

Санкт–Петербургский государственный университет

*Соколова Инга Сергеевна*

Выпускная квалификационная работа

*Математическое моделирование  
функционирования компании при ситуации  
экономического локдауна*

Уровень образования: бакалавриат

Направление 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Основная образовательная программа СВ.5005.2015 «Прикладная математика, фундаментальная информатика и программирование»

Профиль «Математическое моделирование энергетических систем»

Научный руководитель:

доцент, кафедра математического моделирования энергетических систем,  
к.ф.-м.н. Сvirкин Михаил Владимирович

Рецензент:

доцент, кафедра управления медико-биологическими системами, к.ф.-м.н.  
Корников Владимир Васильевич

Санкт-Петербург

2021 г.

# Содержание

Введение . . . . .	3
Обзор литературы . . . . .	4
Постановка задачи . . . . .	4
<b>Глава 1. Анализ основных методов планирования и управления в строительных компаниях . . . . .</b>	<b>6</b>
1.1. Особенности автоматизации процессов управления строительной организацией . . . . .	6
1.2. Основные требования к системе автоматизирования процессов управления строительной организацией . . . . .	10
1.3. Методы, используемые в системах автоматизирования процессов управления строительной организацией . . . . .	11
1.4. Исследование методов устранения кризисных ситуаций, спровоцированных локдауном при планировании и управлении . . . . .	12
1.5. Основные программные комплексы решающие задачу планирования и управления . . . . .	13
1.6. Математическое моделирование планирования и управления . . . . .	15
<b>Глава 2. Разработка оптимального плана и управления при ситуации локдауна строительной компанией . . . . .</b>	<b>17</b>
2.1. Описание системы планирования и управления строительной компании с применением математических и программных методов . . . . .	17
2.2. Математическое моделирование расчета материально-технических ресурсов . . . . .	19
2.3. Математическое моделирование и программный комплекс для формирования графика работ бригад . . . . .	21
2.4. Реализация алгоритмов решения задачи составления расписания и расчета материально-технических ресурсов . . . . .	23
<b>Глава 3. Анализ экономической эффективности при внедрении системы планирования и управления . . . . .</b>	<b>26</b>
3.1. Данные строительной компании . . . . .	26

3.2. Метод факторного анализа рентабельности . . . . .	28
3.3. Анализ экономической эффективности . . . . .	30
<b>Заключение</b> . . . . .	<b>31</b>
<b>Приложение</b> . . . . .	<b>37</b>

## **Введение**

Строительная отрасль занимает одну из ключевых позиций в экономическом росте Российской Федерации. Согласно данным Росстата за 2019 год (1), объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство» составил 9132,1 млрд рублей (в фактически действовавших ценах) или 120,5 в процентах к 2017 году (в постоянных ценах). Среднегодовая численность занятых в строительстве – 6416,3 тыс. человек или 9% от общей численности занятых. При организации работы строительной компании информационные технологии играют значительную роль, способствуя повышению производительности труда и оптимизации управления ресурсами. Разработано большое число программных систем, используемых на различных стадиях строительного процесса, в организациях, представляющие разные звенья договорных отношений, различного профиля.

Сметное обеспечение повышает производительность труда инженера-сметчика, позволяет обмениваться информацией, проводить экспертизу сметной документации, отражать строительно-монтажных работ, формировать отчетные документы с минимальными затратами времени, контролировать исполнение строительных смет. Программное обеспечение для календарного программного многократно результаты выполнения планирования широко используется при управлении строительными проектами и позволяет внести значительные изменения в организацию процесса строительства. Специализированное программное обеспечение позволяет осуществлять учет, анализ, отчетность в условиях строительной отрасли. Специалисты-проектировщики широко применяют системы, как общего назначения, так и узкоспециализированные для проектирования строительных объектов. Эти и другие компоненты, объединенные между собой, составляют основу программной системы строительной организации.

Сложность задачи создания информационных систем в строительстве определяется многообразием компонентов строительных программных систем (сегодня на рынке представлено множество вариантов программного обеспечения для тех или иных задач, например, для сметных расчетов или управления строительными проектами), необходимостью их интеграции, требованием учета специфических особенностей строительной отрасли.

## Обзор литературы

Задачам планирования и управления, а также вопросам автоматизации процессов в строительстве посвящены научные работы ряда исследователей: Е.Ю Горбачевская (2), И.Л. Абрамова (3), Т.В. Ростовцевой (4), В.А. Данилюка (5), П.А. Меркова (6), Л.С. Александровой (7). Проблемам моделирования информационных систем и их анализа посвящены труды Г. Буча (8), В.В. Дика (9), В.К. Семёнычева (10), М.О. Калинина (11), А.С. Радионова (12), А.А. Захарова (13). В то же время, пока не разработано единого комплекса моделей и методов для автоматизации управления строительной организацией в условиях экономического локдауна, учитывающего специфику строительной отрасли. Проблема приложения математических моделей и компьютерных методов, снижающих негативные воздействия, к системам планирования и управления систем строительных организаций нуждается в дальнейшей разработке. Эти обстоятельства обусловили выбор темы работы, предопределили ее цель, задачи и структуру.

## Постановка задачи

**Цель работы** Цель работы - решение задачи математического моделирования планирования и управления строительным производством в условиях экономического локдауна на примере компании ООО "Энерго-Строй разработка комплексной программы планирования строительных работ, которая предусматривает сбалансированность объемов подрядных работ с мощностями строительной организации, разработка графиков строительства и оптимизация назначения бригад, достаточная обеспеченность

материально-техническими и трудовыми ресурсами, рациональную расстановку бригад и материально-технических ресурсов (МТР) при наличии условий выбытия бригад или запаздывания МТР.

В соответствии с целью, поставлены задачи:

- исследовать и проанализировать особенности существующей системы планирования, снабжения и управления подрядными работами строительной организации
- Исследовать уже существующие системы планирования, обеспечения управления подрядными работами в строительных организациях
- разработать математическую модель и с помощью существующих методов для оптимизации решений задач планирования и назначения решить ее.

**Объект исследования** Исследование системы планирования и управления строительством проводилось на примере ООО "ЭнергоСтрой". Предметом исследования выступает автоматизация проектно-сметных, управленческих и учетных процессов строительной организации.

**Научная новизна** Научная новизна работы заключается в разработке математической модели обеспечения автоматизации процессов формирования графика движения бригад и управления материально-техническими ресурсами.

**Практическая ценность** Практическая значимость работы состоит в том, что ее основные положения, выводы, рекомендации, методики и алгоритмы могут быть использованы строительными предприятиями для автоматизации внутренних управленческих процессов.

# **Глава 1. Анализ основных методов планирования и управления в строительных компаниях**

В этом параграфе рассматривается взгляд на строительное предприятие как на экономическую систему и разбираются основные методы оптимального управления производственной деятельностью строительного предприятия.

Для поддержки принятия решений руководителями всех уровней информация, формируемая всеми перечисленными подсистемами на всех этапах строительного процесса, должна быть подвергнута различным видам анализа. С помощью соответствующих компонентов ИС строительной организации оценивается с технической и экономической точек зрения проект выполнения работ, проводится экспертиза сметы, проводится анализ календарного плана, дается оценка хода выполнения работ, производится сравнение фактических и плановых затрат, оцениваются финансовые результаты строительства. На основе анализа могут производиться изменения, затрагивающие все подсистемы информационной системы строительной организации.

## **1.1 Особенности автоматизации процессов управления строительной организацией**

Анализ научных и технических публикаций (14), (15), (16), (17) и практики использования информационных систем деятельности строительных организации позволяет выделить следующие особенности автоматизации строительных организаций:

1. ориентация на проект. В силу специфики строительства проект оказывается ключевым элементом системы. Методы, технологии программные средства управления проектами играют значительную роль в информационной системе строительной организации. При этом разные подсистемы рассматривают проект с разных точек зрения и с разной степенью детализации.
2. высокий уровень риска для организации. Во многих случаях строи-

тельная организация берет на себя ответственность за ту или иную сторону строительства крупного объекта. Для многих таких организаций успешное выполнение работ по одному проекту определяют успешность функционирования компании в целом.

3. взаимное переплетение технической и экономической информации. Эта особенность характерна для строительного комплекса, например, смета является неотъемлемой частью проектно-сметной строительной документации и сама зависит от параметров проекта.
4. ориентация на холдинги. Во многих случаях строительные организации существуют в рамках крупных строительных холдингов. Такой холдинг несколько организаций, осуществляющих может включать проведение строительного-монтажных работ, а также несколько организаций выполняющих узкоспециализированные задачи, например, перевозка строительных грузов, материально-техническое снабжение, проектирование. Таким образом, информационные системы различных организаций должны интенсивно взаимодействовать между собой. Ведение хозяйственной деятельности в рамках холдинга имеет особенности и с точки зрения учета, что должно быть реализовано информационной системой.
5. интеграция разнородных систем. Информационные системы строительных организаций включают множество различных систем: САПР, системы управления проектами, системы сметных расчетов, системы финансового анализа, учетные системы. Все эти компоненты должны интенсивно взаимодействовать между собой.
6. высокий уровень ответственности. Результаты функционирования строительных информационных систем воплощаются в конечном итоге в виде выполняемых работ и возводимых зданий. Соответственно, гораздо выше по сравнению с другими отраслями и требования к безопасности: к безопасности для жизни и здоровья людей, безопасности для материальных объектов, безопасности с точки зрения охраны окружающей среды. Информационная система способствовать со-

блюдению должна государственных строительных норм и правил. Все это накладывает дополнительные требования на создаваемую и внедряемую систему.

7. значительный объем государственного регулирования. Во-первых, в строительной области предприятий требуется от исполнения многочисленных норм и правил, государственных нормативов и расценок, которые информационная система должна, таким образом, поддерживать. Во-вторых, утверждение государственными органами значительной доли проектных решений. В-третьих, представители государственных органов имеют право и обязанность контролировать соблюдение норм и правил непосредственно во время выполнения строительства и по его окончании. Это также предъявляет дополнительные требования к информационной системе, которая должна поддерживать государственные утвержденные формы документов, выдавать необходимые отчеты и оперативную информацию.
8. особый характер взаимоотношений между участниками строительного процесса. Специфика строительного комплекса заключается и том, что участники строительного процесса (инвестор, заказчик, проектировщик, генеральный подрядчик, субподрядчики) интенсивно взаимодействуют между собой на всем протяжении строительства. При этом возникает значительный объем информационного обмена. Информационные системы систем различных субъектов строительного процесса, таким образом, должны быть связаны между собой и поддерживать возможность обмена электронными документами.

Перечисленные особенности дают представление о специфике информационных строительных организаций, объясняют существующее большое число программных систем для строительства, и говорят об актуальности исследования потребительского качества информационных систем в строительной отрасли.

Сегодня развитие информационных систем строительных организаций характеризуется следующими основными тенденциями:

1. широкое использование сетевых технологий для обмена данными между подсистемами, а также информационными системами различных организаций.
2. приближение информационных систем непосредственно к местам исполнения работ. С использованием мобильных и интернет-технологий специалист может, находясь на объекте строительства, найти необходимое решение с помощью информационной системы, а прораб может дать отчет о ходе выполнения работ.
3. интеграция информационных систем организаций на основе отраслевых стандартов. Например, строительные сметы передаются с помощью формата АРПС для анализа, экспертизы и выполнения.
4. совершенствование методов управления. Прежде всего, организации перестраиваются на проектное управление, которое наиболее полно соответствует специфике строительного производства. Такие изменения в системе управления становятся возможными благодаря использованию информационных систем.
5. смещение от учетных задач к поддержке принятия решений. Возможности большинства используемых сегодня информационных систем относятся к учету выполняемых работ и составлению отчетности для государственных органов, а также к исполнению бухгалтерских задач, таких как определение стоимости строительства и начисление заработной платы. В то же время, в строительстве намечается тенденция использования информационных систем в первую очередь для поддержки принятия решений руководителями компании и техническими специалистами,

По результатам проведенного рассмотрения информационных систем строительных организаций можно сделать выводы о том, что задачи выбора и/или проектирования и разработки компонентов информационной системы строительной организации, во-первых, обладают значительной актуальностью, во-вторых, характеризуются сложностью.

Эти задачи и не могут быть эффективно решены без рассмотрения всего многообразия компонентов информационных систем строительных организаций, без исследования вопросов оценки их потребительского качества, без привлечения экономико-математических методов инструментальных средств для поддержки принятия решений при выборе, проектировании, разработке и внедрении информационных систем строительных организаций.

## **1.2 Основные требования к системе автоматизирования процессов управления строительной организацией**

Главной задачей оптимизации планирования строительного производства является планирование использования человеко-технических ресурсов и расчет на их основе экономических расчетов.

При использовании математических методов с использованием программных комплексов мы можем достичь наиболее оптимальных результатов, представив работу организации в виде системы уравнений и неравенств.

При разработке системы необходимо учитывать такие требования как:

1. использование всех ресурсов (трудовых, технических, финансовых)
2. рассмотрение всех функций управления (проектирование, планирование, материально-техническое обеспечение, etc)
3. использование последних достижений науки
4. простота в использовании, понятность и практическая выполнимость

В настоящее время опубликовано значительное количество работ, посвященных разработке и внедрению различных автоматизированных систем для планирования и управления строительством с использованием математического моделирования и различных программных комплексов.

В трудах [(18), (19), (20), (21)] и во многих других рассмотрены вопросы планирования строительного производства с применением различных видов математических и экономических моделей, с использованием программных комплексов.

Проведено множество конференций, посвященных этому направлению, изданы методические указания и итоговые результаты [(22), (23), (24)]

### 1.3 Методы, используемые в системах автоматизирования процессов управления строительной организацией

Таким образом используются следующие модели автоматизации и оптимизации систем управления строительной организацией:

- **экономико-математические модели**, представляющие собой композиции математических объектов, соответствующие целым классам экономических и производственных ситуаций, и строгих математических алгоритмов, специально разработанных для данных математических объектов; этот класс моделей позволяет оптимизировать параметры моделируемых ситуаций;
- **графо-аналитические модели**, представляющие собой графические зависимости различных характеристик производственных ситуаций (объемов работ, протяженность захватов и т.п.) от времени и позволяющие производить расчет и взаимное согласование различных параметров производственных ситуаций;
- **сетевые модели**, позволяющие отображать и оптимизировать производственные процессы, состоящие из большого количества элементарных операций, многие из которых обуславливают возможность выполнения друг друга;
- **имитационные модели**, позволяющие анализировать (обычно методом Монте-Карло) влияние на производственную ситуацию случайных изменений ее характеристик.

## 1.4 Исследование методов устранения кризисных ситуаций, спровоцированных локдауном при планировании и управлении

Исходя из определения локдауна (режим ограничения в свободе передвижения граждан, работе различных учреждений, который вводится государством во время стихийных бедствий, эпидемий, массовых беспорядков и т. п.), различных прогнозов о развитии локдауна и новостей о влиянии локдауна на различные экономические сферы, можно сделать следующие выводы:

1. Локдауны могут иметь несколько форм, они могут быть естественными (цунами, наводнения, землетрясения и т. Д.) Или спровоцированными (война, ядерная катастрофа, террористические атаки и т. Д.).
2. Развитие может быть быстрым или медленным в зависимости от типа локдауна и степени его распространенности.
3. Быстрая реакция является обязательной, чтобы справиться с последствиями и как можно быстрее вернуться в докризисное состояние; Для эффективного антикризисного управления следует принять хорошую методологию.

Исходя из вышесказанного можно заключить, что антикризисное управление должно включать в себя:

- Предотвращение локдауна: некоторые кризисы можно предсказать, например, засуха; голод ... Цель этого шага - предотвратить реальный кризис.
- Оперативное реагирование: это скорость рефлекса (подвижность, развертывание необходимых ресурсов ...). Эти рефлексы должны быть спланированы заранее.
- Автоматизированное управление задачами: это касается всех различных синхронизированных и четко упорядоченных операций, которые

запускаются во время кризиса с целью восстановления ситуации путем минимизации его последствий.

На практике строительные компании могут использовать разные подходы для предотвращения кризисов. Их можно резюмировать следующим образом:

1. опережающий подход;
2. реактивный подход

Основной задачей, стоящей перед опережающим управлением, является сбор и анализ динамики показателей эффективности предприятия, выявление потенциальных неблагоприятных явлений, способных привести к возникновению кризисных ситуаций и, соответственно, прекращение возникновения кризисных ситуаций. Таким образом, основными частями опережающего управления являются прогнозирование возможных кризисов, их распознавание на ранней стадии с учетом оценки потенциальных рисков.

Главным инструментом, на котором основано опережающее антикризисное управление, является использование средств и методов раннего обнаружения и предупреждения надвигающихся отклонений внутренней и внешней среды. Системой раннего обнаружения называется информационная часть системы опережающего антикризисного управления, с помощью которой высшее руководство предприятия получает данные о потенциальных опасностях, грозящих из внешней и внутренней среды, с целью принятия своевременных мер.

## **1.5 Основные программные комплексы решающие задачу планирования и управления**

На сегодняшний день используется ряд способов решения задач оптимизации в строительстве. К ним можно отнести следующие методы: эвристические, метаэвристические и математические.

При использовании математических методов, условия задачи обязаны быть точно сформулированы (целевая функция и ограничения). На

практике решения таких задач являются трудоемкими, по причине отсутствия достаточного математического знания у планировщика, а также отсутствие готовых программных комплексов по расчету. В данном методе главным фактором оптимального планирования являются ограничения. Традиционные математические методы избавляют от ограничений и целевой функции по отдельности. Соответственно для решения следует выполнить процесс поиска и алгоритмы, обеспечивающие отсутствие ограничений.

Для решения задач эвристические методы основываются на предшествующем опыте. Это упрощенный алгоритм, в сравнении с аналитическими, поскольку вычисление возможно выполнить вручную, который не является оптимальным. С течением времени произошло видоизменение эвристического метода решения ресурсов планирования с помощью квалифицированных ресурсов. Исследования показали, что данный способ позволяет использовать информацию о ресурсе, который можно заменить. Благодаря чему, менее применяемые ресурсы могут быть объединены для замещения ограниченных ресурсов во время дефицита, в качестве уменьшения расходов и времени проекта. Недостатки данного способа заключаются в том, что другие альтернативы замены не учитываются, а сами методы не вычисляются на компьютере, не содержат в себе весь спектр возможных решений, не обеспечивают оптимальность, зависят от конкретных проблем, что затрудняет их применение.

Метаэвристические методы применяются для решения вопросов комбинаторной оптимизации и направлены на минимизацию сроков выполнения и стоимости риска планирования строительства. Используя качественные показатели, метаэвристические методы классифицируют и группируют риски. В результате применения данных методов получают объективные функции (продолжительность, общая стоимость и качество выполнения работ).

Метаэвристические алгоритмы не обладают строгим обоснованием, тем не менее, способны отыскать применимые решения задач в основной массе случаев. Они основываются на стратегии более высокого уровня, не гарантируют лучшее решение, но достоинством подобного метода является

низкая вычислительная сложность даже для задач повышенной трудности, не применяя существенных ограничений и не используя необходимых условий максимума или минимума.

Существующие численные методы поиска оптимального управления включают в себя достаточно большое количество методов, которые используют принцип максимума Понтрягина и уравнение Беллмана, а также прямые методы, например, градиентные методы (методы первого порядка), методы второго порядка, основывающиеся на тейлоровской аппроксимации функции Кротова — Беллмана, разнообразные методы улучшения.

## **1.6 Математическое моделирование планирования и управления**

Основные задачи, возникающие при планировании и управлении компанией – задача составления расписания рабочих и задача управления запасами предприятия.

Задачи построения расписания обычно появляются в случае, если существует цикл работ, доступных для выполнения, и требуется подобрать наиболее рациональное распределение ресурсов и работ. Задачи данного вида допускаются разбить на три основных категории.

- Первая категория состоит в этом, чтобы отыскать необходимое распределение ресурсов для каждой операции, при достижении максимальной эффективности организации (минимальные итоговые расходы или максимальная общая прибыль).
- Вторая категория появляется в том случае, если доступных ресурсов недостаточно для решения всех запланированных задач. Для этого требуется произвести выбор операции так, чтобы они обязательно были выполнены, а кроме того предусмотреть метод их выполнения.
- Задачи третьей категории появляются в случае, если существует вероятность управлять числом ресурсов (что необходимо прибавить, а какие уместно не использовать).

Большая часть подобных вопросов решается в целях оптимизации строительных и технологических процессов посредством математического моделирования и построением сетевых графиков.

Решение задач теории расписаний в планировании и управлении строительным производством служат для упорядочения времени использования определенных фиксированной систем ресурсов (монтажные установки, краны, транспорт и др.) с целью исполнения предварительно установленного плана работ в оптимальный период времени. Проблемы, относящиеся к построению календарных графиков, с разработкой математических методов получения заключений, на основе применения определенных моделей, исследуется в теории расписаний.

Задачи теории расписаний появляются везде, где есть потребность выбора порядка выполнения работ. Исследуемые в теории расписаний модели отображают особые условия, появляющиеся при организации каждого производства, в момент календарного планирования строительства, в абсолютно всех вариантах целенаправленной человеческой деятельности.

Наиболее распространенная ситуация, с которой сталкиваются производители и продавцы, заключается в том, что уровни запасов со временем истощаются, а затем пополняются новыми партиями товаров.

Задача управления запасами состоит в нахождении оптимального уровня запасов, которые организация должна сохранять, чтобы получить максимальную прибыль. Целью управления запасами является минимизация затрат, связанных с хранением запасов, и максимизация прибыли в результате продажи. В соответствии с этим ставятся вопросы: когда следует размещать заказ и насколько большим он должен быть. В большинстве случаев обычно используются традиционные модели управления запасами, такие как  $(q, r)$  и  $(s, T)$ . Обе модели опираются на оценки издержек от различных видов взаимодействия с товаром и концентрируются на их минимизации. Базовая модель управления запасами  $(q, r)$  была разработана независимо Ф. Харрисом (25) и Р. Уилсоном (26), ими же была выведена формула для расчета показателей EOQ (Economic Order Quality), поэтому она известна как модель Харриса – Уилсона.

## **Глава 2. Разработка оптимального плана и управления при ситуации локдауна строительной компанией**

Чтобы максимально безболезненно преодолеть локаун, компании следует создать группу быстрого реагирования с четкими полномочиями для принятия решений и установления контроля над ситуацией. Необходимо также обеспечить мониторинг операционных и ключевых финансовых показателей эффективности в режиме реального времени. Кроме того, крайне важно установить приоритеты деятельности в каждом рабочем потоке и динамически обновлять сценарии и руководствуясь этим, принимать решения.

### **2.1 Описание системы планирования и управления строительной компании с применением математических и программных методов**

Основным объектом моделирования является процесс строительства, центральная фигура которого - строительная бригада.

Система управления строительными работами позволяет решать следующие задачи:

- Расчет графиков строительства объектов
- Расчет материально-технических ресурсов для оснащения бригад
- Расчет трудовых ресурсов по графикам строительства
- Контроль выполнения СМР и оснащения бригад МТР

Основная задача системы - оптимальное распределение бригад по объектам, построение расписания строительства объектов, для минимизации общего времени строительства, корректировка плана строительства при изменениях, вызванных ситуацией локдауна.

Основными источниками информации для построения решения являются характеристики строительных объектов, бригад и МТР.

К характеристике объектов относятся: объекты и этапы их строительства, объем СМР на каждом этапе объекта, начало работ на объекте, директивный срок окончания работ, мощность объекта.

К характеристике бригад относятся: множества бригад разной специальности, выработка бригад, коэффициенты сменности, время освобождения бригады с объектов, таблицу соответствия специальностей бригад этапам работ.

Все данные взяты из исходных данных. Набор объектов взят из титульных списков и утвержденной структуры строящихся объектов. Объемы различных видов работ рассчитаны на основании смет. Взаимосвязь работ показывает уровень их совмещения на каждом объекте.

Для каждой бригады, в соответствии с ее специализацией, определяется ее работа на объектах. Эти работы определяются по таблице соответствия специальности бригады этапам работ, затем производится расчет продолжительности работы на объекте. Эти результаты вычислений объединяются в матрицы продолжительностей работ по специализации бригад, которые используются для закрепления бригад за объектами. Закрепление осуществляется по критерию минимизирующему суммарную продолжительность выполнения всех работ на объектах по каждому виду работ.

В основу алгоритма закрепления положено условие неделимости бригады; предусмотрена возможность работы в одном специализированном потоке нескольких бригад одной специальности. На этапе закрепления бригад за объектами предварительно осуществляется проверка возможности выполнения плана строительно-монтажных работ в соответствии со сроками ввода объектов в эксплуатацию при заданной численности бригад и достигнутой ими выработкой. После выбора одного из альтернативных решений (либо для всех вариантов закрепления) производится упорядочение последовательности работы каждой бригады на множестве закрепленных за ней объектов учетом их приоритета, готовности фронта работ, времени высвобождения бригады, директивного срока ввода объектов. Результатом является таблица распределения бригад за объектами по специальностями.

## 2.2 Математическое моделирование расчета материально-технических ресурсов

### Алгоритм решения:

1. создание и ввод в эксплуатацию нормативной базы
2. ввод и обработка сметных объемов СМР
3. расчет потребности в материально-технических ресурсах
4. формирование сметы с учетом запланированного дефицита

В качестве входной информации используются график поточного строительства объектов, сметные объемы работ, нормы расхода ресурсов.

В результате решения задачи мы получаем графики потребности.

Расчет материально-технических ресурсов по графикам поточного строительства позволяет перейти к управлению материальными ресурсами как на стадии планирования, так и на стадии управления и регулирования.

Задачи управления запасами возникают из-за отсутствия материалов и оборудования на строительном объекте. Каждый строительный объект имеет необходимость в строительных конструкциях, материалах, полуфабрикатах и др. Поставки, использование материалов и оборудования неритмичны и имеют компонент случайности.

Для того чтобы в процессе строительства не оставаться без материалов и оборудования, на объекте обязан быть обеспечен определенный резерв. При этом данный резерв должен быть ограничен, потому что хранение материалов и оборудования сопряжено с дополнительными затратами на строительство и аренду складских помещений.

Решая задачи управления запасами, можно установить, какие материалы и оборудование необходимо заказать, какое количество и в какое время, для того чтобы расходы были минимальными, а лишние запасы или их недостаток исключены.

Одна из проблем материально-технического снабжения – возникновение нехватки товара. Модель с запланированным дефицитом решает эту проблему, достаточно только ввести новое предположение: когда возникает

дефицит, покупатели ждут, пока продукт станет доступным. Их заказы выполняются сразу после поступления нужного количества товара на склад. Пусть  $D$ , т. е. спрос – это количество единиц товара на единицу времени. Кроме того, предполагается, что запасы пополняются, когда это необходимо, партией фиксированного размера ( $q$  единиц). Также  $c_0$  – затраты оформления при заказе партии,  $c$  – цена производства или покупки единицы товара,  $c_h$  – расходы на хранение,  $c_b$  – стоимость дефицита на единицу нехватки товара,  $q - s$  – уровень запасов после добавления партии,  $s$  – уровень запасов перед добавлением партии. Общие затраты получаются из следующих компонентов:

- стоимости производства или заказа за цикл:  $c_0 + cq$ ;
- продолжительности периода отсутствия дефицита:  $\frac{q-s}{D}$ ;
- продолжительности периода наличия дефицита:  $\frac{s}{D}$ ;
- длины цикла:  $\frac{q}{D}$ ;
- среднего уровня запасов:  $\frac{(q-s)\frac{q-s}{D}}{2\frac{q}{D}} = \frac{(q-s)^2}{2q}$ ;
- среднего уровня дефицита:  $\frac{s\frac{s}{D}}{2\frac{q}{D}} = \frac{s^2}{2q}$ ;
- затраты дефицита за цикл:  $\frac{c_b s}{2} \frac{s}{q} = \frac{c_b s^2}{2q}$ .

Таким образом, общие расходы за единицу времени

$$T = \frac{Dc_0}{q} + Dc + \frac{c_h(q-s)^2}{2q} + \frac{c_b s^2}{2q}.$$

В данной модели две переменные ( $s$  и  $q$ ), оптимальные значения ( $s^*$  и  $q^*$ ) находятся из равенств

$$\frac{\partial T}{\partial s} = \frac{(c_h + c_b)s}{q} - c_h = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial q} = -\frac{c_0 D}{q^2} + \frac{c_h}{2} - \frac{(c_h + c_b)s^2}{2q^2} = 0,$$

$$s^* = \sqrt{\frac{2c_0 D}{c_b} \frac{c_h}{c_b + c_h}}, \quad q^* = \sqrt{\frac{2c_0 D}{c_h}} \sqrt{\frac{c_b + c_h}{c_b}}.$$

Оптимальная длина цикла

$$t^* = \frac{q^*}{D} = \sqrt{\frac{2c_0}{D c_h}} \sqrt{\frac{c_b + c_h}{c_b}}.$$

### 2.3 Математическое моделирование и программный комплекс для формирования графика работ бригад

Цель - при наличии информации об объеме этапов строительства объектов, выработке строительных бригад и невыходе на работу бригад составить график строительства объектов.

**Алгоритм решения задачи:**

1. составление матрицы продолжительностей
2. распределение бригад по объектам
3. привязка к календарю
4. корректировка плана при отсутствии бригады на объекте

Критерием оптимальности является минимизация конечного срока окончания строительства всех объектов.

1. составление матрицы продолжительностей

Введем условные обозначения:

$i$  : индекс объекта

$j$  : индекс этапа

$R$  : индекс бригады  $j$ -го потока

$W_{ijk}$  : объем  $k$ -ой работы  $i$ -го объекта в  $j$ -ом этапе

$V_{jr}$  : выработка  $r$ -ой бригады  $j$ -го этапа за рабочие сутки

Следуя обозначениям вычислим объем  $j$ -го этапа  $i$ -го объекта:

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^n W_{ijk}$$

Тогда продолжительность работы  $p$ -ой бригады на  $j$ -ом этапе  $i$ -го объекта:

$$t_{ijp} = \frac{W_{ij}}{V_{jp}}$$

Таким образом мы получаем матрицу продолжительностей для  $j$ -го этапа с

$$\begin{pmatrix} t_{1j1} & t_{2j1} & \dots & t_{nj1} \\ t_{1j2} & t_{2j2} & \dots & t_{nj2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{1jp_j} & t_{2jp_j} & \dots & t_{njp_j} \end{pmatrix}$$

## 2. распределение бригад по объектам

Введем бинарную переменную

$$x_{ijp} = \begin{cases} 1 & \text{если } p\text{-ая бригада на } i\text{-ом объекте} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Целевая функция задается:

$$\sum_{p=1}^{p_j} \sum_{i=1}^n t_{ijp} x_{ijp} \rightarrow \min$$

Таким образом из всех возможных вариантов из  $T_{ijp}$  мы выбираем такой набор, чтобы минимизировать время выполнения работ  $j$ -го этапа. Это можно сделать многими методами - эвристиками, алгоритмами транспортной задачи, etc.

После нахождения всех оптимальных наборов, переходим к третьему этапу.

## 3. привязка к календарю

$T_{ijp}^s$  : начало работы  $p$ -ой бригады на  $j$ -ом этапе  $i$ -го объекта

$T_{ijp}^e$  : окончание работы  $p$ -ой бригады на  $j$ -ом объекте

$$T_{ijp}^s = \max\{T_{ij-1p_0}; T_{i_0jp}^e\}$$

где:

$T_{i_0jp}^e$  : время освобождения  $p$ -ой бригады для следующей работы;

$T_{ij-np_0}^e$  : время на подготовку к  $j$ -ому этапу  $i$ -го объекта, где

$p_0$  : индекс бригады  $j$ -н этапа

$$T_{ijp}^e = T_{ijp}^s + t_{ijp}$$

граничные условия:

$$T_{1jp}^s = T_{i1p}^s = 0$$

Решая данную задачу и найдя все  $T_{ijp}^s$  и  $T_{ijp}^e$  соотносим  $T_{1jp}$  и  $T_{i1p}$  и даты начала производственных дней. Таким образом определяем и даты, соответствующие всем производственным дням.

Таким образом на третьем этапе мы приходим к задаче о назначениях.

#### 4. корректировка плана при отсутствии бригады на объекте

Ситуация локдауна моделируется выбытием бригады на определенный срок. В случае отсутствия бригады на объекте на определенном этапе мы будем вынуждены ее заменить. В этом случае мы пересчитываем матрицу продолжительностей, не учитывая те объекты, работы на которых закончены.

Мы возвращаемся к задаче о назначениях по объектам, и используя метод логического ранжирования решаем задачу о назначениях, уже при условии отсутствия бригады.

Решая эту задачу, приходим к новому расписанию, и корректируем план. Такая коррекция была описана в западных публикациях (29), (30).

## 2.4 Реализация алгоритмов решения задачи составления расписания и расчета материально-технических ресурсов

Для расчета МТР используются входные табличные данные 1.

Техническая реализация расчета МТР в ситуации экономического локдауна показана в таблице 2

Для задачи составления графика движения бригад по объектам был выбран метод Н.Н. Моисеева – логическое ранжирование. Данный метод был выбран за простоту в использовании и эффективность.

Для систематизации и передачи ЭВМ необходимых документов системы управления строительной организацией, каждая работа всех объектов сопровождается таблицами из Приложения 5, 6, 7.

14	№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Общее кол-во	Стоимость, руб. в базисных ценах			
						Цена	в тч ЗП на ед./ всего	Обосн.	Всего
15	1	2	3	4	5	6	7	8	9
31	<b>Машины и механизмы</b>								
32	12	91.04.01-	Молотки бурильные	маш.ч	0,437	2,99			1,31
33	13	91.05.05-015	Краны на автомобильном ходу,	маш.ч ас	0,2116	115,4	13,5 2,87		24,43
34	14	91.06.01-003	Домкраты гидравлические, грузоподъемность 63-	маш.ч ас	0,19182	0,9			0,17
40	20	91.18.01-007	Компрессоры передвижные с	маш.ч ас	0,437	90	10,06 4,40		39,33
41	21	91.21.16-012	Прессы гидравлические с	маш.ч ас	0,20125	1,11			0,22
42	<b>Итого "Машины и механизмы"</b>								
43	<b>Материалы</b>								
44	22	01.3.01.02*	Вазелин технический	кг	0,015	44,97			0,67
45	23	01.7.02.09*	Шпагат бумажный	кг	0,005	11,5			0,06
46	24	01.7.06.05*	Лента изоляционная	кг	0,048	30,4			1,45
47	25	01.7.06.07*	Лента монтажная, тип	10 м	0,0147	6,9			0,1
48	26	01.7.06.11*	Лента ФУМ	кг	0,0016	444			0,71
49	27	01.7.07.29*	Хомутик	10 шт	0,2	72			14,4
86	64	ФССЦ-	Скрепа для фиксации	100	0,08	582			46,56
87	<b>Итого "Материалы"</b>								
88	<b>Оборудование</b>								
89	65	ТЦ 20.4.0.4.03 67 7*	счетчик активной и реактивной энергии	шт	1				
90	66	ФССЦ-20.4.04.03	Щиты с монтажной панелью ЩМП-2,	шт	1	578,33			578,33
91	67	ФССЦ-	Щитки учета	шт	1	634,78			634,78
92	68	ФССЦ-	Ограничитель	шт	1	1046,5			1046,5
93	<b>Итого "Оборудование"</b>								

Рис. 1: Смета

Входные данные							
	Вазелин технический	Шпагат бумажный	Лента изоляцио нная	Лента монтажная	Лента ФУМ	Хомутик	Электроды сварочные
Цена покупки, $c_m$	44,97	11,5	30,4	6,9	444	72	10315,01
Стоимость хранения, $c_H$	0,4	2,3	5,1	0,3	0,5	1,2	8,9
Стоимость оформления, $c_{MO}$	20						
Количество рабочих дней, $w$	150						
Спрос, $D$	4	6	4	6	12	123	345
Штраф за дефицит товара, $c_b$	1,5	1,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Выходные данные							
	Товар 1	Товар 2	Товар 3	Товар 4	Товар 5	Товар 6	Товар 7
Длина цикла, $t$	1,63229404239997						
Оптимальные размеры заказа, $q^{MO}$	6,52917617	9,7937643	6,5291762	9,793764254	19,58752851	200,7721672	563,1414446
Количество партий, $p$	245						
Размер дефицита, $s$	1,3745634	5,9278047	3,8719533	0,612110266	1,632294042	31,28916892	305,6072474
Продолжительность периода отсутствия дефицита, $t_1$	1,28865319	0,6443266	0,6643057	1,530275665	1,496269539	1,377910555	0,746475934
Продолжительность периода наличия дефицита, $t_2$	0,34364085	0,9879674	0,9679883	0,102018378	0,136024504	0,254383487	0,885818108
Ежегодные затраты хранения, $TC^{MO}(t)$	1,30583523	11,262829	16,649399	1,469064638	4,896882127	120,4633003	2505,979429
Общие затраты хранения	29,2180633589594						
Общие затраты оформления	12,2526943556039						
Ежегодные затраты на покупку	179,88	69	121,6	41,4	5328	8856	3558678,45
Общие затраты на покупку	370,48						
Ежегодные затраты дефицита и хранения	1,03092255	4,4458535	6,7759183	1,377248098	4,488808617	101,689799	1146,027178
Общие затраты дефицита и хранения	12,2526943556039						
Общие затраты	193,163617	85,698548	140,62861	55,02994245	5344,741503	8969,942493	3559836,73
Затраты, $TC$	394,985388711208						

Рис. 2: Реализация расчета МТР в ситуации с дефицитом

Специальность	Среднедневная выработка	Количество человек	Сменность
Инженер II категория	1,94	1	5/2
Инженер III категория	3,89	1	5/2
Техник	1,3	2	3/1
Машинист	1,11	2	5/2

Рис. 3: Пример характеристики бригад

Также во входных данных содержится таблица 3, характеризующая бригады. Реализация алгоритма и метода содержится в Приложении.

## **Глава 3. Анализ экономической эффективности при внедрении системы планирования и управления**

В экономическом анализе результаты деятельности различных хозяйствующих субъектов можно оценить по таким показателям, как выручка или прибыль (убыток). Однако значений этих показателей недостаточно для формирования мнения об эффективности хозяйствующих субъектов. Это связано с тем, что данные показатели являются абсолютными характеристиками деятельности хозяйствующих субъектов, и их правильная трактовка для оценки результатов деятельности может осуществляться только совместно с другими показателями, отражающими вложенные в компанию средства. Следовательно, в экономическом анализе показатели рентабельности рассчитываются для характеристики общей эффективности и прибыльности различных видов деятельности (экономической, финансовой и предпринимательской).

### **3.1 Данные строительной компании**

Исходные данные для альтернативного факторного анализа рентабельности в строительной организации представлены в таблице 2 по данным финансовых результатов организации ООО "Энергострой".

№	Показатели	Фактор	До внедрения	После внедрения	Отклонение
1	V – чистый доход		119165673	110973284	-8192389
2	SS – Стоимость работ		114180693	105115881	-9064812
3	P – чистая прибыль		1667614	3008741	1341127
4	A – Стоимость активов (среднегодовой показатель)		116062474	108937693	-7124781
5	SK – стоимость собственного капитала		13230536	14441173	1210637
6	POP – рентабельность производства		0.014605	0.028623	0.014018
7	ROE – доходность собственного капитала	$F_1$	0.126043	0.208345	0.082302
8	FIR – коэффициент финансовой независимости	$F_2$	0.113995	0.132564	0.018569
9	RI – ресурсоёмкость	$F_3$	0.973959	0.981657	0.007698
10	YOP – доход от производства	$F_4$	1.043659	1.055723	0.012065

**Таблица 1:** Исходные данные для факторного анализа

## 3.2 Метод факторного анализа рентабельности

Для факторного анализа рентабельности работы компании использовались пять показателей: выручка, себестоимость, чистая прибыль, стоимость активов и стоимость собственного капитала.

Далее, на основе разработанных автором методов детерминированного (функционального) факторного анализа (31) оценим степень влияния четырех факторов на изменение рентабельности строительной организации.

Формула, предложенная автором для факторного анализа, имеет следующий вид():

$$POP = \frac{P}{SK} * \frac{SK}{A} * \frac{A}{V} * \frac{V}{SS} = F_1 * F_2 * F_3 * F_4 = \prod_{n=1}^4 F_n$$

Модель рентабельности производства состоит из 4 факторов:

F1 - ROE - доходность собственного капитала, рассчитываемая как отношение чистой прибыли (P) к собственному капиталу (SK). Это один из ключевых показателей финансовой прибыльности. Этот показатель важен для владельцев компании, поскольку он характеризует прибыль, которую владелец получит от единицы денег, вложенных в организацию.

F2 - FIR - коэффициент финансовой независимости или коэффициент автономности, который описывает соотношение к общей сумме капитала (активов) (A) организации. Коэффициент самостоятельности. показывает, насколько независима организация от кредиторов.

F3 - RI - ресурсоемкость - обратный показатель доходности ресурсов или прибыли капитала. Если ресурс. доходность (доходность капитала) означает эффективность, с которой компания использует свои ресурсы для производства. и имеет экономическую интерпретацию, показывающую, какая часть дохода от продаж (V) приходится на одну денежную единицу инвестиций в активы (A). Ресурсоемкость. характеризует отношение активов (A) к одной денежной единице поступлений от продаж (V). Ресурсоемкость - A. объем ресурсов, используемых для производства единицы конечного продукта, т.е. соотношение между потребленными ресурсами. и

произведенных продуктов (в физической форме или в виде услуг). Она включает как компоненты, которые являются частью конечного продукта, так и компоненты, потребляемые в ходе его производства. Выражается ресурсоемкость в количестве единиц ресурсов, израсходованных на единицу продукции. Этот показатель используется для анализа сопоставлений для различных целей.

F4 - YOP - выход продукции, близкий к показателю прибыльности производства (POP). Рентабельность производства рассчитывается как отношение чистой прибыли к затратам. Рентабельность производства показывает, насколько компания имеет чистую прибыль (P) на единицу стоимости (SS). Автор представил показатель производительности (YOP), который рассчитывается как соотношение доходов от продаж (доходов) (V) по удельной стоимости (SS). Этот показатель показывает соотношение поступлений от продаж (V) к сумме средств, израсходованных на их получение (стоимость - SS).

На основе данных, приведенных в таблице 1, можно сделать выводы:

- прибыль на капитал строительной организации до внедрения системы составила 12,60%, после – 20,83%, прирост – 8,23%;
- коэффициент финансовой независимости строительной организации до внедрения составил 11,40%, после – 13,26%, увеличившись на 1,86%;
- ресурсоемкость строительной организации до внедрения составила 97,40%, после – 98,17%, прирост составил – 0,77%;
- доходность строительной организации до внедрения составила 104,37%, после – 105,57%, прирост – 1,21%.

Результирующий показатель модели прибыльности производства строительной организации до внедрения составила 1,46%, после – 2,86%, прирост 1,40%.

Общее отклонение результирующего показателя определяется по формуле 1.

$$\Delta POP = \sum_{n=1}^4 \Delta POP(F_n) = \Delta POP(F_1) + \Delta POP(F_2) + \Delta POP(F_3) + \Delta POP(F_4) \quad (1)$$

В таблице 2 представлены дополнительные данные о сравнительных коэффициентах для факторного анализа.

Сравнение факторов	Обозначение сравнительных коэффициентов	Значение	Произведение коэффициентов
$F_{11}/F_{10}$	$A_1$	1.652967	1.0
$F_{10}/F_{11}$	$A_2$	0.604973	
$F_{21}/F_{20}$	$A_3$	1.162890	1.0
$F_{20}/F_{21}$	$A_4$	0.859926	
$F_{31}/F_{30}$	$A_5$	1.007904	1.0
$F_{30}/F_{31}$	$A_6$	0.992158	
$F_{41}/F_{40}$	$A_7$	1.011560	1.0
$F_{40}/F_{41}$	$A_8$	0.988572	

**Таблица 2:** Исходные данные для факторного анализа

### 3.3 Анализ экономической эффективности

Результаты факторного анализа метода автора приведены в таблицах 3 4

№	Часть формулы	корректировочные коэффициенты	результат	
1	$\Delta POP(F_1) = 0.009537$	-	0.009537	
2	$\Delta POP(F_2) = 0.002379$	1.652967	$A_1$	0.003932
3	$\Delta POP(F_3) = 0.000115$	1.922219	$A_1 * A_3$	0.000222
4	$\Delta POP(F_4) = 0.000169$	1.937412	$A_1 * A_3 * A_5$	0.000327
	0.015868			0.014018

**Таблица 3:** Результаты методов

№	Часть формулы	корректировочные коэффициенты		результат
1	$\Delta POP(F_1) = 0.011307$	0.843433	$A_8 * A_6 * A_4$	0.009537
2	$\Delta POP(F_2) = 0.004009$	0.980820	$A_8 * A_6$	0.003932
3	$\Delta POP(F_3) = 0.000224$	0.988572	$A_8$	0.000222
4	$\Delta POP(F_4) = 0.000327$	-		0.000327
	0.015868			0.014018

**Таблица 4:** Результаты методов

Согласно результатам анализа, на изменение прибыльности в строительной организации ( $\Delta POP$ ) в размере 1,40% повлияли следующие факторы:

- рост доходности строительной организации ( $F_1$ ) на 8,23% повысил показатель на 0,95%;
- повышение коэффициента финансовой независимости ( $F_2$ ) на 1,86% увеличил показатель на 0,40%;
- увеличение ресурсоемкости строительной организации ( $F_3$ ) на 0,77% увеличило показатель на 0,02
- увеличение выхода продукции строительной организации ( $F_4$ ) на 1,21% увеличило изученный показатель на 0,03

## Заключение

При современных условиях увеличения объемов строительства, все важнее становится автоматизация и совершенствование управления строительством. При этом строительные компании рассматриваются как сложные микроэкономические системы, подверженные различным внешним воздействиям. Одним из таких воздействий является ситуация локдауна. Одним из способов выхода из такой ситуации является совершенствование и автоматизация планирования строительством.

Существующие математические модели и компьютерные методы управления СМР не могут справиться с подобными сложными ситуациями, так

как требуют большого объема ручных вычислений и затрат на корректировку планирования.

В работе представлен комплекс математических моделей, алгоритмов и реализации на ЭВМ решения задачи управления и планирования строительным предприятием; достигнута цель оптимизации планирования при критерии минимизации общего времени работ на объектах; решена задача управления запасами МТР с учетом запланированного дефицита.

Реализованные модели реагируют на изменения в графиках бригад, отсутствие МТР и устраняют простои на СМР на объектах в ситуации экономического локдауна.

Программная реализация дает возможность автоматизировать составление планов строительства, а также минимизировать затраты на покупку и доставку СМР при дополнительных условиях негативного воздействия локдауна.

Внедрение результатов работы дало возможность получить экономический эффект – 1341127 руб.

## Список литературы

- [1] Данные Росстата [Электронный ресурс]: URL:[https://gks.ru/bgd/regl/b20\\_46/Main.htm](https://gks.ru/bgd/regl/b20_46/Main.htm) (дата обращения: 11.05.21).
- [2] Комаров А. К., Горбачевская Е. Ю. К вопросу о совершенствовании процесса организации строительного производства // Экономика и управление. 2016. Т. 16. Вып. 1. С. 28–33.
- [3] Лесова Д. Ф., Абрамов И. Л. Строительное предприятие и производство как сложная производственно-динамическая система // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. Вып. 6. С. 1–11.
- [4] Ростовцева Т. В. Моделирование затрат на строительномонтажные работы коттеджного строительства. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. 156 с.
- [5] Данилюк В. А. Планирование материального обеспечения строительства методами экономико-математического моделирования. Москва.: Науч.-исслед. ин-т экономики строительства 1970. 213 с.
- [6] Мерков П. А. Формирование плана капитального строительства в отраслях городского хозяйства с использованием математического моделирования и ЭВМ. Москва.: Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 1974. 178 с.
- [7] Александрова Л. С. Оперативное планирование производственной деятельности рабочих бригад в строительстве с применением экономико-математического моделирования и ЭВМ. Москва.: б.-и., 1987. 192 с.
- [8] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. Калифорния: Rational Санта-Клара, 2002. 376 с.
- [9] Дик В. В. Инструментальные средства формирования решений в сбалансированной системе показателей. Москва: Прикладная информатика. Научные статьи, 2006. 26 с.

- [10] Семёнычев В. К. Информационные системы в экономике. Экономическое моделирование инноваций. Самара.:б.-и., 2006. 146 с.
- [11] Калинин М. О. Адаптивное управление безопасностью информационных систем на основе логического моделирования. СПб.:б.-и., 2011. 186 с.
- [12] Радионов А. С. Разработка систем дискретного имитационного моделирования информационных сетей. Новосибирск.:б.-и., 2002. 189 с.
- [13] Захаров А. А. Технологии создания распределенных информационных систем моделирования сложных динамических процессов. Тюмень.:б.-и., 2002. 172 с.
- [14] Побегайлов О. А., Шемчук А. В. Информационные системы планирования в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 7. Вып. 3. С. 13–15.
- [15] Круцких Т. К. Математическая модель процессов планирования ресурсов и формирования схемы поставок при проведении строительномонтажных работ // Достижения науки и образования. 2016. Т. 12. Вып. 4. С. 37–40.
- [16] Побегайлов О. А., Шемчук А. В. Информационные системы планирования в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 6. Вып. 4. С. 21–27.
- [17] Осипов К. Ю. Оптимизационные методы планирования в строительстве // Молодой ученый. 2018. Т. 6. Вып. 192. С. 46–48.
- [18] Шувакин А. Е., Слаутин П. С. Функционально-аналитическое планирование строительного производства с соблюдением принципов промышленной безопасности // Наука, Техника, Образование. 2015. Т. 15. Вып. 9. С. 23–26.

- [19] Хван А. А., Спиридонов Э. С. Календарное планирование в инвестировании строительного производства // ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ. 2020. Т. 7. Вып. 4. С. 3–6.
- [20] Гаспарян Л. Г., Самвелян Ц. Г. Основы и особенности организации и управления в строительстве // ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ. 2021. Т. 8. Вып. 3. С. 319–320.
- [21] Иванова Н. В., Кициловский Ю. А. О планировании производственно-хозяйственной деятельности строительных организаций в современных условиях // Вестник университета. 2015. Т. 4. Вып. 5. С. 12–14.
- [22] II Всероссийская научная конференция «Организация строительного производства»
- [23] Конференция «Актуальные вопросы планирования и организации строительства, эксплуатации и финансирования инвестиционно-строительных проектов»
- [24] VI Международная научно-практическая конференция «Технологии, организация и управление в строительстве – 2020» (ТОMiC-2020)
- [25] Harris F. W. Operations Cost Factory Management Series. Chicago: Shaw, 1915. P. 48 –52.
- [26] Wilson R. H. A Scientific Routine for Stock Control. Boston: Harvard Business Review, 1934. P. 114 –128.
- [27] Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. Москва.: Наука, 1981. 487 с.
- [28] Лазарев А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы: учеб. пособие. Москва.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. 221 с.
- [29] Abdolshah M. A Review of Resource-Constrained Project Scheduling Problems (RCPSP) Approaches and Solutions // International

Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences Technologies, 2014. P. 195–207.

- [30] Scala A. The mathematics of multiple lockdowns // Scientific Reports, 2021. P. 24–31.
- [31] Filatov E. A. Factor analysis of the knowledge intensity of the invested capital of Russia by Filatov's methods Advances in Social Science: Education and Humanities Research, 2020. 719 p.

# Приложение

Объект		Монтаж ВЩУ		
Смета №		Монтаж ВЩУ		
№ п/п	Код ресурса	Наименование ресурса	Ед.изм.	Кол.
1	2	3	4	5
<b>Материалы</b>				
22	01.3.01.02-000	Вазелин технический	кг	0,015
23	01.7.02.09-000	Шпагат бумажный	кг	0,005
24	01.7.06.05-004	Лента изоляционная прорезиненная односторонняя, ширина 20 мм, толщина 0,25-0,35 мм	кг	0,048
25	01.7.06.07-000	Лента монтажная, тип ЛМ-5	10 м	0,0098
26	01.7.06.11-002	Лента ФУМ	кг	0,0016
27	01.7.07.29-024	Хомутик	10 шт	0,2
28	01.7.11.07-003	Электроды сварочные Э42, диаметр 4 мм	т	0,0002
29	01.7.11.07-003	Электроды сварочные Э42А, диаметр 4 мм	кг	0,42
30	01.7.15.03-004	Болты с гайками и шайбами строительные	кг	0,744
31	01.7.15.07-001	Дюбели распорные полипропиленовые	100 шт	0,028
32	01.7.20.04-000	Нитки швейные	кг	0,003
33	07.2.07.04-000	Конструкции стальные индивидуальные решетчатые сварные, масса до 0,1 т	т	0,003
34	14.4.02.09-000	Краска	кг	0,278
35	14.4.03.03-000	Лак битумный БТ-123	т	0,0001
36	14.4.03.17-001	Лак электроизоляционный 318	кг	0,02
37	20.1.02.23-008	Перемычки гибкие, тип ПГС-50	10 шт	0,24
38	20.2.02.02-001	Заглушки	10 шт	0,051
39	22.2.02.11-005	Гайки установочные заземляющие	100 шт	0,0325
40	999-9950	Вспомогательные ненормируемые ресурсы (2% от Оплаты труда рабочих)	руб	2,1274
41	ТЦ 20.2.08.02	Ограничитель на DIN-рейку YZN11DF-003- R03	шт	10
42	ТЦ 20.5.03.03	Шина ...	шт	2
43	ТЦ 20.5.03.03	- Шина «ноль» на DIN-изоляторе ШНИ 6х9-4-Д-С YNN10-69-8D-K07 ИЕК	шт	1
44	ТЦ 20.5.03.03	- Шина РЕ "земля" на DIN-изоляторе ШНИ-6х9-8-Д-Ж YNN10-69-8D-K05 ИЕК	шт	1
45	ТЦ 21.2.03.03	Провод ПУВ – 1х6	м	2
46	ТЦ 22.1.02.06	Комплект крепления металлокорпуса к столбу (УКК-0-126)	компл.	2
47	ТЦ 22.2.01.08	Изолятор силовой SM30	шт	2
48	ТЦ 24.3.04.11	Термоусадочная трубка ТНТ нг-40/20 (КВТ) 1м	5шт	0,2

Рис. 4: Смета МТР

Объект	Наименование	Приоритет	Этап и вид работ	Сметная стоимость этапа и вида работ	Объем СМР (на ед./ всего)	Количество бригад	Исполнитель	
							Специальность	Бригада
4-5191-ЭС	Строительно-монтажные работы	1	Развозка конструкций и материалов опор	49,34	0,44 13,64	1	Машинист	Тюкавин
		1	конструкций и материалов опор ВЛ	13,05	0,25 5,5	1	Машинист	
		1	Развозка конструкций и материалов опор	15,03	0,3 1,5	1	Машинист	
		3	Установка железобетонных опор ВЛ	163,22	3,8 79,8	2	Рабочий	Векша
		3	Установка железобетонных опор ВЛ	362,96	7,9 39,5	2	Рабочий	
		2	Установка железобетонных плит для опор ВЛ	42,51	0,99 7,92	1	Рабочий	
		4	Подвеска самонесущих изолированных проводов (СИП-2А)	3710,45	65,24 42,54	1	Техник	
		5	Забивка вертикальных заземлителей механизированная на глубину до 5 м	120,31	0,81 16,2	1	Рабочий	Векша
		6	Устройство шин заземления опор ВЛ и подстанций	30,04	1,8 9	1	Инженер II	Матвеев
		6	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м	1201,2	164 19,25	2	Рабочий Рабочий	Векша
		7	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям	663,75	88,5 11,06	1	Рабочий	
		8	(Прим)Установка зажимов для переносного заземления РС481	473,23	47 3,76	1	Инженер III	Матвеев
		8	Устройство ответвлений от ВЛ 0,38 кВ к зданиям	88,19	2,088 4,18	1	Инженер II	
		Электрические испытания и измерения по ВЛ 0,4 кВ	1	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	165,95	12,96 3,63	1	Инженер II
	2		Замер полного сопротивления цепи "фаза-нуль"	15,62	1,22 1,22	1	Инженер II	
	2		Фазировка электрической линии или трансформатора с	10,5	0,82 4,92	1	Инженер II	
	2		Измерение сопротивления изоляции (на	4,1	0,32 1,92	1	Инженер II	

Рис. 5: Характеристика объекта №1

4-5170-ЭС	Установка ВЩУ	1	Щкаф (пульт) управления навесной.	129,87	2,06 4,74	2	Рабочий Машинист	Векша Тюкавин
		2	Счетчики трехфазные автомат одно-, двух-, трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 25 А	10,57	0,7 0,81	2	Рабочий Машинист	Векша Тюкавин
		3	трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 25 А	61,48	2 2,3	2	Рабочий Машинист	Векша Тюкавин
		3	трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 25 А	35,69	1,34 1,54	1	Рабочий	Векша
		5	Прибор или аппарат (ОПС1-В ЗР в ВЩУ) кабель до 35 кв с креплением накладными скобами, масса 1 м кабеля до 0,5 кг	12,13	1,03 1,18	1	Рабочий	Векша
		5	Труба стальная по установленным конструкциям, по фермам, колоннам и другим стальным конструкциям, диаметра: до 40 мм	34,05	11,76 0,54	2	Рабочий Машинист	Тюкавин
		3	Труба стальная по установленным конструкциям, по фермам, колоннам и другим стальным конструкциям, диаметра: до 40 мм	51,32	26,48 1,52	2	Рабочий Машинист	Векша Тюкавин
		4	Забивка вертикальных заземлителей вручную на глубину до 3 м	26,29	0,67 2,31	1	Рабочий	Векша
		5	Устройство шин заземления опор ВЛ и подстанций	20,31	1,8 2,07	2	Рабочий Машинист	Тюкавин
		6	глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	20,72	154 2,66	1	Рабочий	Векша
		7	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	11,45	88,5 1,53	1	Рабочий	Векша
		Электрические испытания и измерения по ВЩУ	1	утечки: ограничителя напряжения	23,05	1,8 1,8	1	Инженер III
	1		коммутационного на пражнении: до 1	39,26	1,62 3,24	2	Инженер II техник II	
	1		расчетанию тока: контура с диагональю до 20 м	20,75	1,62 1,62	1	Инженер III	
	2		удельного сопротивления грунта	41,49	3,24 3,24	1	Инженер III	
	3		Замер полного сопротивления цепи "фаза-нуль"	12,81	1 1	1	Инженер III	
	3		цепи между заземлителями и заземленными элементами	1,66	12,96 0,13	1	Инженер III	

Рис. 6: Характеристика объекта №2

4-5169-ЭС	Монтаж ВЩУ	1	Шкаф (пульт) управления навесной, высота, ширина и глубина: до 600х600х350 мм	113,7	2,06 4,12	1	Машинист	Тюкавин	
		2	устанавливаемые на готовом основании:	9,26	0,7 0,7	1	Машинист		
		3	автомат одно-, двух-, трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне,	58,2	2 2	1	Машинист		
		3	двух-, трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 25 А	33,65	1,34 1,34	1	Рабочий	Векша	
		5	Прибор или аппарат (ОПС 1-В 3Ф в ВЩУ)	10,6	1,03 1,03	1	Рабочий	Тюкавин	
		5	крепление накладными скобами, масса 1 м	29,93	11,76 0,47	2	Машинист		
		3	конструкциям, по фермам, колоннам и другим стальным	48,15	26,48 1,32	2	Рабочий		
		4	Забивка вертикальных заземлителей вручную на глубину до 3 м	22,98	0,67 2,01	2	Рабочий	Векша	
		5	Устройство шин заземления опор ВЛ и подстанций	17,83	1,8 1,8	2	Рабочий	Тюкавин	
		6	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	18,02	1,54 2,31	1	Рабочий	Векша	
		7	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	9,96	88,5 1,33	1	Рабочий		
		Электрические испытания и измерения по ВЩУ	1	измерение тока утечки: ограничителя	23,05	1,8 1,8	1	инженер III	Матвеев
			1	испытание аппаратов коммутационного назначения: до 1	39,26	1,62 3,24	2	Инженер II техник II	
	1		Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 20 м	20,76	1,62 1,62	1	инженер III		
	2		Определение удельного сопротивления	41,49	3,24 3,24	1	инженер III		
	3		Замер полного сопротивления цепи "фаза-нуль"	12,81	1 1	1	Инженер III		
	3		Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	1,66	12,96 0,13	1	инженер III		

Рис. 7: Характеристика объекта №3

Объект	Этап и вид работ	Исполнитель		Март	Апрель	Май	Июнь	Июль
		Специальность	Бригада					
4-5191-ЭС	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ	Машинист	Тюкавин	13,64				
	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ	Машинист		5,6				
	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ	Машинист		1,5				
	Установка железобетонных опор ВЛ	Рабочий	Векша	Замена — Рабочий				
	Установка железобетонных опор ВЛ	Рабочий		79,8				
	Установка железобетонных опор ВЛ	Рабочий			39,5			
	Установка железобетонных опор ВЛ	Рабочий		На замену				
	Установка железобетонных плит для опор ВЛ	Рабочий		7,92				
	Подвеска самонесущих изолированных проводов (СИП-2А)	Техник	Тюкавин		42,54			
	Забивка вертикальных заземлителей механизированная на глубину до 5 м	Рабочий	Векша		16,2			
	Устройство шин заземления опор ВЛ и подстанций	Инженер II	Матвеев		Замена — Инженер II			
	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м	Рабочий	Векша			19,25		
	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям	Рабочий						
	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям	Рабочий					11,06	
	(Прим)Установка зажимов для переносного заземления РС481	Инженер III	Матвеев				3,76	
	Устройство ответвлений от ВЛ 0,38 кВ к зданиям	Инженер II						4,18
	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	Инженер II						3,63
	Замер полного сопротивления цепи "фаза-нуль"	Инженер II						
	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением	Инженер II				На замену		
	Измерение сопротивления изоляции (на	Инженер II				На замену		
Шкаф (пульт) управления навесной.	Рабочий	Векша	4,74					
Шкаф (пульт) управления навесной.	Машинист	Тюкавин						
Счетчики трехфазные	Рабочий	Векша	Замена — Рабочий					
Счетчики трехфазные	Машинист	Тюкавин		0,81				
Счетчики трехфазные	Рабочий	Векша						
Автомат одно-, двух-,	Машинист	Тюкавин		2,3				

Рис. 8: Сводный график

```

using System;
using System.IO;
using localsolver;

public class Jobshop : IDisposable
{
    // Number of jobs
    private int nbJobs;
    // Number of performers
    private int nbMachines;
    // Processing time on each performer for each job
    private long[,] processingTime;
    // Processing order of performers for each job
    private int[,] machineOrder;
    // Trivial upper bound for start times of activities
    private long maxStart;

    // LocalSolver
    private LocalSolver localsolver;
    // Decision variables: start times of the activities
    private LSExpression[,] start;
    // Decision variables
    private LSExpression[] jobsOrder;
    // Objective = minimize the makespan
    private LSExpression makespan;



---



    // Minimize the makespan:
    //end of the last activity of the last job
    makespan = model.Max();
    for (int j = 0; j < nbJobs; j++)
    {

```

```

        makespan.AddOperand(end[j], machineOrder[j], nbMachi
    }
    model.Minimize(makespan);

    model.Close();

    // Parameterizes the solver
    localsolver.GetParam().SetTimeLimit(timeLimit);

    localsolver.Solve();
}

```

---

```

public static void Main(string [] args)
{
    if (args.Length < 1)
    {
        Console.WriteLine ("Usage: _Jobshop_instanceFile
.....[outputFile]_[timeLimit]");
        System.Environment.Exit(1);
    }

    string instanceFile = args [0];
    string outputFile = args.Length > 1 ? args[1] : null;
    string strTimeLimit = args.Length > 2 ? args[2] : "60"

    using (Jobshop model = new Jobshop(instanceFile))
    {
        model.Solve (int.Parse(strTimeLimit));
        if (outputFile != null)
            model.WriteSolution(outputFile);
    }
}

```