2

Продолжение таблицы П.1.1.

Неверная оценка подрядчика на срок действия контракта	30.48	13.	4-B
Неточности в проектной документации	29.78	14.	3
Недостаточное количество рабочей силы	28.67	15.	4-C
Плохое управление сайтом проекта	27.99	16.	4-B
Отсутствие высокотехнологичного механического оборудования	24.82	17.	4-C
Бюрократия	24.33	18.	2
Слабость в документировании хода строительства	22.80	19.	2
переделок	21.41	20.	4-A
Изменение дизайна работодателем на этапе выполнения	21.11	21.	2
Не разработанный план управления рисками в проекте	20.63	22.	4-B
Несоблюдение графика работы	19.88	23.	4-B
Отсутствие необходимого оборудования и инструментов	19.67	24.	4-C
Погодные условия.	18.13	25.	1
Низкая квалификация контрактного персонала учреждения-работодателя	17.79	26.	2
Использование несоответствующих и устаревших методов строительства	17.76	27.	4-A
Задержка подачи материала	16.92	28.	4-C
Частые изменения графика проекта со стороны подрядчика	16.64	29.	4-B

Продолжение таблицы П.1.1.

Задержка в выдаче результатов лабораторных испытаний проекта	15.53	30.	3
Неадекватное раннее планирование проекта и набор необходимых данных для консультанта	15.26	31.	2
Задержка в предоставлении технических консультаций или решении технических проблем	13.74	32.	3
Споры между работниками на объекте	11.84	33.	4-A
Ненадлежащее хранение строительных материалов подрядчиком	10.91	34.	4-A
Официальные и неофициальные праздники	10.87	35.	5
Неточная оценка затрат	10.32	36.	4-B
Поставка строительных материалов, не соответствующих спецификации	9.85	37.	4-C
Фактор отсутствия графика поставки строительных материалов	9.30	38.	4-B
Изменения спецификаций и типов материалов во время строительства заказчиком	9.09	39.	2
Отсутствие связи и координации между сторонами, вовлеченными в проект (работодатель, подрядчики и субподрядчики, проектировщики и консультанты, сотрудники и поставщики).	8.82	40.	4-A
Изменения в объеме работ работодателя во время строительства	8.75	41.	2
Изменения дизайна консультантами	8.49	42.	3

Продолжение таблицы П.1.1.

Недостаточный сбор данных и обследований перед строительством	6.03	43.	4-В
Слабый контроль и надзор за строительными работами	5.30	44.	2
Конфликты между совместной собственностью проекта	4.37	45.	1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Практические примеры по строительству комплекса университетских зданий в Республике Ирак

Проект № 5 – Пример проекта университета на юге Ирака представлен тремя зданиями площадью 3000 кв.м. Предполагаемый срок строительства составил 60 недель, а общая стоимость составила 7 миллионов долларов США. На рисунке П.2.1 показан график работ проекта.

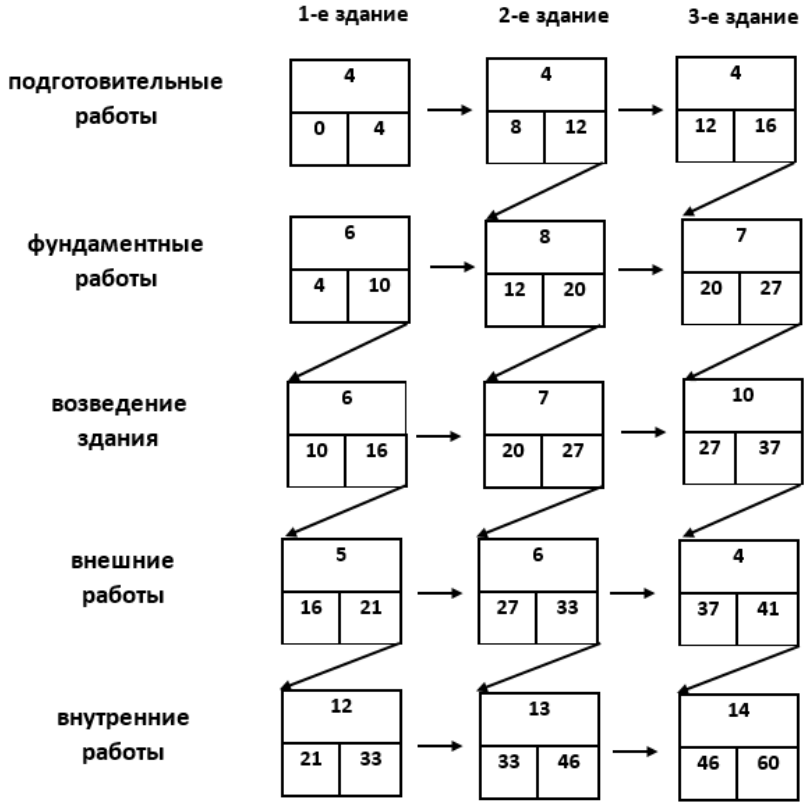

Рисунок П.2.1. График строительства объекта *№ 5*

На первом этапе мониторинга после 6-недельного периода реализации. На рисунке П.2.2 показан график реализации проекта, на котором показаны выполненные фронты работ и оставшиеся работы.

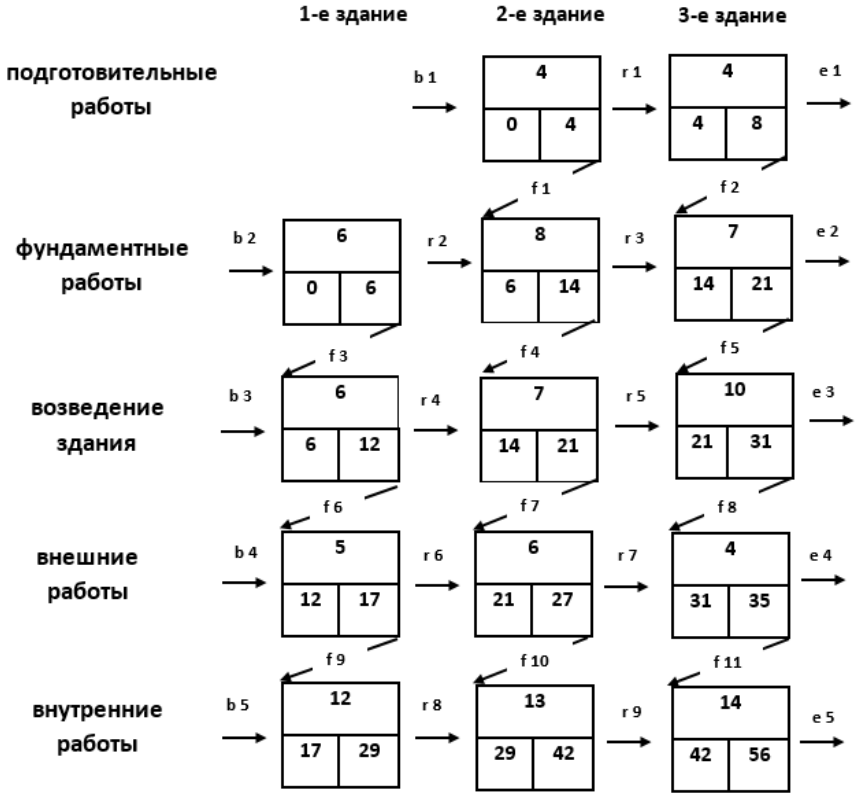

Рисунок П.2.2. График проекта через 6 недель после начала строительства

Используя директивную продолжительность, равную 54 недели, составлена система уравнений (П.2.1):

$$1)\ b_1+8a_1+ r_1 +e_1= 46$$

$$2)\ b_2+21a_2+r_2 + r_3 +e_2= 33$$

$$3)\ b_3+23a_3+r_4+r_5+e_3= 31$$

$$4)\ b_4+15a_4+r_6+r_7+ e_4= 39$$

$$5)\ b_5+39a_5+r_8+r_9+e_5= 15$$

$$6)\ b_1+4a_1+15a_2+f_1+ r_3 +e_2= 35$$

$$7)\ b_1+8a_1+7a_2+f_2+ r_1 +e_2= 39$$

$$8)\ b_2+6a_2+23a_3+f_3+r_4+r_5+e_3=25$$

$$9)\ b_2+14a_2+17a_3+f_4+r_2+r_5+e_3= 23$$

$$10)\ b_2+21a_2+10a_3+f_5+r_2+r_3+e_3= 23$$

$$11)\ b_3+6a_3+15a_4+f_6+r_6+r_7+e_4= 33$$

$$12)\ b_3+13a_3+10a_4+f_7+r_4+r7+e_4= 31$$

$$13)\ b_3+23a_3+4a_4+f_8+r_4+r_5+e_4= 27$$

$$14)\ b_4+5a_4+39a_5+f_9+r_8+r_9+e_5= 10$$

$$15)\ b_4+11a_4+17a_5+f_{10}+r_6+r_9+e_5= 26$$

$$16) b_4+15a_4+14a_5+f_{11}+r_6+r_7+e_5= 25 \qquad (П.2.1)$$

В программе MS Project с помощью предложенного макроса реализована предложенная оптимизация метода МНРК. Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.2):

$$b_2 +6a_2+6a_3+5a_4+39a_5+f_3+ f_6+ f_9+r_8+r_9+e_5= -2 \qquad (П.2.2)$$

В таблице П.2.1 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 6 недель после начала строительства. Для компенсации задержки необходимо увеличить каждый ресурс в соответствии со ставками и затратами, указанными в этой же таблице.

В этой же таблице также показано, что фактическая активность свершившегося процесса управления строительством (Aact) равна 1,78, следовательно, для улучшения управления необходимо потратить сумму в 14300 долл. В той же таблице также показано, что ожидаемое время завершения проекта, основанное на индексе энтропии, составляет 70,1 недель, поэтому улучшение качества управления является наиболее подходящим вариантом для ЛПР, поскольку позволяет избежать ожидаемых задержек в будущем.

Таблица П.2.1. Мониторинг результатов после 6 недель начала работы

Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
Вид ресурса:	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	50 %	26250 долл.
R 3	50 %	29808 долл.

Продолжение таблицы П.2.1.

<table>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">66 %</td><td colspan="2">88957 долл.</td></tr>
<tr><td>R 5</td><td colspan="2">5,4 %</td><td colspan="2">23515 долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="4">58,324 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">4 н.</td><td colspan="2">6 н.</td><td>10 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 0,58 бит</td><td>S_{pess}= 1,32 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 1,78</td><td>T^{for}= 65,2 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="4">14,300 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Доли ответственности за задержку</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ответственный</td><td colspan="3">Пеня доля, долл.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Субподрядчик № 1</td><td colspan="3">14 868</td></tr>
<tr><td colspan="2">Субподрядчик № 2</td><td colspan="3">35 057</td></tr>
<tr><td colspan="2">Руководитель проекта</td><td colspan="3">8 399</td></tr>
</table>

На втором этапе мониторинга через 12 недель внедрения. На рисунке П.2.3 показан график проекта, который включает завершенные и оставшиеся работы.

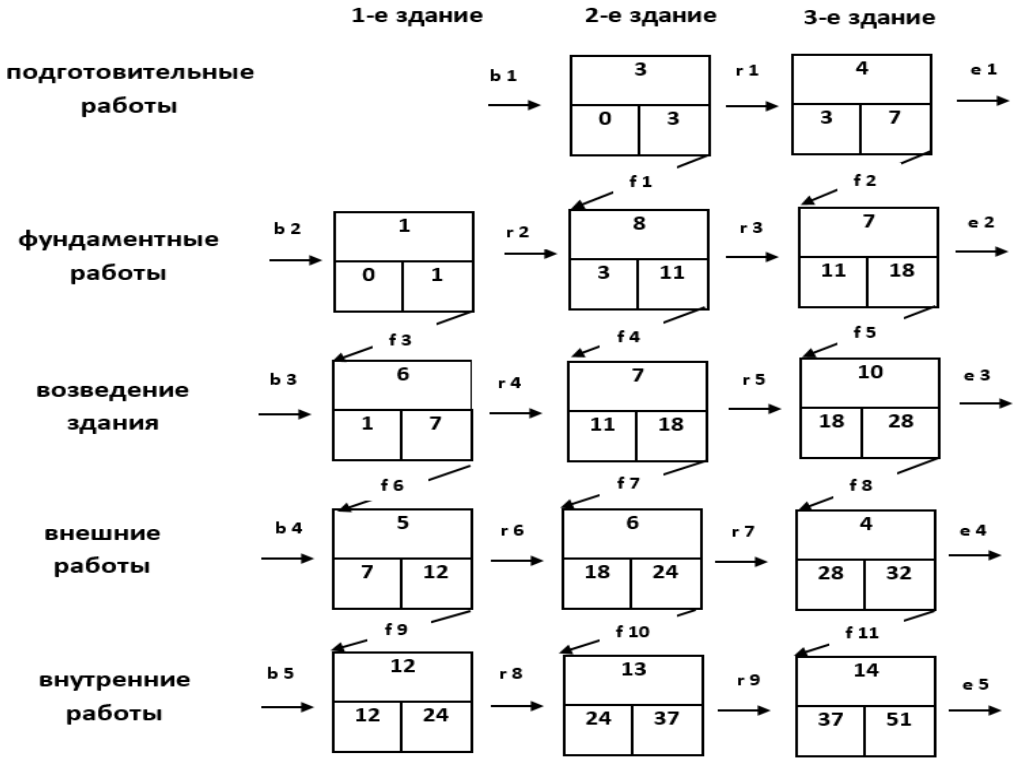

Рисунок П.2.3 – График реализации проекта на втором этапе мониторинга

Используя директивную продолжительность, равную 48 недель, составлена система уравнений (П.2.3):

$$1)\ b_1+7a_1+r_1+e_1=41$$

$$2)\ b_2+16a_2+r_2+r_3+e_2= 32$$

$$3)\ b_3+23a_3+r_4+r_5+e_3= 25$$

$$4)\ b_4+15a_4+r_6+r_7+ e_4= 33$$

$$5)\ b_5+39a_8+r_6+r_9+e_5= 19$$

$$6)\ b_1+3a_1+15a_2+f_1+r_3+e_2= 30$$

$$7)\ b_1+7a_1+7a_2+f_2+r_1+e_2= 34$$

$$8)\ b_2+a_2+23a_3+f_3+r_4+r_5+e_3= 24$$

$$9)\ b_2+9a_2+17a_3+f_4+r_2+r_5+e_3= 22$$

$$10)\ b_2+16a_2+10a_3+f_5+r_2+r_3+e_3= 22$$

$$11)\ b_3+6a_3+15a_4+f_6+r_6+r_7+e_4= 27$$

$$12)\ b_3+13a_3+10a_4+f_7+r_4+r_7+e_4= 25$$

$$13)\ b_3+23a_3+4a_4+f_8+r_4+r_5+e_4= 23$$

$$14)\ b_4+5a_4+39a_5+f_9+r_8+r_9+e_5= 4$$

$$15)\ b_4+11a_4+27a_5+f_{10}+r_6+r_9+e_5= 10$$

$$16) b_4+15a_4+14a_5+f_{11}+r_6+r_7+e_5= 19 \qquad (П.2.3)$$

Решение показывает, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение П.2.4:

$$b_2+a_2+6a_3+5a_4+39a_5+f_3+ f_6+ f_9+r_8+r_9+e_5= -3 \qquad (П.2.4)$$

В таблице П.2.2. представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 12 недель после начала строительства.

Таблица П.2.2. Мониторинг результатов после 12 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="4">Сумма задержки (d)= 3 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса:</td><td colspan="2">% увеличения ресурса</td><td>Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td colspan="2">200 %</td><td>105,000 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td colspan="2">100 %</td><td>59,616 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">150 %</td><td>202,176 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 5</td><td colspan="2">8,3 %</td><td>36,143 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="3">71,190 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">9 н.</td><td colspan="2">12 н.</td><td>14 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 0,41 бит</td><td colspan="2">S_{pess}= 0,63 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 2.85</td><td>T^{for}= 45,6 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="4">25,700 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Проект № 6 – Проект здания факультета управления и экономики, состоящего из трех различных сооружений, общей площадью 6000 квадратных метров, предполагаемая продолжительность строительства - 64 недели, стоимость - 6,03

миллиона долларов. На рисунке П.2.4. продемонстрирован график работ, соответствующий проекту *№6*.

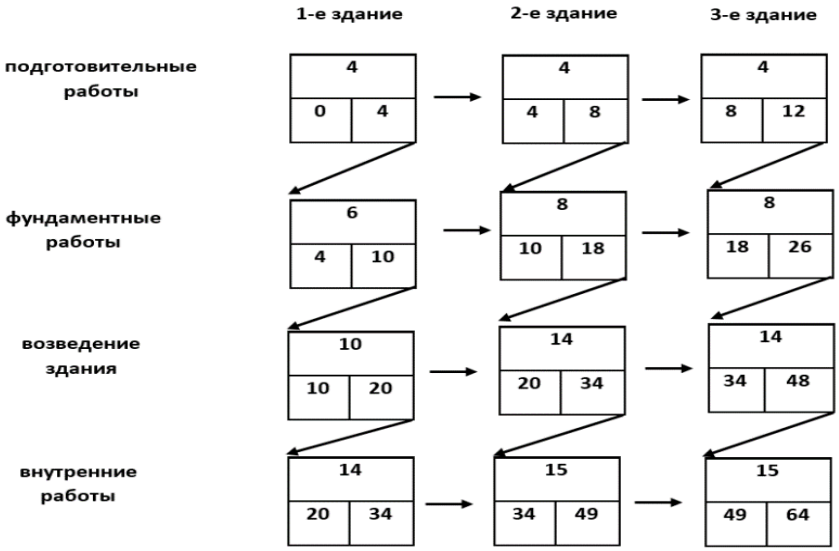

Рисунок П.2.4 – График строительства объекта *№ 6*

Мониторинг проводился через 3 недели после начала строительства, было замечено, что подготовка первого здания была завершена на 75%, а остальные - на 0%. На рисунке П.2.5. демонстрирует продвижение проекта после начала строительства в течение 3 недель.

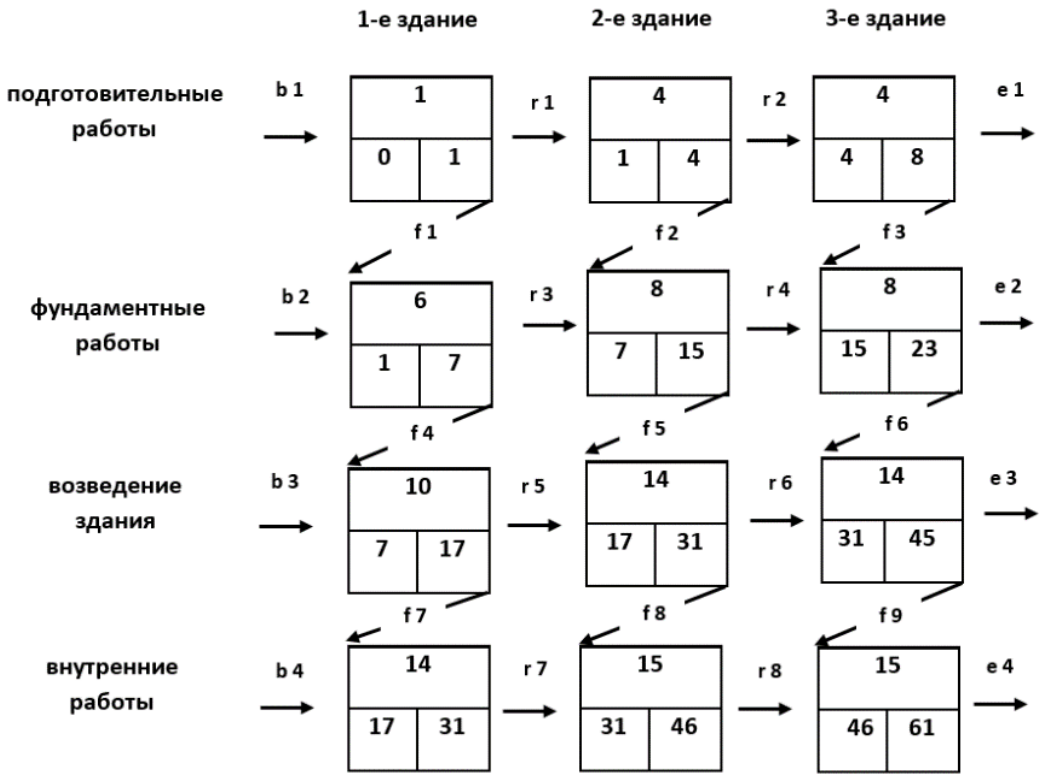

Рисунок П.2.5. – Фактический график строительства на первом этапе мониторинга (3 недель после начала работ)

После сравнения планового и фактического графика в блоке 3 алгоритма доказано, что план полностью соответствует фактическому, тогда предыдущая организация планирования и строительства считается удовлетворительной и не требует каких-либо изменений, тогда переходим к блоку 4, принятие запланированного графика строительства, затем переход к Блоку 13, повторение алгоритма к следующему этапу.

Мониторинг повторялся еще в течение восьми недель после начала строительства. Оказалось, что подготовительные работы первого корпуса выполнена на 100 %, второго корпуса выполнена на 50 %, фундамент первого корпуса выполнен на 16 %, а остальные 0 %, как показано на рисунке П.2.6.

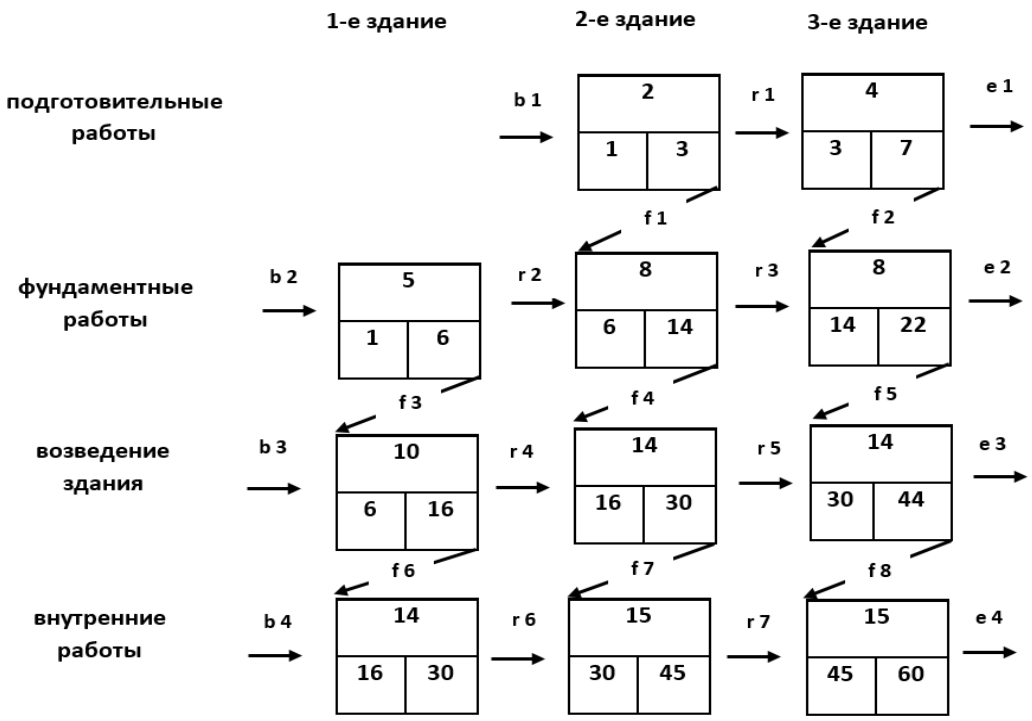

Рисунок П.2.6. – График реализации строительства на втором этапе мониторинга (8 недель после начала строительства)

Используя директивную продолжительность, равную 56 недель, составлена система уравнений (П.2.5):

$$1)\ b_1+6a_1+r_1+e_1= 50$$

$$2)\ b_2+21a_2+r_1 +r_3+e_2= 35$$

$$3)\ b_3+38a_3+r_4+r_5+e_3=18$$

$$4)\ b_4+44a_4+r_6+r_7+ e_4= 12$$

$$5)\ b_1+2a_1+16a_2+f_1+r_3+e_2= 38$$

$$6)\ b_1+6a_1+8a_2+f_2+r_1+e_2= 42$$

$$7)\ b_2+5a_2+38a_3+f_3+r_4+r_5+e_3= 13$$

$$8)\ b_2+13a_2+28a_3+f_4+r_2+r_5+e_3= 15$$

$$9)\ b_2+21a_2+14a_3+f_5+r_2+r_3+e_3= 21$$

$$10)\ b_3+10a_3+44a_4+f_6+r_6+r7+e_4= 2$$

$$11)\ b_3+24a_3+30a_4+f_7+r_4+r_7+e_4= 2$$

$$12)b_3+38a_3+15a_4+f_8+r_4+r_5+e_4= 3 \qquad (П.2.5)$$

Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение П.2.6:

$$b_2+5a_2+10a_3+44a_4+ f_3+ f_6+r_6+r_7+e_4= -3 \qquad (П.2.6)$$

В таблице П.2.3. представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 8 недель после начала строительства.

Таблица П.2.3. Мониторинг результатов после 8 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="4">Сумма задержки (d)= 3 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса</td><td>% увеличения ресурса</td><td colspan="2">Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td>50 %</td><td colspan="2">124,821 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td>42%</td><td colspan="2">79,017 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td>7 %</td><td colspan="2">40,521 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="3">70,350 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">5 н.</td><td colspan="2">8 н.</td><td>9 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 0,67 бит</td><td>S_{pess}= 0,84 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 1,26</td><td>T^{for}= 75 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="3">8,600 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Проект № 7 – Здание ворот и стена университетского комплекса, площадью застройки 300 квадратных метров, со стеной длиной 3500 метров и высотой 3 метра, директивная продолжительность строительства составлял 77 недели, стоимость проекта 1,3 млн. долларов США. На рисунке П.2.7. показан расписание поточного строительства проект *№ 7*.

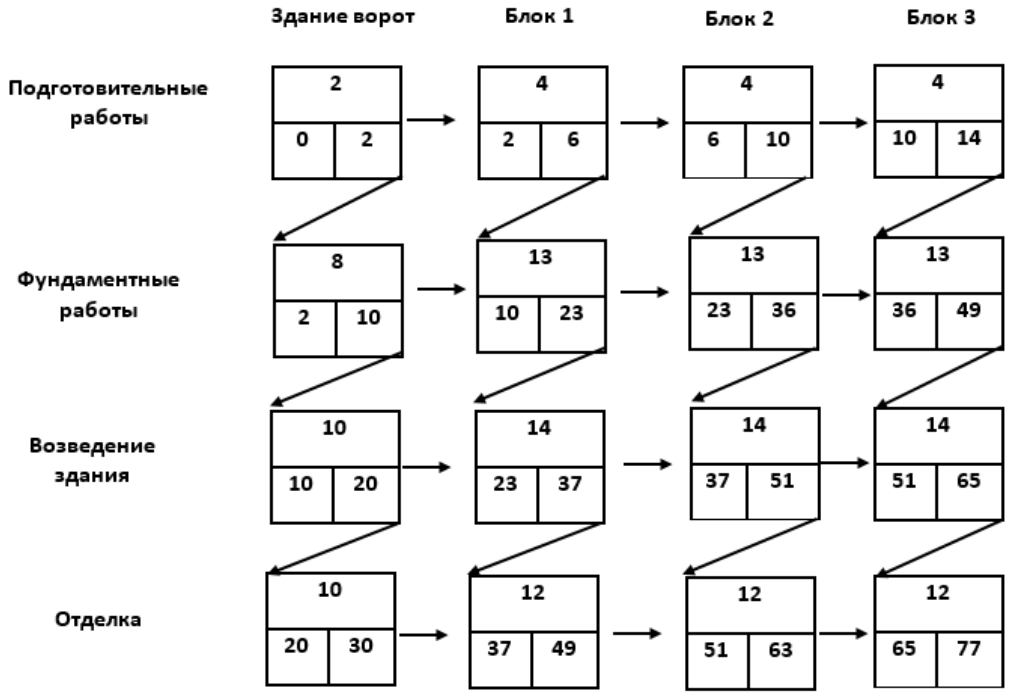

Рисунок П.2.7. – Расписание поточного строительства проект *№ 7*

Процесс мониторинга для оценки хода реализации проекта начался по графику через 4 недели после начала строительства. Таким образом, было продемонстрировано, что подготовительные работы в здании Ворот были завершены на 50%, а оставшиеся работы - 0 %, как показано на рисунке П.2.8.

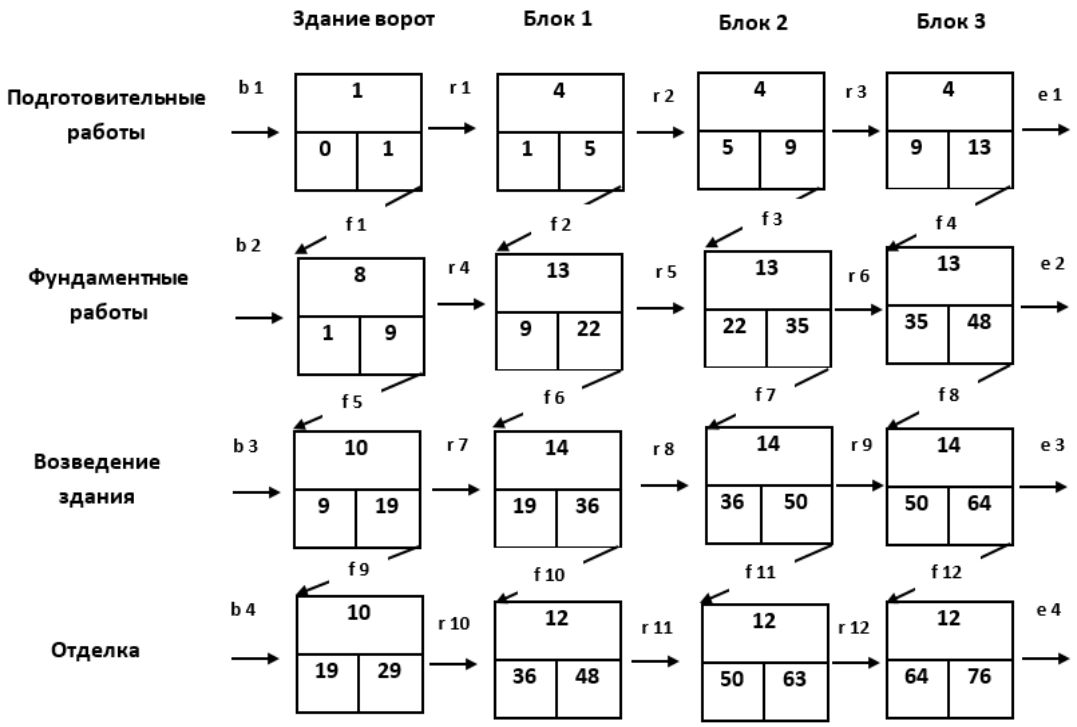

Рисунок П.2.8. – Фактический график проекта на первом этапе мониторинга (4 недели после начала строительства)

Используя директивную продолжительность, равную 73 недель, составлена система уравнений (П.2.7):

$$1)\ b_1+13a_1+r_1+r_2+r_3+e_1= 60$$

$$2)\ b_2+47a_2+r_4 +r5+r_6+e_2= 35$$

$$3)\ b_3+52a_3+r_7+r_8+r_9+e_3=21$$

$$4)\ b_4+46a_4+r_{10}+r_{11}+r_{12}+ e_4= 27$$

$$5)\ b_1+a_1+47a_2+f_1+r_4+r_5+r_6+e_2= 25$$

$$6)\ b_1+5a_1+39a_2+f_2+r_1+r_5+r_6+e_2= 29$$

$$7)\ b_1+9a_1+26a_2+f_3+r_1+r_2+r_6+e_2= 38$$

$$8)\ b_1+13a_1+13a_2+f_4+r_1+r_2+r_3+e_2= 47$$

$$9)\ b_2+8a_2+52a_3+f_5+r_7+r_8+r_9+e_3= 13$$

$$10)\ b_2+21a_2+42a_3+f_6+r_4+r_8+r_9+e_3= 10$$

$$11)\ b_2+34a_2+28a_3+f_7+r_4+r_5+r_9+e_3= 11$$

$$12)\ b_2+47a_2+14a_3+f_8+r_4+r_5+r_6+e_3= 12$$

$$13)\ b_3+10a_3+46a_4+f_9+r_{10}+r_{11}+r_{12}+e_4= 17$$

$$14)\ b_3+24a_3+36a_4+f_{10}+r_7+r_{11}+r_{12}+e_4= 13$$

$$15)\ b_3+38a_3+24a_4+f_{11}+r_7+r_8+r_{12}+e_4= 11$$

$$16) b_3+52a_3+12a_4+f_{12}+r_7+r_8+r_9+e_4= 9 \qquad (П.2.7)$$

Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.8).

$$b_1+a_1+21a_2+42a_3+12a_4+f_1+ r_4+ f_6+r_8+r_9+ f_{12}+e_4= -3 \qquad (П.2.8)$$

В таблице П.2.4 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 4 недели после начала строительства.

Таблица П.2.4. Мониторинг результатов после 4 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="5">Сумма задержки (d)= 3 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса</td><td colspan="2">% увеличения ресурса</td><td colspan="2">Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td colspan="2">16 %</td><td colspan="2">6,315 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td colspan="2">7 %</td><td colspan="2">11,925 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">33 %</td><td colspan="2">11,531.5 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="4">12,642 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">1 н.</td><td colspan="2">4 н.</td><td>7 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 2 бит</td><td>S_{pess}= 2,8 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 3,5</td><td>T^{for} = 288 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="4">12,400 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Мониторинг был повторен через восемь недель после начала строительства, и в результате было установлено, что подготовительные работы в Вороте и первом блоке выполнены на 100%, фундаментные работы в Вороте выполнены на 37,5%, а остальные работы составил 0%. Как показано на рисунке П.2.9.

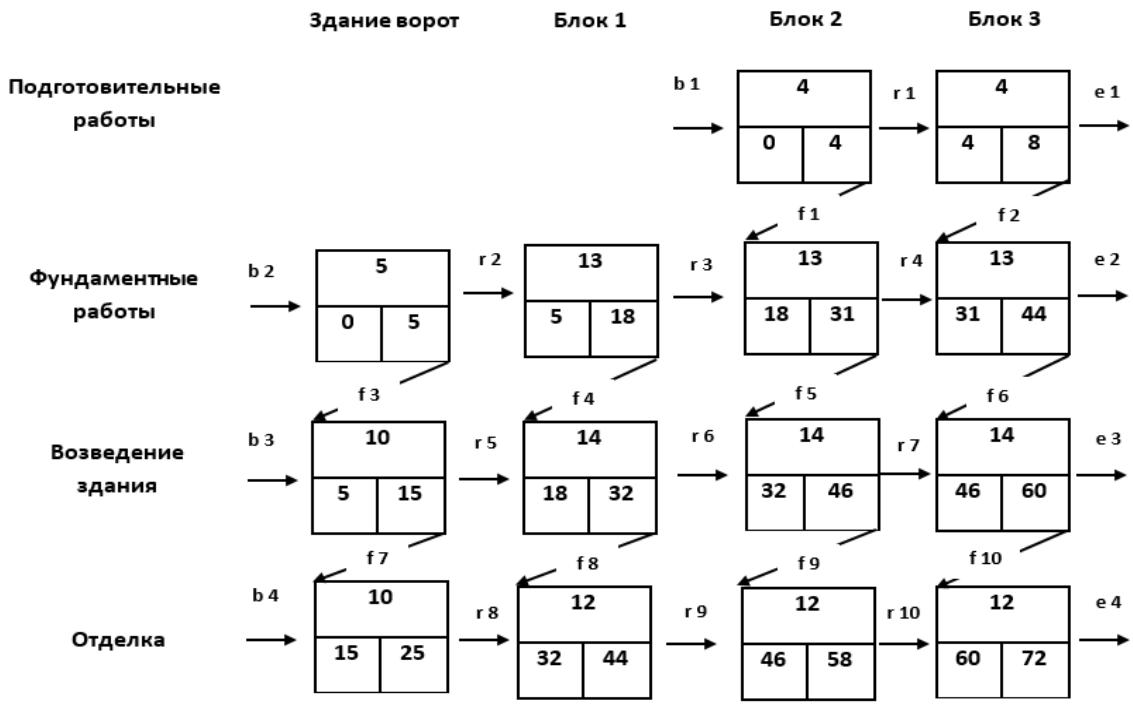

Рисунок П.2.9. Фактический график проекта на втором этапе мониторинга(8 недель после начала работ)

Используя директивную продолжительность, равную 69 недель, составлена система уравнений (П.2.9):

$$1)\ b_1+8a_1+r_1+e_1= 61$$

$$2)\ b_2+44a_2+r_2+r3+r_4+e_2= 25$$

$$3)\ b_3+52a_3+r_5+r_6+r_7+e_3=17$$

$$4)\ b_4+46a_4+r_8+r_9+r_{10}+ e_4= 23$$

$$5)\ b_1+4a_1+26a_2+f_1+r_4+e_2= 39$$

$$6)\ b_1+8a_1+13a_2+f_2+r_1+e_2= 48$$

$$7)\ b_2+5a_2+52a_3+f_3+r_5+r_6+r_7+e_3= 12$$

$$8)\ b_2+18a_2+42a_3+f_4+r_2+r_6+r_7+e_3= 9$$

$$9)\ b_2+31a_2+28a_3+f_5+r_2+r_3+r_7+e_3= 10$$

$$10)\ b_2+44a_2+14a_3+f_6+r_2+r_3+r_4+e_3= 11$$

$$11)\ b_3+10a_3+46a_4+f_7+r_8+r_9+r_{10}+e_4= 13$$

$$12)\ b_3+24a_3+36a_4+f_8+r_5+r_9+r_{10}+e_4= 9$$

$$13)\ b_3+38a_3+24a_4+f_9+r_5+r_6+r_{10}+e_4= 7$$

$$14) b_3+52a_3+12a_4+f_{10}+r_5+r_6+r_7+e_4= 5 \qquad (П.2.9)$$

Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.10).

$$b_2+18a_2+42a_3+12a_4+ r_2+ f_4+r_6+r_7+ f_{10}+e_4= -4 \qquad (П.2.10)$$

В таблице П.2.5 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 8 недель после начала строительства.

Таблица П.2.5. Мониторинг результатов после 8 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="4">Сумма задержки (d)= 4 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса:</td><td colspan="2">% увеличения ресурса</td><td>Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td colspan="2">28 %</td><td>11,051 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td colspan="2">10 %</td><td>17,035 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">50 %</td><td>17,472 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="3">12,642 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">5 н.</td><td colspan="2">8 н.</td><td>10 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 0,67 бит</td><td colspan="2">S_{pess}= 1 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 3</td><td>T^{for} = 96,2 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="5">14,650 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Проект № 8 – Три здания для инженерных лабораторий стоимостью 520 тысяч долларов США, общей площадью 1000 квадратных метров, планируемый срок строительства 43 недели, на рисунке П.2.10. Планируемый график строительства.

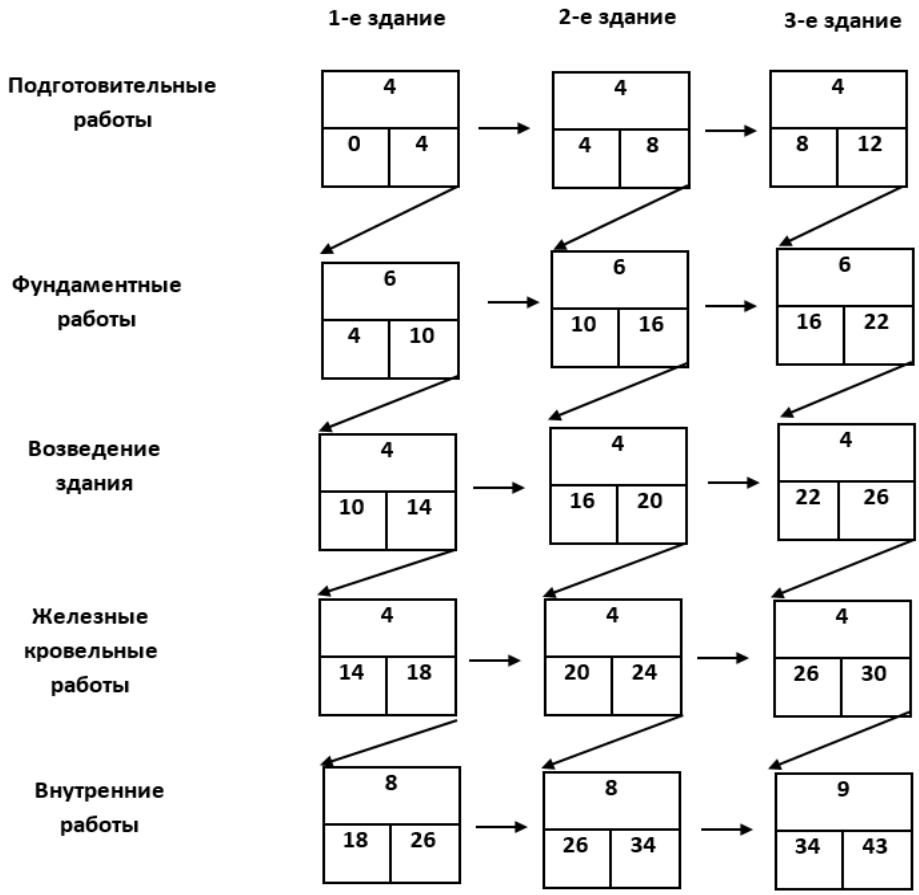

Рисунок П.2.10. Планируемый график строительства проект *№ 8*

Процедуры мониторинга были реализованы через 5 недель после начала строительства. В результате было показано, что подготовительные работы в первом корпусе завершены на 75%, а в остальных - на 0%. Как показано на рисунке П.2.11.

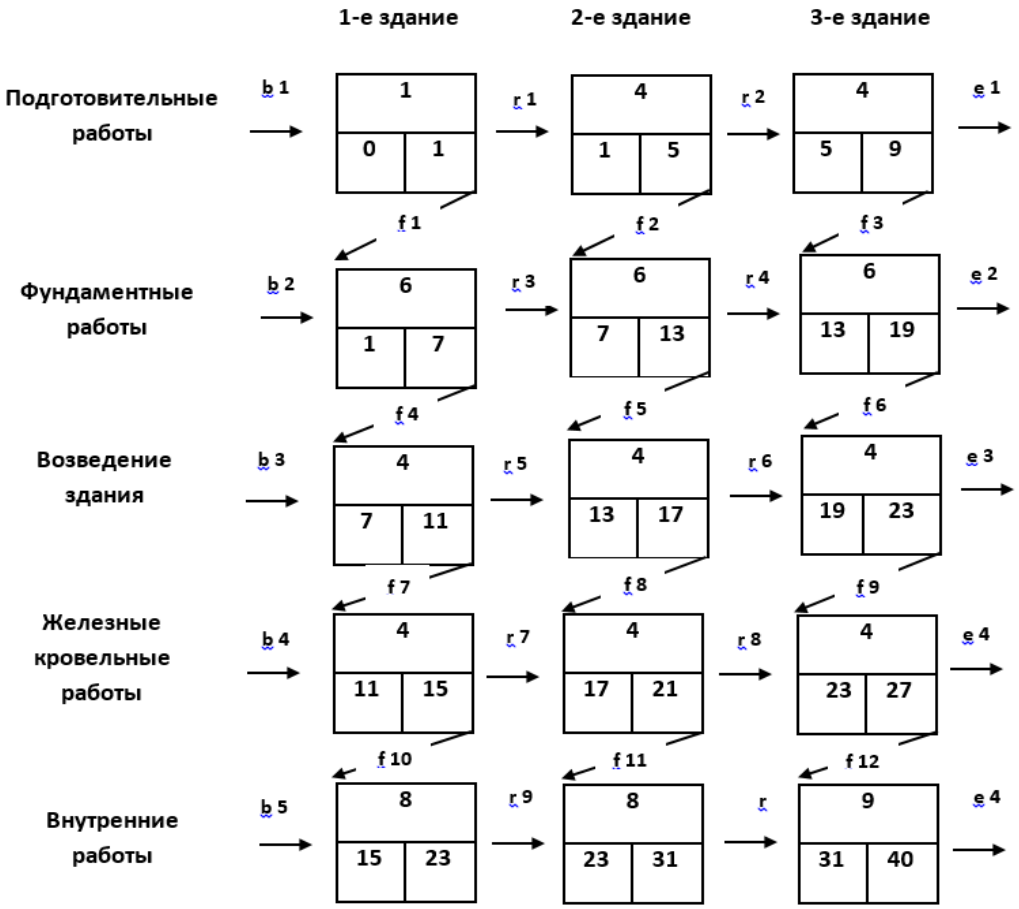

Рисунок П.2.11 - Фактический график проекта на первом этапе мониторинга (5 недель после начала строительства)

Используя директивную продолжительность, равную 38 недель, составлена система уравнений (П.2.11):

$$1)\ b_1+9a_1+r_1+r_2+e_1= 28$$

$$2)\ b_2+18a_2+r_3 +r4+e_2= 19$$

$$3)\ b_3+12a_3+r_5+r_6+e_3=25$$

$$4)\ b_4+12a_4+r_7+r_8+ e_4= 25$$

$$5)\ b_5+25a_5 +r_9+r_{10}+e_5= 12$$

$$6)\ b_1+a_1+18a_2+f_1+r_3+r_4+e_2= 18$$

$$7)\ b_1+5a_1+12a_2+f_2+r_1+r_4+e_2= 20$$

$$8)\ b_1+9a_1+6a_2+f_3+r_1+r_2+e_2= 22$$

$$9)\ b_2+6a_2+12a_3+f_4+r_5+r_6+e_3= 19$$

$$10)\ b_2+12a_2+8a_3+f_5+r_3+r_6+e_3= 17$$

$$11)\ b_2+18a_2+4a_3+f_6+r_3+r_4+e_3= 15$$

$$12)\ b_3+4a_3+12a_4+f_7+r_7+r8+e_4= 21$$

$$13)\ b_3+8a_3+8a_4+f_8+r_5+r_8+e_4= 21$$

$$14)\ b_3+12a_3+4a_4+f_9+r_5+r_6+e_4= 21$$

$$15)\ b_4+4a_4+25a_5+f_{10}+r_9+r10+e_5= 8$$

$$16)\ b_4+8a_4+17a_5+f_{11}+r_7+r10+e_5= 12$$

$$17) b_4+12a_4+9a_5+f_{12}+r_7+r8+e_5= 16 \qquad (П.2.11)$$

Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.12).

$$b_1+a_1+6a_2+4a_3+4a_4+25a_5+f_1+f_4+f_7+ f_{10}+r_9+r_{10}+e_5= -2 \qquad (П.2.12)$$

В таблице П.2.6. представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 5 недель после начала строительства.

Таблица П.2.6. Мониторинг результатов после 5 недель начала работы

Сумма задержки (*d*)= 2 н.		
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 1	200 %	1,562 тыс. долл.
R 2	50 %	7,697.5 тыс. долл.
R 3	100 %	34,805 тыс. долл.
R 4	100 %	10,000 тыс. долл.
R 5	8%	5,146 тыс. долл.
P_{act}	7,812 тыс. долл.	

Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга		
План.	Факт.	Песс.
3 н.	5 н.	7 н.

Продолжение таблицы П.2.6.

S_{act}= 0,73 бит	S_{pess}= 1,22 бит	A_{act}= 2,5	T^{for}= 59 н.
СУУ	17,750 тыс. долл.		

Через 10 недель после начала строительных работ был проведен следующий этап мониторинга. На рисунке П.2.12 показаны завершенные и оставшиеся работы.

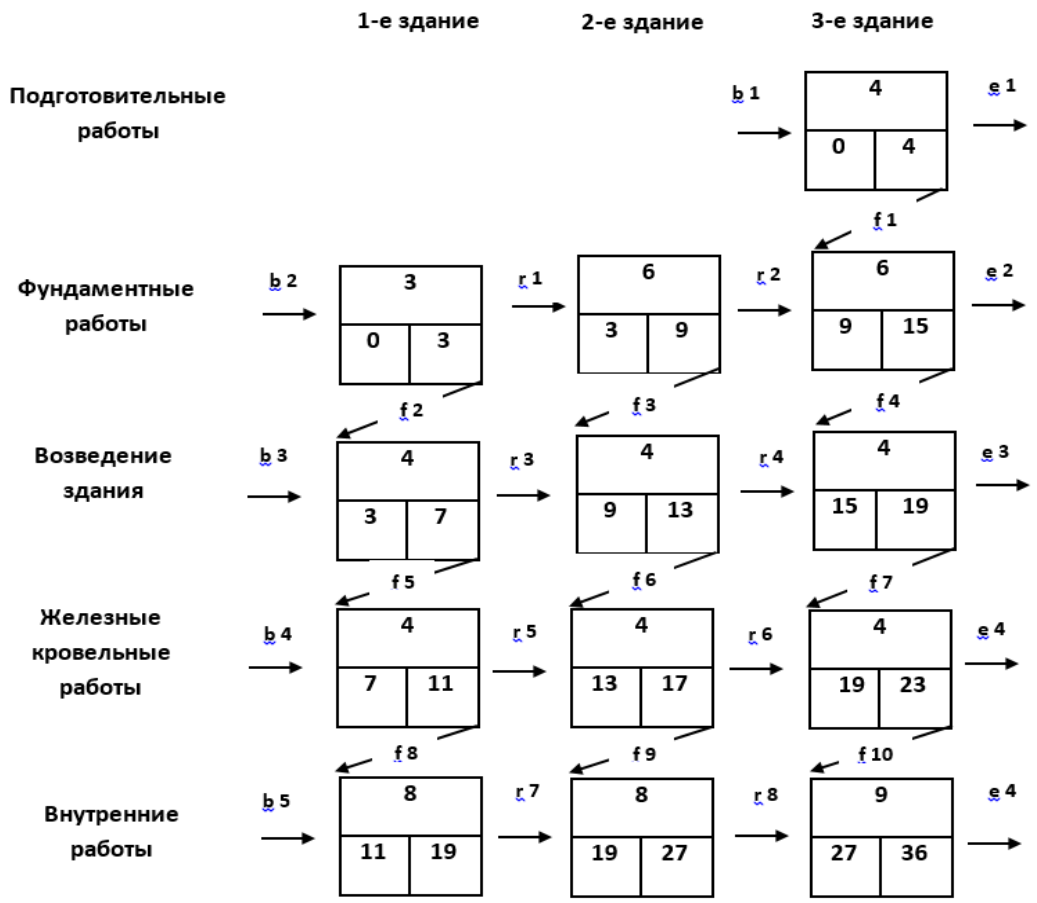

Рисунок П.2.12. Реальный график проекта на втором этапе мониторинга(10 недель после начала строительства)

Используя директивную продолжительность, равную 33 недель, составлена система уравнений (П.2.13):

$$1)\ b_1+4a_1+e_1= 29$$

$$2)\ b_2+15a_2+r_1 +r2+e_2= 18$$

$$3)\ b_3+12a_3+r_3+r_4+e_3=21$$

$$4)\ b_4+12a_4+r_5+r_6+ e_4= 21$$

$$5)\ b_5+25a_5 +r_7+r_8+e_5= 8$$

$$6)\ b_1+4a_1+6a_2+f_1+e_2= 23$$

$$7)\ b_2+3a_2+12a_3+f_2+r_3+r_4+e_3= 18$$

$$8)\ b_2+9a_2+8a_3+f_3+r_1+r_4+e_3= 16$$

$$9)\ b_2+15a_2+4a_3+f_4+r_1+r_2+e_3= 14$$

$$10)\ b_3+4a_3+12a_4+f_5+r_5+r6+e_4= 17$$

$$11)\ b_3+8a_3+8a_4+f_6+r_3+r_6+e_4= 17$$

$$12)\ b_3+12a_3+4a_4+f_7+r_3+r_4+e_4= 21$$

$$13)\ b_4+4a_4+25a_5+f_8+r_7+r8+e_5= 4$$

$$14)\ b_4+8a_4+17a_5+f_9+r_5+r8+e_5= 8$$

$$15) b_4+12a_4+9a_5+f_{10}+r_5+r6+e_5= 12 \qquad (П.2.13)$$

Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.14).

$$b_2+3a_2+4a_3+4a_4+25a_5+f_2++f_5+f_8+r_7+r_8+e_5= -3 \qquad (П.2.14)$$

В таблице П.2.7. представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 10 недель после начала строительства.

Таблица П.2.7. Мониторинг результатов после 10 недель начала работы

Сумма задержки (*d*)= 3 н.		
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
R 2	100 %	7,697 тыс. долл.
R 3	300 %	104,415 тыс. долл.
R 4	300 %	30,000 тыс. долл.
R 5	13%	8,362 тыс. долл.
P_{act}	7,812 тыс. долл.	

Продолжение таблицы П.2.7.

Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга			
План.		Факт.	Песс.
7 н.		10 н.	13 н.
S_{act}= 0,50 бит	S_{pess}= 0,88 бит	A_{act}= 2,32	T^{for}= 39.7 н.
СУУ	18,500 тыс. долл.		

Проект № 9 – Проект станции фильтрации, перекачки и транспортировки воды производительностью 200 м3/час. Проект состоит из здания площадью 500 квадратных метров, в котором находятся фильтрация, хранение и насосная станция воды, административного здания площадью 300 кв. м., водный танк и линии подачи воды из труб протяженностью 7000 метров. Директивная продолжительность строительства составлял 22 недели, а стоимость проекта составила 1,6 мил. долл. США. На рисунке П.2.13. показан расписание работ, соответствующий Проекту *№ 9*:

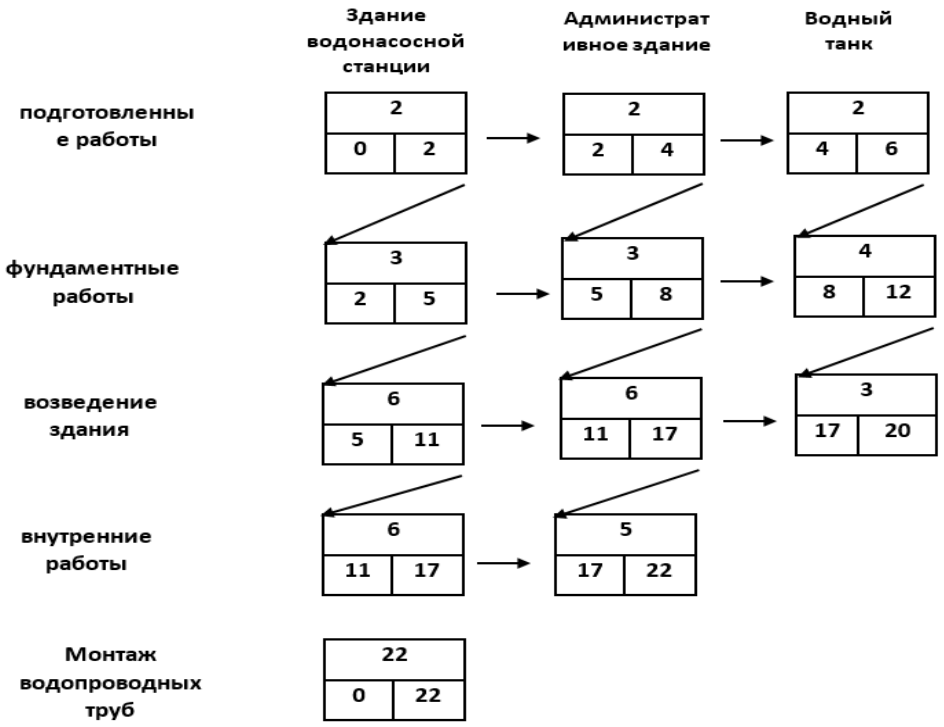

Рисунок П.2.13. Расписание поточного строительства проект *№ 9*

Первый этап мониторинга был проведен через 4 недели строительных работ. На рисунке П.2.14. показаны выполненные и оставшиеся работы по проекту на момент мониторинга.

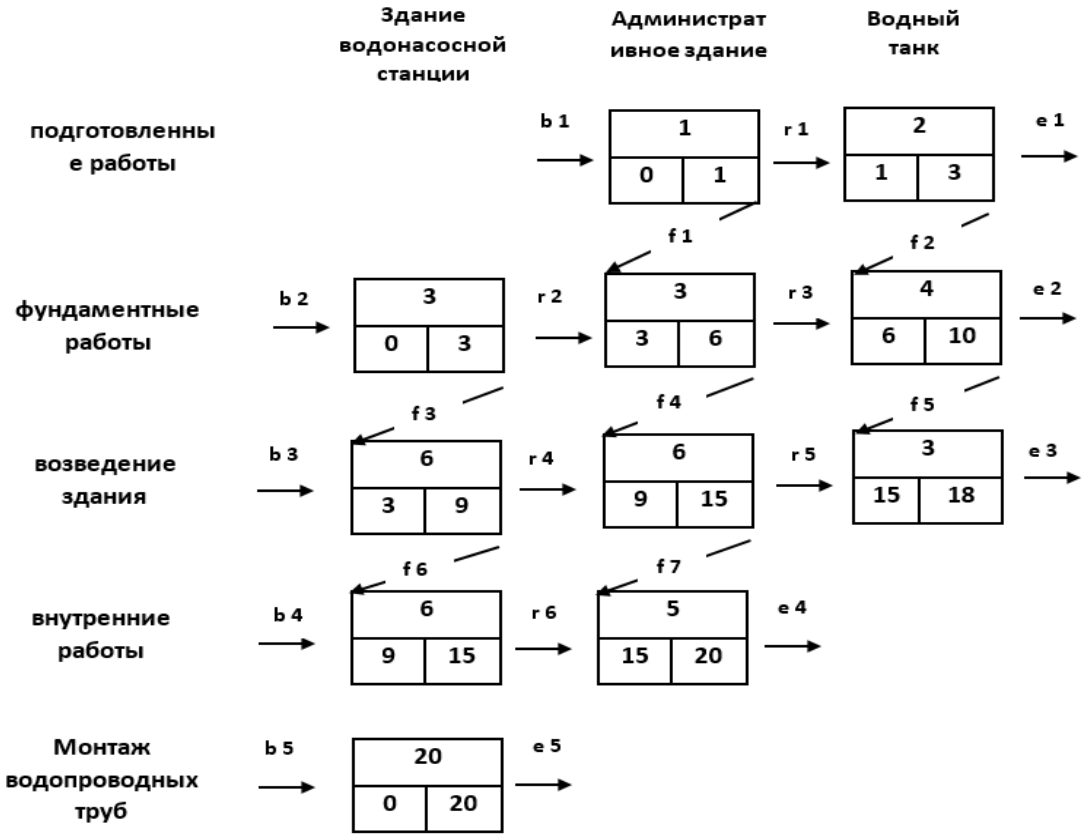

Рисунок П.2.14. График реализации проекта через 4 недели после начала строительства

Используя директивную продолжительность, равную 18 недель, составлена система уравнений (П.2.15):

$$1)\ b_1+3a_1+r_1+e_1= 15$$

$$2)\ b_2+10a_2+r_2 +r_3+e_2= 38$$

$$3)\ b_3+15a_3+r_4+r_5+e_3=3$$

$$4)\ b_4+11a_4+r_6+ e_4= 7$$

$$5)\ b_5+20a_5+ e_5= -2$$

$$6)\ b_1+a_1+7a_2+f_1+r_3+e_2= 10$$

$$7)\ b_1+3a_1+4a_2+f_2+r_1+e_2= 11$$

$$8)\ b_2+3a_2+15a_3+f_3+r_4+r_5+e_3= 0$$

$$9)\ b_2+6a_2+9a_3+f_4+r_2+r_5+e_3= 3$$

$$10)\ b_2+10a_2+3a_3+f_5+r_2+r_3+e_3= 5$$

$$11)\ b_3+6a_3+11a_4+f_6+r_6+e_4= 1$$

$$12) b_3+12a_3+5a_4+f_7+r_4+e_4= 1 \qquad (П.2.15)$$

Анализ решений показывает, что у нас есть несколько уравнений, которые содержат отрицательные значения, как показано в системе уравнений П.2.16.

$$b_2+3a_2+6a_3+11a_4+f_3+f_6+r_6+e_4= -2$$

$$b_5+20a_5+e_5= -2 \qquad (П.2.16)$$

В таблице П.2.8. представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 4 недель после начала строительства.

Таблица П.2.8. Мониторинг результатов после 4 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="5">Сумма задержки (d)= 2 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса</td><td colspan="2">% увеличения ресурса</td><td colspan="2">Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td colspan="2">300 %</td><td colspan="2">82,800 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td colspan="2">50 %</td><td colspan="2">31,200 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">22 %</td><td colspan="2">14,361 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 5</td><td colspan="2">11%</td><td colspan="2">8,800 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="4">36,358 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">2 н.</td><td colspan="2">4 н.</td><td>6 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 1 бит</td><td colspan="2">S_{pess}= 1,58 бит</td><td colspan="2">A_{act}= 2,77</td><td>T^{for}= 41,4 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="4">4,900 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Мониторинг был повторен через 8 недель после начала строительных работ, и в результате часть работ была завершена, как показано на рисунке П.2.15.

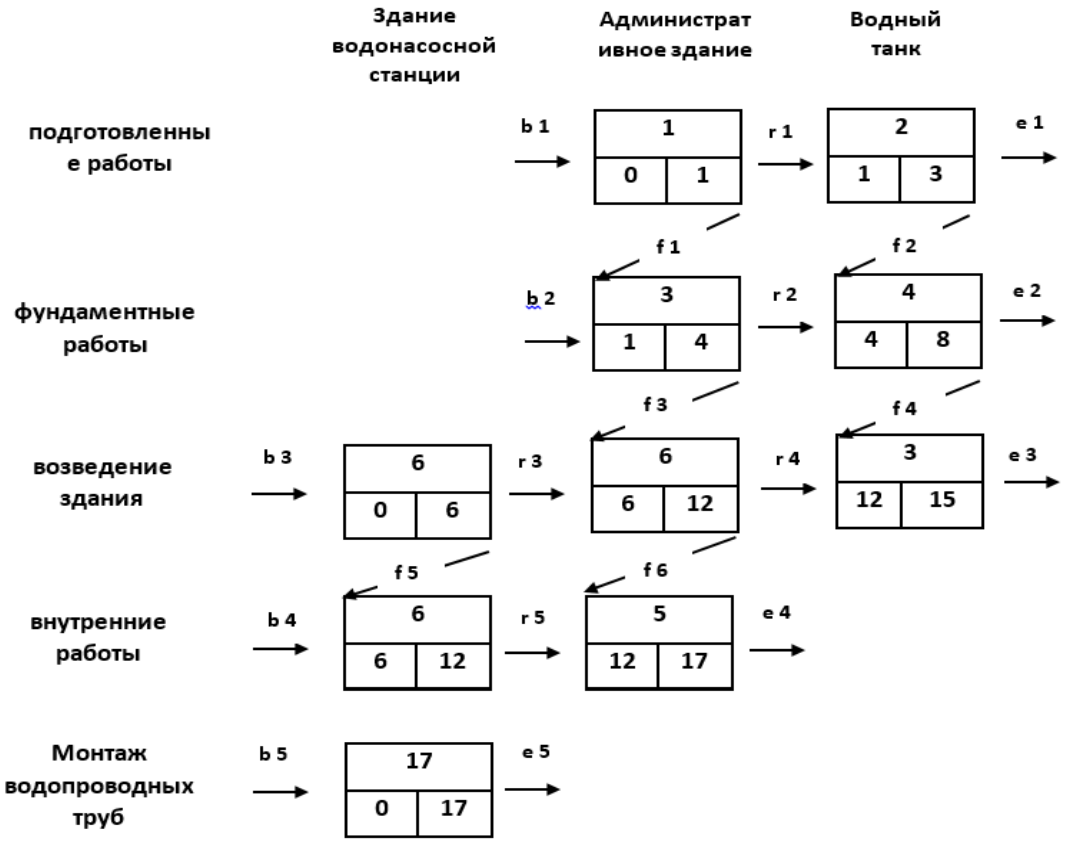

Рисунок П.2.15. Реальный график проекта на втором этапе мониторинга(8 недель после начала строительства)

Используя директивную продолжительность, равную 14 недель, составлена система уравнений (П.2.17):

$$1)\ b_1+3a_1+r_1+e_1=11$$

$$2)\ b_2+7a_2+r_2+e_2= 7$$

$$3)\ b_3+15a_3+r_3+r_4+e_3=-1$$

$$4)\ b_4+11a_4+r_5+ e_4= 3$$

$$5)\ b_5+17a_5+ e_5= -3$$

$$6)\ b_1+a_1+7a_2+f_1+r_2+e_2= 6$$

$$7)\ b_1+3a_1+4a_2+f_2+r_1+e_2= 7$$

$$8)\ b_2+3a_2+9a_3+f_3+r_4+e_3= 2$$

$$9)\ b_2+7a_2+3a_3+f_4+r_2+e_3= 4$$

$$10)\ b_3+6a_3+11a_4+f_5+r_5+e_4= -3$$

$$11) b_3+12a_3+5a_4+f_6+r_3+e_4= -3 \qquad (П.2.17)$$

Анализ решений показывает, что у нас есть несколько уравнений, которые содержат отрицательные значения, как показано в системе уравнений П.2.18.

$$b_3+6a_3+11a_4+f_5+r_5+e_4= -3$$

$$b_3+9a_3+6a_4 - r_3 - f_5+r_5 +e_3= -1$$

$$b_5+17a_5+e_5= -3 \qquad (П.2.18)$$

В решении получается, что у нас больше одного отрицательного значения, поэтому в методе предусмотрено два варианта уменьшения задержки, который равной трем неделям (-3):

Первый вариант — уменьшить все задержки (-3) в первом уравнении; Второй вариант — уменьшить задержку на две недели (-2) в первом уравнении и на неделю (-1) во втором уравнении. Для компенсации указанной задержки необходимо увеличить каждый ресурс в соответствии со ставками и затратами, указанными в таблице П.2.9. Следовательно, получается, что увеличение четвертого ресурса во втором варианте является оптимальным решением, ресурсы четвертого ресурса и пятого ресурса должны быть увеличены вместе.

В таблице П.2.9 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга через 8 недель после начала строительства.

Таблица П.2.9. Мониторинг результатов после 8 недель начала работы

Сумма задержки (*d*)= 3 н.		
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов
Первый вариант		
R 3(-3)	200 %	124,800 тыс. долл.
R 4(-3)	37 %	24,480 тыс. долл.

Продолжение таблицы П.2.9.

R 5(-3)	21%	16,800 тыс. долл.	
Второй вариант			
R 3(-2)	50 %	31,200 тыс. долл.	39,437 тыс. долл.
R 3(-1)	12 %	8,237 тыс. долл.	
R 4(-2)	22 %	14,361 тыс. долл.	22,041 тыс. долл.
R 4(-1)	20 %	7,680 тыс. долл.	
R 5(-3)	21 %	16,800 тыс. долл.	
P_{act}	54,537 тыс. долл.		
Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга			
План.	Факт.	Песс.	
5 н.	8 н.	10 н.	
S_{act}= 0,67 бит	S_{pess}= 1 бит	A_{act}= 3	T^{for}= 27,5 н.
СУУ	7,000 тыс. долл.		

Проект № 10 – Проект строительства медицинского института, состоящий из трех зданий, площадь проекта – 3400 квадратных метров, стоимость проекта – 6,3 милл. Долл. США, директивная продолжительность строительства составлял 103 недели. На рисунке П.2.16 показано соответствующее расписание работ.

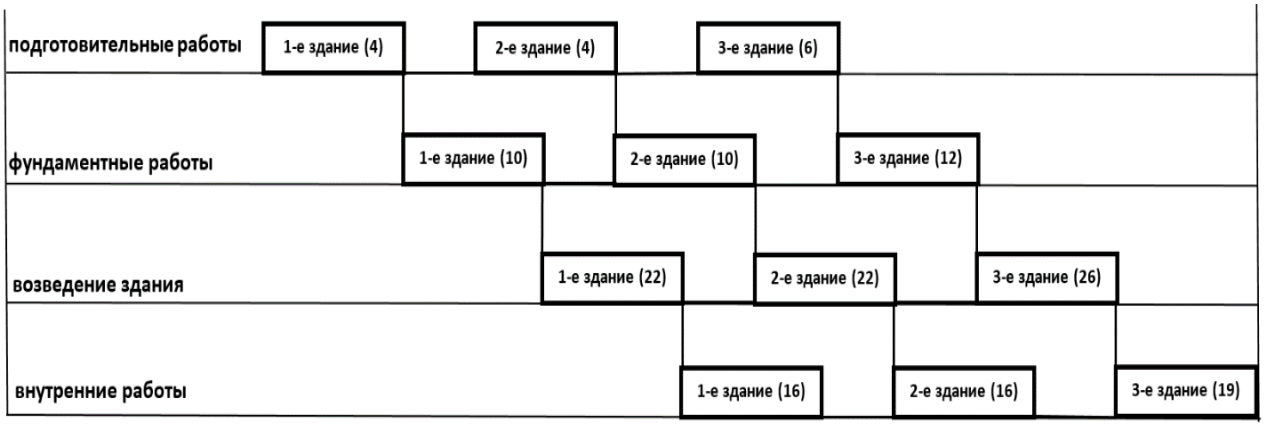

Рисунок П.2.16. Расписание поточного строительства Проект *№ 10*

Первый этап мониторинга был проведен через 6 недель после начала строительных работ. На рисунке П.2.17. показаны выполненные и оставшиеся работы на момент мониторинга.

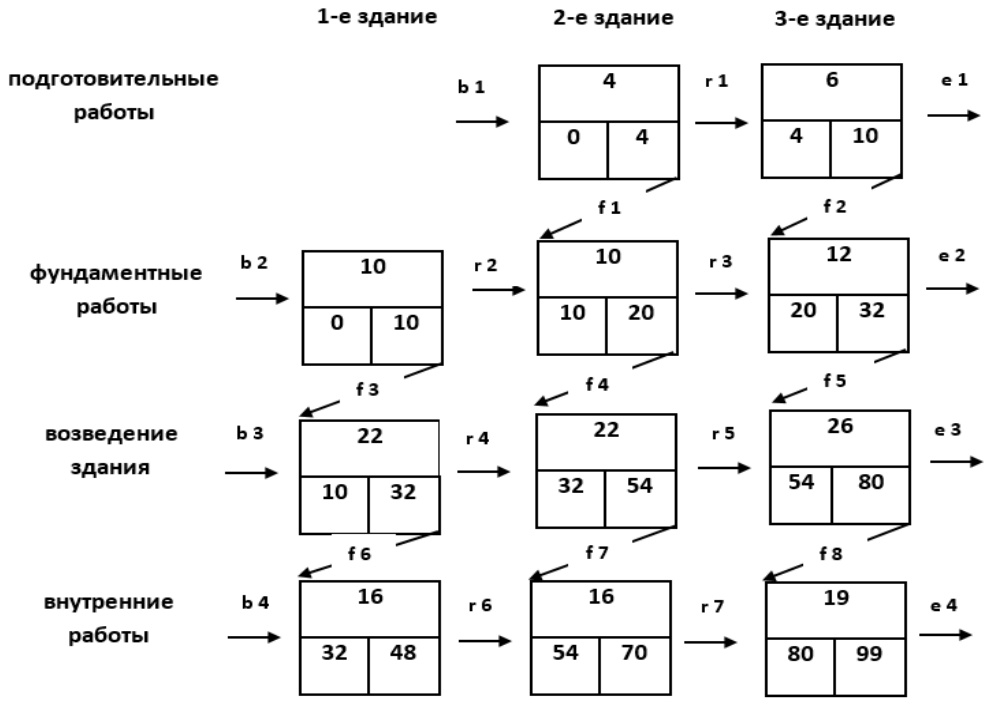

Рисунок П.2.17 – Реальный график проекта на втором этапе мониторинга (6 недель после начала строительства)

На рисунке П.2.17 показано, что расчетная продолжительность составляет 99 недель, а директивная продолжительность остальных работ согласно плановому графику проекта составляет 97 недели, поэтому получается, что у нас задержка 2 неделя.

После применения метода неопределенных ресурсных коэффициентов с использованием предложенного макроса в программе MS Project, результаты показали, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.19).

$$b_2 + 10a_2 + 70a_3 + 19a_4 + f_3 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = -2. \qquad (П.2.19)$$

Теперь, с целью нейтрализации указанной задержки (–2) в уравнении 4.6, можно соответствующим образом воздействовать на переменные, включенные в уравнение.

В таблице П.2.10 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга.

Таблица П.2.10. Мониторинг результатов после 6 недель начала работы

<table>
<tr><td colspan="4">Сумма задержки (d)= 2 н.</td></tr>
<tr><td>Вид ресурса</td><td colspan="2">% увеличения ресурса</td><td>Увеличение стоимости ресурсов</td></tr>
<tr><td>R 2</td><td colspan="2">25 %</td><td>31 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 3</td><td colspan="2">3 %</td><td>28 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>R 4</td><td colspan="2">12 %</td><td>28,8 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td>P_{act}</td><td colspan="3">30,576 тыс. долл.</td></tr>
<tr><td colspan="4">Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга</td></tr>
<tr><td colspan="2">План.</td><td colspan="2">Факт.</td><td>Песс.</td></tr>
<tr><td colspan="2">4 н.</td><td colspan="2">6 н.</td><td>10 н.</td></tr>
<tr><td>S_{act}= 0,58 бит</td><td colspan="2">S_{pess}= 1,32 бит</td><td>A_{act}= 1,78</td><td>T^{for}= 112 н.</td></tr>
<tr><td>СУУ</td><td colspan="3">17,000 тыс. долл.</td></tr>
</table>

Второй этап мониторинга был проведен через 10 недель после начала строительных работ. На рисунке П.2.18 показаны выполненные и оставшиеся работы на момент мониторинга.

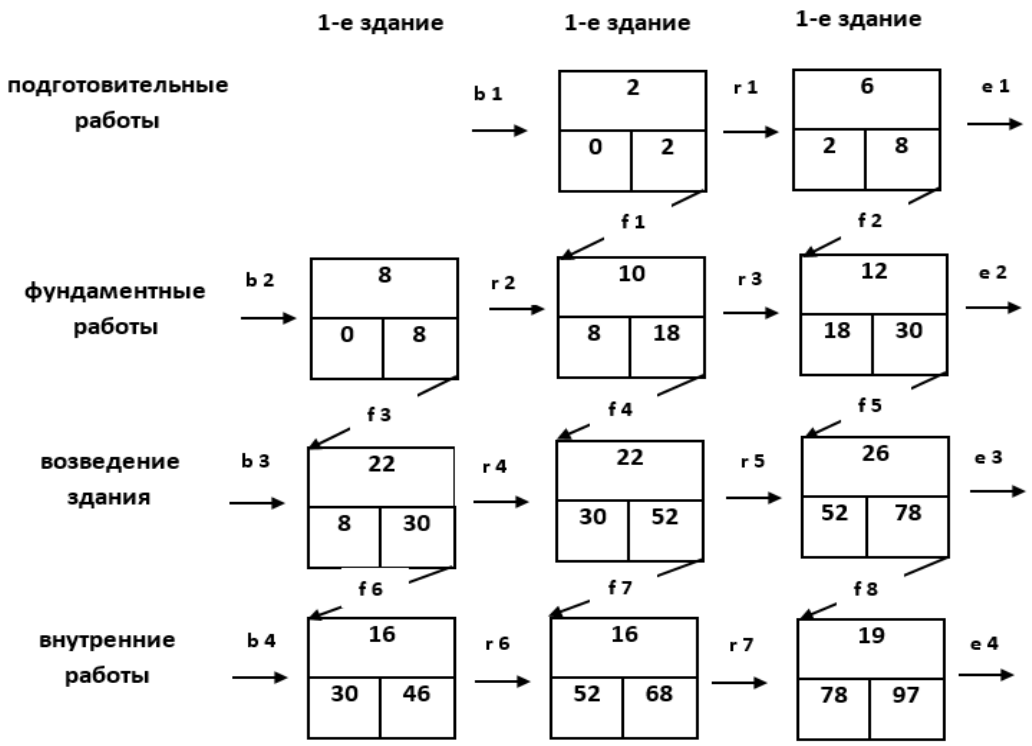

Рисунок П.2.18. Реальный график проекта на втором этапе мониторинга (10 недель после начала строительства)

На рисунке П.2.18 показано, что расчетная продолжительность составляет 97 недель, а директивная продолжительность остальных работ согласно плановому графику проекта составляет 93 недели, поэтому получается, что у нас задержка 4 неделя. Решение показало, что одна базовая переменная имеет отрицательное значение и входит в уравнение (П.2.20).

$$b_2 + 8a_2 + 70a_3 + 19a_4 + f_3 + f_8 + r_4 + r_5 + e_4 = -4 \qquad (П.2.20)$$

В таблице П.2.11 представлены результаты, полученные после применения алгоритма на момент мониторинга.

Таблица П.2.11. Мониторинг результатов после 10 недель начала работы

Сумма задержки (d)= 4 н.		
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов

Продолжение таблицы П.2.11.

R 2	100 %	126 тыс. долл.	
R 3	6 %	57,6 тыс. долл.	
R 4	26 %	62,4 тыс. долл.	
P_{act}	61,152 тыс. долл.		
Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга			
План.	Факт.	Песс.	
6 н.	10 н.	14 н.	
S_{act}= 0,73 бит	S_{pess}= 1,22 бит	A_{act}= 2,5	T^{for}= 141,4 н.
СУУ	35,900 тыс. долл.		

Третий этап мониторинга был проведен через 10 недель после начала строительных работ. В таблице П.2.12 показаны результаты работы алгоритма на момент мониторинга.

Таблица П.2.12. Мониторинг результатов после 20 недель начала работы

Сумма задержки (*d*)= 10 н.			
Вид ресурса	% увеличения ресурса	Увеличение стоимости ресурсов	
R 3	16 %	153 тыс. долл.	
P_{act}	152,880 тыс. долл.		
Планируемое, фактическое и пессимистическое расписание работ на момент мониторинга			
План.	Факт.	Песс.	
10 н.	20 н.	20 н.	
S_{act}= 1 бит	S_{pess}= 1 бит	Apess= 0,0	T^{for}= 194 н.
СУУ	0,0 тыс. долл.		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Акты о внедрении результатов диссертационной работы

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

диссертационных разработок Бохана Хайтама Абдулраззака

в деятельность «Департамент строительства и проектов Университета Ди Кар»

на тему: «Минимизация задержек строительных работ при комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования, на примере республики Ирак»

Инженерная команда, работающая в «Департаменте строительства и проектов Университета Ди Кар», рассмотрела результаты научных и практических исследований, полученных Боханом Х. А. под руководством доктора технических наук, проф. Болотины С. А. в рамках выполнения диссертационной работы, и отмечает актуальность, научную и практическую значимость проведенных исследований для нашей организации.

Научно-практическая методика минимизации задержек в строительстве, основанная на увеличении трудовых ресурсов в графике строительства с помощью компьютерных инструментов (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяет в автоматизированном режиме формировать комплекс мероприятий, компенсирующих задержки в строительстве. Также разработана методика определения показателя увеличения управленческих расходов для нейтрализации будущих задержек на основе расчета показателя энтропии выполненных работ.

Преимущества применения предложенного алгоритма в отслеживании хода строительства:

1. Снижение трудоемкости коррекции графиков выполнения работ для компенсации задержек в строительстве благодаря автоматизации на базе Microsoft Project.

2. Возможность принятия решения о компенсации задержки строительства в момент проведения мониторинга.

3. Предоставление подрядчику нескольких вариантов компенсации задержек в строительстве, что дает свободу выбора наиболее подходящего и экономически выгодного решения.

4. Нейтрализация будущих задержек с помощью простых решений и минимальных затрат.

Результаты научно-практических исследований были использованы для отслеживания хода строительства зданий «Проектов Университета Ди Кар» в городе Насирия, Южный Ирак. Благодаря внедрению результатов данной диссертации были получены математически обоснованные выводы. Некоторые задержки в строительстве были компенсированы, и были разработаны планы, направленные на предотвращение задержек в будущем путем улучшения качества управления.

Директор Департамента строительства и проектов _____ / Аммар М. Ода

«Проекты Университета Ди Кар» 17.08.2023

Электронная почта: ammar.alwaely@gmail.com

номер телефона: +9647803401282

رئاسة جامعة ذي قار
جامعة ذي قار
Thi - Qar University
قسم الإعمار والإنشاء

ANWAR AL-REYADH.CO.
For General Limited Contracts

شركة
أنوار الرياض
للمقاولات العامة المحدوده

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

диссертационных разработок Бохана Хайтама Абдулраззака
в деятельность «Анвар Аль-Рияд Дженерал Контракт Лимитед»

на тему: «Минимизация задержек строительных работ при комплексной оптимизации планирования, мониторинга и оперативного регулирования, на примере республики Ирак»

Учредительный совет «Анвар Аль-Рияд Дженерал Контракт Лимитед», рассмотрев результаты научных и практических исследований, проведенных Боханом Х. А. под руководством доктора технических наук, проф. Болотина С. А. в рамках выполнения диссертационной работы, отмечает актуальность, научную и практическую значимость проведенных исследований для нашей организации.

Научно-практическая методика минимизации задержек в строительстве, основанная на увеличении трудовых ресурсов в графике строительства с помощью компьютерных инструментов (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяет в автоматизированном режиме формировать комплекс мероприятий, компенсирующих задержки в строительстве. Также разработана методика определения показателя увеличения управленческих расходов для нейтрализации будущих задержек на основе расчета показателя энтропии выполненных работ.

Результаты научно-практических исследований были использованы для мониторинга хода строительства зданий в городе Насирия, Ирак. Благодаря реализации результатов данной диссертации были получены математически обоснованные выводы. Некоторые задержки в строительстве были компенсированы, и были разработаны планы, направленные на предотвращение задержек в будущем путем улучшения качества управления.

Директор компании /Хайри Фейсал Сахиб
«Анвар Аль-Рияд Дженерал Контракт Лимитед» 20.08.2023

ناصرية – شارع الحبو بي –مقابل صيدلية الحبوبي
موبايل ٠٧٨٠١٢٦٢١٤٤ – ٠٧٨٠١١٣٢١٨٤
E-mail: anwar.alryadh@yahoo.com