

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Чахкиев Ислам Мусаевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ОБОСНОВАНИИ
ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ
ОБЪЕКТОВ**

Специальность: 05.23.08 – Технология и организация строительства

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Болотин Сергей Алексеевич

Санкт-Петербург – 2015

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	10
1.1 Особенности организации проектирования и строительства уникальных объектов и вызывающие их факторы	10
1.2 Обзор методологии современного календарного планирования и определения нормативно-директивных сроков строительства	20
1.3 Возможности современных автоматизированных методов календарного планирования в организации строительства уникальных зданий и сооружений	27
1.4 Оптимизация организационно-технологических параметров в процессе календарного планирования	30
1.5 Цель и задачи исследования	36
ГЛАВА 2 АДАПТАЦИЯ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К ОПТИМИЗАЦИОННОМУ РАСЧЕТУ ДИРЕКТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	39
2.1 Нормативно-директивная продолжительность строительства уникальных объектов	39
2.2 Методика сведения организационно-технологической вариантности схем строительства к инвариантной структуре календарных графиков	52
2.3 Адаптация метода неопределенных ресурсных коэффициентов к определению директивной продолжительности строительства на примере МФК «Лахта-Центр»	61
Выводы по второй главе	69
ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К ОПТИМИЗАЦИОННОМУ РАСЧЕТУ ДИРЕКТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА	70
3.1 Реализация разнообразия поточной организации работ в методе неопределенных ресурсных коэффициентов	70
3.2 Рейтинговый подход к ресурсной минимизации	76
3.3 Учет временных ограничений и различных связей между работами	81

3.4	Рассмотрение особенностей ресурсного замка при возникновении неполной оптимизации ресурсов типа «мощность»	86
3.5	Преодоление «ресурсного замка»	90
	Выводы по третьей главе	99
ГЛАВА 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА РАСЧЕТА ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОГО НА МИНИМИЗАЦИИ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ		100
4.1	Практическая методика реализации оптимизационного расчета в программах управления проектами	100
4.2	Технико-экономический эффект от реализации метода оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов	111
4.3	Анализ чувствительности оптимальной продолжительности строительства уникальных объектов к рискам несвоевременности выполнения работ	120
	Выводы по четвертой главе	128
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	131
	ПРИЛОЖЕНИЯ	151
	Приложение 1 Листинг программы-макроса МНРК адаптированного к оптимизационному расчету директивных сроков строительства уникальных объектов	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из важнейших технико-экономических показателей организационно-технологического проектирования является продолжительность строительства. Без ее определения невозможно корректно определить стоимость строительства, сформировать денежный поток по инвестиционному и операционному периодам строительного проекта, оценить его экономическую эффективность и организовать планомерный ввод создаваемых активов в форме недвижимых объектов.

Из основ организации строительства известно, что продолжительность строительства задается в процессе подготовки проектной документации либо директивно заказчиком, либо определяется по нормативным документам, к которым относятся СНиП 1.04.03-85* или МДС 12-43.2008. Расчетом с использованием вышеуказанных нормативных документов, возможно, определение продолжительности строительства большинства объектов и сооружений. Однако в современной строительной отрасли выделены особые классы объектов, к которым относятся уникальные, опасные, технически сложные и другие аналогичные объекты, специально выделенные Градостроительным кодексом РФ. При этом продолжительность строительства таких объектов вышеуказанными нормативными документами не определена. Для уникальных объектов, если и удастся найти объект аналог то, как правило, источником информации являются ненормативные документы и применение объекта аналога к проектируемому объекту в чистом виде не всегда возможно из-за большого количества факторов, влияющих на сроки производства работ. К таким факторам следует отнести: природно-климатические особенности региона строительства, размеры строительной площадки, условия доставки строительных материалов, коэффициент использования территории строительства, ограничения по охране окружающей среды и уровню допустимого шума и т.д. и т.п. Более того, для корректного задания директивной продолжительности, необходимо должным образом учесть не только выше перечисленные условия, но и те ресурсы, при которых обеспечивается задаваемая директивная продолжительность строительства уникальных, опасных и технически сложных объектов.

Вместе с этим, задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов чисто административным способом, без использования научно обоснованного метода, ведет к определению неоптимальной длительности строительства, а

также к определению такой длительности, которая выходит за рамки допустимых пределов. Таким образом, задача разработки научно обоснованного практического метода определения директивной продолжительности строительства уникальных объектов является весьма актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Анализ научно-технической литературы позволил выдвинуть научную гипотезу, заключающуюся в том, что определение обоснованной директивной продолжительности строительства уникальных объектов возможно путем проведения оптимизационного расчета. В этом случае при разработке календарных графиков уникальных объектов необходимо применять методы календарного планирования, в основе которых лежат оптимизационные алгоритмы.

Разработкой календарных графиков строительства на основе оптимизационных алгоритмов занималось множество отечественных и зарубежных ученых: В. А. Афанасьев, С. А. Болотин, С.А. Баркалов, В. З. Величкин, Л. Г. Дикман, М. М. Калюжнюк, П.Н. Курочка, В.Я. Мищенко, П.П. Олейник, В.И. Рыбальский, М.Д. Спектор, В. П. Хибухин, А. И. Шишкин и др., а также зарубежные ученые В. Бозейко (W. Bożejko), М. Водецкий (M. Wodecki), Дж. Грабовский (J. Grabowski), В. Ф. Касселтон (W. F. Caselton), О. Моселхи (O. Moselhi), Х. Райес (K. El-Rayes), А. Д. Рассел (A. D. Russell), С. Селинджер (S. Selinger), З. Хейдуцки (Z. Hejducki) и др.

Применение в чистом виде оптимизационных алгоритмов, разработанных вышеперечисленными учеными, для проведения оптимизационных расчетов директивной продолжительности строительства уникальных объектов затруднительно. Ограниченность применения существующих оптимизационных алгоритмов связана с присущими уникальным объектам особенностям проектирования и строительства. В частности к таким особенностям относятся: фиксированность очередности освоения частных фронтов работ, отсутствие информации о сметной стоимости строительства, нормативной продолжительности строительства, продолжительности выполнения работ на каждом фронте, количественном составе трудовых бригад и др.

В результате анализа нами установлено, что наиболее адекватным оптимизационным критерием для определения директивной продолжительности строительства уникальных объектов при их календарном планировании является критерий минимизации ресурсов типа «мощность», а наиболее адекватный этому критерию является метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК). Специфика МНРК заключается,

прежде всего, в его применимости как при явно заданных трудовых ресурсах, так и при неявно заданных ресурсах типа «мощность». В этом случае ресурсы определяются через трудоемкость и объемы работ, которые становятся известны только в процессе разработки проектной и рабочей документации и данное обстоятельство подчеркивает универсальность выбранного метода.

Научная гипотеза диссертационного исследования заключается в том, что при задании директивной продолжительности строительства уникальных объектов в интервале между минимально и максимально возможными продолжительностями может возникнуть резерв времени, который может быть использован для оптимизационного уменьшения количества ресурсов типа «мощность».

Цель диссертационного исследования заключается в разработке метода оптимизации трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов.

Задачи диссертационного исследования:

- провести анализ особенностей организационно-технологических схем (ОТС) строительства уникальных объектов;
- разработать методику определения маргинальных продолжительностей строительства уникальных объектов;
- провести адаптацию и усовершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов применительно к обоснованию директивной продолжительности строительства уникальных объектов совместно с оптимизацией ресурсов типа «мощность»;
- автоматизировать оптимизационный расчет директивной продолжительности строительства уникальных объектов путем разработки методики и компьютерного инструментария (программы-макроса) на базе программы Microsoft Project (MP);
- повысить устойчивость сроков директивной продолжительности строительства к рискам несвоевременности выполнения работ путем учета этих рисков.

Объектом исследования является организационно-технологическая модель строительства уникальных строительных объектов.

Предметом исследования является совершенствование календарного планирования, ориентированного на оптимизационное определение директивной продолжительности строительства уникальных объектов с учетом минимизации ресурсов типа «мощность».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке метода оптимизации трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов, основанного на оптимизационном распределении трудовых ресурсов в строительном календарном плане, представленном системой линейных уравнений, единообразно описывающих ОТС строительства, включая топологические, временные и ресурсные ограничения.

Получены следующие научные результаты:

- 1 Разработана методика расчета маргинальных продолжительностей выполнения СМР и строительства в целом.
- 2 Разработана инвариантная структура календарных графиков строительства.
- 3 Разработана методика, позволяющая преодолеть ограниченность классического метода линейного программирования. В классическом методе линейного программирования не предусмотрена возможность целенаправленного перебора методов поточной организации работ. Разработанная методика позволяет создавать любые комбинации непрерывности выполнения работ.
- 4 Разработан рейтинговый коэффициент для МНРК, позволяющий ранжировать работы в порядке сокращения использования ресурсов в единицу времени.
- 5 Выявлены дополнительные возможности МНРК, заключающиеся в учете ограничений на начало и окончание работ, лагов времени и различных типов связей между смежными работами.
- 6 Разработаны методики преодоления эффекта «ресурсного замка», возникающего в частных случаях оптимизационного расчета.
- 7 Разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяющие автоматизировать адаптированный нами МНРК.

Теоретическая значимость работы. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при совершенствовании методологии календарного планирования, что будет способствовать появлению методов, ориентированных на уникальные здания и сооружения. Результаты, полученные в ходе исследования, также могут быть использованы для развития информационных технологий организации и управления строительством.

Практическая значимость работы заключается в разработке программно-методических документов, определяющих совершенствование календарного планирования строительства уникальных объектов на примере Многофункционального комплекса (МФК) «Лахта Центр», возводимого в Санкт-Петербурге. Разработанный метод оптимизации трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов позволяет определить: допустимые сроки строительства, оптимизировать продолжительность выполнения каждого вида работ по критерию минимизации используемых ресурсов типа «мощность». Разработанная методика и компьютерный инструментарий позволяют автоматизировать оптимизационный расчет, тем самым снизить его трудоемкость и влияние человеческого фактора на результаты расчета.

Методология и методы исследования. В работе использованы следующие методы исследования: формализации, сравнения, моделирования, индукции и дедукции. В частности, метод формализации был использован для формализации организационно-технологических схем строительства, структуры календарного графика. Метод сравнения использовался при научном поиске оптимизационных алгоритмов, удовлетворяющих требованиям методов календарного планирования уникальных объектов. Метод моделирования использовался для создания модели организационно-технологической схемы строительства МФК «Лахта Центр». Метод индукции был использован при поиске способов устранения эффекта неполной оптимизации, так называемого «ресурсного замка», имевшего место в оптимизационном расчете. Метод дедукции был использован при выявлении причин, вызывающих возникновение «ресурсного замка», определении формулы расчета рейтингового коэффициента.

Степень достоверности полученных результатов обоснована применением нормативных и статистических данных на основе современных методов математического прогнозирования, моделирования и программирования; подтверждена нормативно-правовыми документами и методами, применяемыми при создании, планировании организационно-технологической документации строительных работ; точность вычислений обеспечена методами статистической обработки.

Специальность, которой соответствует диссертация. Согласно сформулированной цели научной работы, её научной новизне, установленной практической значимости диссертация Чахкиева И.М. является научным трудом, который соответствует паспорту специальности 05.23.08 – Технология и организация строительства, п. 8 «Раз-

работка новых и совершенствование существующих методов организационно-технологического проектирования», п. 9 «Разработка принципов организации строительства крупных народнохозяйственных объектов и комплексов; развитие поточных методов, сетевых и других моделей строительства; совершенствование методов календарного планирования».

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 63-й международной научно-технической конференции молодых ученых, проходившей в СПбГАСУ; 68-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов, проходившей в СПбГАСУ; 65-й международной научно-технической конференции молодых ученых, проходившей в СПбГАСУ; I международном конгрессе молодых ученых (аспирантов, докторантов) и студентов, посвященному 180-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета; 66-й международной научно-технической конференции молодых ученых, проходившей в СПбГАСУ; Евразийском научном форуме в 2013 году г. Санкт-Петербург; международной научной конференции, посвященной памяти профессора Афанасьева Виктора Алексеевича, проходившей в СПбГАСУ в 2014 году; III Международном народном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов), проходившем в СПбГАСУ в 2014 году.

В 2010 г. по теме диссертации был выигран грант СПбГАСУ в конкурсе среди студентов, подготовлен и сдан отчет о НИР.

В 2011 г. по теме диссертации был выигран грант Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга в конкурсе среди студентов, аспирантов и молодых ученых, подготовлен и сдан отчет о НИР.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 11 научных работах, общим объемом 4,77 п.л., лично автором – 3,85 п.л., в том числе 3 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 151 странице печатного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения (основные выводы), списка литературы, включающего 237 источников, в том числе 82 зарубежных и приложений на 20 с. В работе представлено 45 рисунков, 21 таблица и 55 формул.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

1.1 Особенности организации проектирования и строительства уникальных объектов и вызывающие их факторы

Предмет нашего диссертационного исследования непосредственно направлен на особую категорию строительных объектов, а именно на объекты, обладающие свойством уникальности. Поэтому, в нашей научной гипотезе, мы исходим из того, что множество факторов, вызывающих многообразие объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений уникальных объектов усложняет организацию строительства, что требует индивидуального подхода к каждому зданию и сооружению и лишает возможности разработчика организационно-технологической документации создать универсальную модель возведения объектов такого рода.

Уникальные объекты, согласно Градостроительному кодексу РФ [1], выделены в отдельный класс, и к ним отнесены особо ответственные объекты капитального строительства, для которых в проектной документации предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

- высота более чем 100 метров;
- пролеты более чем 100 метров;
- наличие консоли более чем 20 метров;
- заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 метров.

Поэтому вполне естественно, что к проектной документации, в состав которой входит и проект организации строительства, уникальных объектов предъявляются дополнительные требования. Так, например, в проектную документацию должен быть добавлен перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, мероприятий по противодействию терроризму. Вместе с этим повышенные требования к уникальным объектам предъявляются и на этапе подготовки предпроектной документации. Так, например, в соответствии с ГОСТ 27751-88 [2] и Федеральным законом №384-ФЗ [3], уникальные здания и сооружения относятся к повышенному уровню ответственности. Согласно [3] задание на выполнение инженерных изысканий для строительства зданий и

сооружений повышенного уровня ответственности может предусматривать необходимость научного сопровождения проводимых изысканий.

Также обоснование необходимости ужесточения требований к предпроектной документации уникальных высотных зданий приводится в работе [4] профессора В. Г. Диденко. В этой работе в частности приводится обоснование необходимости проведения полноценных инженерно-экологических изысканий высотных зданий еще до начала разработки градостроительных документов. Такой подход, по его мнению, дает возможность найти наиболее оптимальные стратегии застройки территории, что позволит повысить безопасность здоровья населения. Например, о достаточно большом влиянии высотных зданий на микроклимат и аэрацию городской среды было написано И. В. Дуничкиным [5]. Более глубокая проработка инженерно-экологических изысканий еще до начала разработки градостроительных документов окажет влияние на состав работ по инженерной подготовке территории. А это в свою очередь повлияет на организационно-технологическую схему работ и стоимость строительства в целом.

Поскольку уникальные объекты являются катализатором инновационных разработок, то они должны быть учтены и в процессе организационного проектирования. При возведении уникальных объектов решаются сложные инженерные задачи, которые гораздо в меньшей степени возникают при возведении типовых не уникальных объектов. Так, например, сложность высотного строительства обусловлена большим превышением высоты объекта над площадью его основания, что многократно увеличивает влияние природно-климатических факторов [6].

Особое внимание при разработке и внедрении инноваций уделяется конструкциям нулевого цикла. Связано это с тем, что эксплуатационная надежность большинства зданий и сооружений на 90% обусловлена надежностью фундаментных конструкций [7]. В работах [8, 9] А. А. Землянский и В. А. Бесекерский представили новую конструкцию анкера и сваи с преднапряжением по грунту, позволяющую управлять несущей способностью за счет изменения уровня преднапряжения. Актуальность данной конструкции в работе [7] обусловлена невозможностью моделирования деформационного поведения грунтового основания в течение всего периода безопасной эксплуатации объекта. Усугубляется задача прогнозирования деформации грунтового основания на весь период эксплуатации высокими требованиями к долговечности уникальных объектов. В соот-

ветствии с ГОСТ Р 54257-2010 [10] долговечность уникальных объектов должна быть 100 лет и более.

Также одним из основных направлений инновационных разработок является повышение эффективности несущих элементов. Под эффективностью подразумевается большая несущая способность при малых поперечных сечениях. Более эффективные несущие элементы позволяют снизить вес здания и соответственно стоимость реализации проекта. Так, например, предлагается использование строительных конструкций из трубобетона [11-13]. Данная конструкция представляет собой стальную полую трубу, заполненную бетоном. Предлагаемая комбинированная система позволяет использовать все преимущества стали и бетона при совместном использовании, что позволит уменьшить количество материала, вес конструкции и финансовые затраты на возведение здания [11]. В зависимости от типа используемых несущих элементов в каркасе здания будет выбрана та или иная технология производства работ, что в конечном итоге окажет влияние на трудоемкость, продолжительность работ, требуемое количество ресурсов типа «мощность» и состав комплекта строительных машин и механизмов.

Также ведется множество инновационных разработок в области строительных материалов, применяемых в высотном строительстве. Так, например, для повышения надежности работы конструкций из высокопрочных бетонов специалисты СПбГАСУ рекомендуют сочетать стержневое и фибровое армирование несущих конструкций [14]. Такое сочетание приводит к улучшению механических характеристик материала, в том числе способствует снижению уровня хрупкости высокопрочных бетонов. Вид используемых строительных материалов также как и тип несущих конструкций оказывает влияние на выбор той или иной технологии производства работ.

Применение большого количества инновационных разработок при возведении уникальных зданий и сооружений накладывает свою специфику не только на проектирование, но и на организацию строительства, которая должна учитывать увеличение трудозатрат, стоимости и продолжительности. Рассмотренные специфические особенности можно классифицировать следующим списком:

- необходимостью научного сопровождения проектов;
- необходимостью привлечения наиболее опытных и квалифицированных проектных и строительных организаций со всего мира;

- необходимостью разработки специальных технических условий, так как в нормативно-технической базе могут отсутствовать требования к качеству выполнения инновационных материалов и технологий;
- повышением рисков несвоевременности выполнения работ, в связи с отсутствием норм выработки по инновационным технологиям и др. особенности.

Например, на необходимость научного сопровождения проектов уникальных зданий и сооружений указывает С. В. Вавренюк в [15], где она это обосновывает на примерах возведения уникальных объектов во Владивостоке.

К уникальным зданиям и сооружениям также предъявляются повышенные требования к мониторингу возводимых конструкций, так как на них в гораздо большей степени влияют такие возмущающие факторы как температурные и ветровые колебания, односторонний солнечный нагрев и др. [16]. Так в СП 126.13330.2012 [17], СНиП 3.01.03-84 [18] и СП 11-104-97 [19] допуски величин допустимой средней осадки, крена, средней квадратичной погрешности и др. параметров уменьшаются с увеличением высоты здания. Уменьшение допусков к величине средней квадратичной погрешности при возведении высотных зданий обуславливает необходимость применения современного высокоточного геодезического оборудования [20, 21]. Качество геодезической подготовки зависит и от точности генерального плана и его масштаба [22]. Минимизировать погрешности геодезических работ, вызванные неточностью генерального плана, можно путем использования современных новейших компьютерных технологий [22]. Использование новейшего оборудования и новейших компьютерных технологий, как правило, оказывает влияние на трудоемкость производства работ. Очевидно, что изменение трудозатрат в свою очередь окажет влияние на стоимость и продолжительность производства геодезических работ.

При возведении зданий и сооружений создается деформационная геодезическая основа, позволяющая контролировать величины возникающих деформаций. Эта основа представляет собой совокупность закрепленных на местности или соседних зданиях геодезических пунктов, положение которых определено в общей для них системе координат. Их значения остаются постоянными на весь период строительства и эксплуатации здания. При возведении же высотных зданий создается деформационная высотная геодезическая основа. В состав этой основы входит: внешняя высотная основа, привязочный ход, внутренняя основа для наблюдения за деформациями контролируемого

здания, контрольная основа на монтажных горизонтах, контрольные точки для измерения отклонения от вертикали, щелевые марки [23]. Отличие состава работ деформационной высотной геодезической основы от состава работ геодезической основы не высотного здания окажет влияние на организационно-технологическую схему геодезических работ. Очевидно, что в таком случае продолжительность выполнения геодезической основы и состав используемых при этом ресурсов типа «мощность» могут подвергнуться изменению.

Также высотность здания влияет на выбор его формы и объемно-планировочных решений. В связи с тем, что на устойчивость высотных зданий огромное влияние оказывают ветровые нагрузки, проектировщики расширяют сечение здания к основанию в одном или двух направлениях. В целях снижения воздействия ветровых нагрузок на устойчивость здания прибегают к выбору наиболее эффективной в аэродинамическом отношении объемной формы здания – цилиндрической, пирамидальной или призматической [24].

Высотность здания предопределяет повышенные требования к огнестойкости конструкций. Так в соответствии с МГСН 4.19-2005 [25] огнестойкость противопожарных преград при высоте здания до 100 м – 3 часа, при высоте более 100 м – 4 часа. Таким образом, обеспечение пожарной безопасности высотных зданий является важной задачей для проектировщиков. С этой целью создаются противопожарные отсеки по вертикали и горизонтали здания. По вертикали здание делится на пожарные отсеки противопожарными перекрытиями, а по горизонтали – противопожарными стенами.

На объемно-планировочные решения высотных зданий также оказывают влияние повышенные нормативные требования к максимальному горизонтальному перемещению верха здания. Для обеспечения совместной работы всех вертикальных конструкций и как следствие уменьшения максимальных горизонтальных перемещений здания устраиваются горизонтальные жесткие конструкции (ростверки). Для устройства ростверковых конструкций, как правило, выделяют целые этажи, которые впоследствии становятся техническими. Для экономии полезной площади здания проектировщики стремятся объединять в технических этажах ростверковые конструкции с инженерным оборудованием, устройством пожарных отсеков, а также границами лифтового обслуживания. Очевидно, что высотность здания влияет и на продолжительность строительных процессов и это влияние в общем случае будет нелинейным.

Помимо приведенных особенностей высотных зданий на объемно-планировочные решения также влияет и функциональное назначение здания: офисная, гостиничная, многофункциональная, жилая. Выбор того или иного функционального назначения здания определяет индивидуальные особенности объемно-планировочных решений.

На организационно-технологические решения также влияет заглубленность зданий. Заглубление подземной части уникальных объектов на глубину более 15 метров предполагает устройство ограждающих конструкций разрабатываемого котлована, позволяющих укрепить вертикальные стенки. Такие конструкции могут быть выполнены следующими методами: метод «Стена в грунте», погружение шпунта, устройство различных распорных систем и др. Заглубленный котлован требует дополнительных мероприятий по водоотведению. Такими мероприятиями могут быть: использование в ограждающей монолитной конструкции котлована, выполненной методом «стена в грунте», бетона с высоким классом по водонепроницаемости, устройство различных противofiltrационных завес, откачка воды при помощи иглофильтров, герметизация стыков шпунтового ограждения, устройство кольцевых дренажных систем и др.

Все мероприятия, проводимые для зданий и сооружений с заглублением подземной части на глубину более 15 метров актуальны и для высотных зданий. Связано это с тем, что фундаменты высотных зданий, как правило, являются массивными конструкциями и это обуславливает необходимость разработки глубоких котлованов и выполнение всех сопутствующих технологических мероприятий. Так, например, при возведении 35-ти этажного жилого комплекса на проспекте Обуховской обороны в Санкт-Петербурге котлован под здание был отделен двумя шпунтовыми ограждениями с устройством системы дренажа и водоотведения [26].

Конструкции фундаментов высотных зданий разнообразны и сложны [27]. Так в плотных грунтах может быть запроектирована сплошная железобетонная плита на упруго-пластичном основании или пространственная коробка в несколько этажей, а при слабых грунтах – опускные колодцы, опоры глубокого заложения, набивные кессоны и стенки, а также свайные ростверки с буронабивными и забивными сваями, опирающимися на прочное основание. Вид того или иного типа фундамента зависит не только от характеристик грунтов основания, но и от конструктивной схемы здания, наличия стесненных условий городской застройки и др. Профессором Г. К. Хайдуковым [28] был

проведен анализ опыта высотного строительства и определены некоторые общие соображения применения того или иного типа фундаментов:

- для зданий со стальным каркасом и малым количеством колонн выполнялись фундаменты в виде опускных колодцев с заполнением бетоном и заглублением до прочного грунта;
- для зданий со значительным количеством колонн каркаса и относительно плотном грунтовом основании выполняется железобетонный коробчатый многоярусный фундамент;
- для зданий с железобетонным каркасом распространено выполнение толстой железобетонной плиты на упруго-пластичном основании, заглубленном не менее 10-15 метров;
- для зданий, возводимых в стесненных условиях городской застройки, котлованы под фундаменты ограждаются стенкой из опускных набивных колодцев и буронабивных свай.

Каждый из этих типов фундамента предопределяет индивидуальную организационно-технологическую схему его выполнения.

Конструкции надземной части высотных зданий имеют свою специфику обусловленную пропорциями конструкций, их размерами и формами, применяемыми материалами и конструктивной системой в целом. Горизонтальные несущие конструкции высотных зданий представляют собой жесткий несгораемый диск из железобетона, либо сталежелезобетона. Для конструкций плит перекрытия высотных зданий наиболее характерны следующие типы: монолитные железобетонные плиты по стальным балкам, в том числе с профилированным листом, выполняющим функцию нижней арматуры и несъемной опалубки, монолитные железобетонные плиты безбалочные, в том числе преднапряженные, сборно-монолитные, сборные, в том числе преднапряженные, сборные железобетонные плиты по стальным балкам. Выбор того или иного типа конструктивного решения плиты перекрытия определяет технологию выполнения работ и организационно-технологическую схему строительства.

Вертикальные несущие конструкции обладают большим разнообразием. Существуют стержневые несущие конструкции, плоскостные, внутренние объемно-пространственные стержни с полым сечением на высоту здания (стволы жесткости), объемно-пространственные наружные конструкции на высоту здания в виде тонкостен-

ной оболочки замкнутого сечения [29-34]. В зависимости от применяемых вертикальных несущих конструкций различают четыре основные конструктивные схемы высотных зданий: каркасную, стеновую, ствольную, оболочковую, комбинированную [24, 35].

Выбранная конструктивная схема высотного здания будет влиять на организационные решения высотного строительства [36]. Так, например, применение каркасно-ствольной конструктивной системы с наружными металлическими колоннами обусловит необходимость применения грузоподъемных кранов высокой мощности. Как правило, наружные колонны в каркасно-ствольной системе являются достаточно массивными конструкциями, что приводит к необходимости использования самой передовой и мощной грузоподъемной техники. Также каркасно-ствольная конструктивная система позволяет использовать внутреннее пространство ствола, которое является ядром жесткости здания, для размещения высотных кранов: самоподъемных, ползучих, либо приставных [37, 38].

Наиболее распространенными материалами в несущих конструкциях высотных зданий являются металл, железобетон и сталебетон [39, 40]. Применение железобетона в несущих конструкциях высотных зданий было обусловлено следующими факторами: появлением высокопрочных бетонных смесей (прочность 60 и более МПа) и высокопрочной арматурной стали, совершенствованием технологии производства бетонных работ и опалубочных систем и многих других. До открытия высокопрочных бетонов каркас высотных зданий возводился преимущественно из металлических конструкций [28]. Высокопрочные бетоны обладают множеством достоинств, что и предопределило их распространение в высотном строительстве. К таким достоинствам можно отнести: высокие прочностные показатели, высокое абразивное сопротивление, коррозионная стойкость, долговечность, износостойкость, меньшая усадка при твердении, чем у обычных бетонов [28, 41]. По всем перечисленным показателям высокопрочный бетон превосходит обычный. Организация строительства при использовании высокопрочных бетонов также отличается от организации строительства при использовании обычных бетонов. Вызвано это следующими свойствами высокопрочных бетонов: большая подвижность бетона, более медленное высыхание, отсутствие усадочных трещин, осадка конуса больше чем у обычного бетона, твердение происходит при температуре от 20 до 50 С⁰ [28]. Так большая подвижность бетона снижает требуемое количество времени на его уплотнение, а большая температура твердения требует дополнительных мероприя-

тий по уходу за бетоном. Перечисленные свойства высокопрочных бетонов в значительной степени зависят и от различных добавок, вводимых в бетонную смесь.

При возведении уникальных объектов распространение также получили самоуплотняющиеся бетоны, позволяющие сократить сроки строительства, что для уникальных объектов является весьма актуальной задачей [15]. Уникальные объекты из-за своей массивности являются весьма трудоемкими, тем самым требуют большого количества времени на их возведение. Самоуплотняющийся бетон позволяет сократить время строительства за счет сокращения технологических операций. Благодаря большой подвижности этого бетона отпадает потребность в его вибрировании при укладке. Такое достоинство самоуплотняющегося бетона позволяет использовать его в густоармированных и других труднодоступных для вибрирования конструкциях.

Использование монолитного железобетона, в том числе высокопрочного, в несущих конструкциях уникальных объектов, массивность этих конструкций, свойства бетонной смеси, а именно ограниченная во времени «живучесть» и многие другие факторы приводят к необходимости организации бесперебойной и быстрой доставки товарного бетона на строительный участок. Для достижения этой цели на строительных участках целесообразна организация мобильных бетонных заводов, что предложено в работе Л. М. Колчеданцева и И. Г. Осипенковой [42].

Наличие бетонных заводов непосредственно на строительном участке необходимо учитывать при организации строительства. Так, например, в соответствии с СанПиН 2.2.3.1384-03 [43] санитарно-бытовые помещения рабочих должны располагаться на расстоянии не ближе 50 метров от этих заводов и при этом целесообразно размещение этих помещений с наветренной стороны от заводов.

Также особенностью строительства высотных зданий и сооружений является разнообразие применяемых опалубочных систем. Так, помимо наиболее распространенной инвентарной разборно-переставной опалубки, применяются инвентарная подъемно-переставная, скользящая и несъемная опалубки [44]. Несъемную опалубку используют в основном при устройстве горизонтальных несущих конструкций. В качестве несъемной опалубки выступает металлический профилированный лист, который одновременно является и нижней арматурой устраиваемой конструкции. Инвентарную подъемно-переставную опалубку используют в основном для возведения высотных зданий и сооружений с переменным поперечным сечением. При возведении высотных зданий и со-

оружий как прямоугольных, так и круглых с вертикальными стенками, используют скользящую опалубку. Каждому виду опалубки свойственна индивидуальная технология сборки и разборки и механизмы для ее перестановки с одного яруса на другой.

При строительстве высотных зданий и сооружений необходимо уделить особое внимание комплекту применяемых строительных машин и механизмов. Так высотность зданий и сооружений диктует требования к использованию производительных грузопассажирских подъемников. А для вертикальной транспортировки бетонных смесей при устройстве монолитных железобетонных конструкций необходимо использовать мощные бетонные насосы и распределительные стрелы. Как правило, используются стационарные бетонные насосы, так как автомобильные имеют относительно небольшую максимальную высоту подъема бетонной смеси. Однако это не означает полного исключения работы автомобильных бетонных насосов при возведении высотных зданий и сооружений. Их применение целесообразно при бетонировании конструкций на относительно небольшой высоте, так как обслуживание таких насосов менее трудоемко, нежели обслуживание стационарных. Использование распределительных стрел, к которым бетон подается посредством стационарных бетонных насосов, позволяет осуществлять горизонтальную транспортировку бетона к труднодоступным местам. Также из-за большого объема используемых строительных материалов на 1 м^2 пятна застройки [45] и высоты здания увеличивается и потребность в производительности грузоподъемных кранов и их количестве. Увеличение количества грузоподъемной техники требует тщательной проработки решений по организации безопасной работы этой техники.

Таким образом, на наш взгляд считаем обоснованным следующее, ранее приведенное утверждение. Множество факторов, вызывающих многообразие объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений уникальных объектов усложняет организацию строительства, что требует индивидуального подхода к каждому зданию и сооружению и лишает возможности разработчика организационно-технологической документации создать универсальную модель возведения объектов такого рода.

1.2 Обзор методологии современного календарного планирования и определения нормативно-директивных сроков строительства

Известно, что в организации строительства существуют ряд методов расчета расписаний работ, к которым относятся последовательный, параллельный и поточный методы. Эти методы отличаются друг от друга по степени совмещения работ. При нулевом совмещении работ имеет место последовательный метод [46]. В последовательном методе в отдельный момент времени выполняется только одна работа. При параллельном методе закладывается максимальное совмещение работ. К недостаткам последовательного метода относят максимальную продолжительность строительства, а к достоинствам – минимальное использование ресурсов. При параллельном методе все с точностью наоборот, достигается минимальная продолжительность строительства, но потребление ресурсов больше, чем при последовательном методе.

Поточный метод сохраняет преимущества последовательного и параллельного методов производства работ и при этом позволяет избежать их недостатков. В связи с этим именно поточный метод организации работ получил наибольшее распространение в строительной отрасли.

Считается, что в своем классическом варианте поточный метод организации строительства обеспечивает планомерный и ритмичный выпуск готовой строительной продукции (законченных зданий, сооружений, видов работ и т.п.) на основе непрерывной и равномерной работы трудовых коллективов (бригад, потоков) неизменного состава, снабженных своевременной и комплектной поставкой всех необходимых материально-технических ресурсов [47, 48].

Теория и практика поточной организации работ начала развиваться в мире с 1930-х годов [46], а на сегодняшний день в поточной организации строительства можно выделить множество различных методов [49-51]:

- с непрерывным использованием ресурсов (НИР);
- с непрерывным освоением фронтов (НОФ);
- метод критического пути (МКП);
- с организацией работ по турам;
- с непрерывным выполнением одноранговых работ и многие другие.

Первые потоки формировались как ритмичные с непрерывным использованием специализированных бригад. Для формирования таких потоков требовалось одинаковое

распределение объемов работ по всем частным фронтам и равная производительность всех специализированных бригад. Но в связи с тем, что в строительстве уникальных объектов имеет место неравномерное распределение объемов работ по частным фронтам и разная производительность специализированных бригад, то необходимо рассмотреть неритмичные потоки с непрерывным использованием ресурсов; непрерывным освоением фронтов; с критическими работами и путями.

В историческом плане, одним из первых исследователей неритмичных потоков с непрерывным использованием ресурсов является В. В. Чихачев, предложивший в 1946 году графический метод расчета расписания работ. Графический метод представлял собой вычерчивание в виде циклограмм в системе ордината фронт работ (ОФР) частных потоков в едином масштабе с наличием предельного сближения каждого последующего потока к предыдущему. Такое сближение означает одновременное завершение предшествующей работы на каком-либо частном фронте и начала на нем последующей (по виду) работы.

Помимо графического метода расчета расписаний работ существует и матричный. Его суть заключается в том, что строительные потоки моделируются в виде матрицы, размерностью $m \times n$ (где m – число частных фронтов работ, а n – число видов работ), в которой и производят расчет. Каждая ячейка матрицы моделирует выполнение работы i -го вида работ на j -м частном фронте. В центре ячейки проставляется продолжительность выполнения работы. Начала и окончания работ проставляются в углах ячейки. Матрицы в зависимости от метода поточной организации работ могут быть разного вида: ордината вид работ (ОВР), ОФР, ордината вид работ фронт работ (ОВФР), ордината фронта работ вид работ (ОФВР). Так, например, при поточной организации работ с непрерывным использованием ресурсов расчет расписания работ производится в матрицах вида ОФР. На рис. 1.1 представлена такая матрица размерностью 4×4 .

ОФР	А	Б	В	Г
I	5	2	8	5
II	3	4	5	6
III	2	6	4	7
IV	5	3	3	5

*Рисунок 1.1 – Матрица размерностью 4×4
АБВГ – виды работ, I II III IV – частные фронты*

В 1981 году В. М. Путинцевой [52] были предложены сложные матрицы, позволяющие проводить более сложные расчеты поточной организации строительства. Так,

например, каждая ячейка в сложной матрице отображает следующую информацию: продолжительность выполнения работы, общий резерв работы, ранние и поздние сроки выполнения работ. Также сложные матрицы позволяют учесть условия строительства, которые трудно учесть в более простых матрицах. К таким условиям относятся: совмещенность выполнения некоторых видов работ, параллельное выполнение работ на различных частных фронтах, отсутствие некоторых фронтальных и ресурсных связей. Поэтому, на наш взгляд, сложные матрицы представляют наибольший интерес для моделирования расписаний работ для уникальных объектов. Конструкция этих матриц может быть использована для универсального представления исходных данных организационно-технологических схем строительства уникальных объектов. На рисунке 1.2 изображен пример сложной матрицы. На изображенной матрице видно, что работа вида «Б» выполняется только на трех частных фронтах, а работа «А IV» связана фронтальной связью с работой «В IV». В случае выполнения работы «Б» на всех фронтах фронтальной связью были бы связаны работы «А IV» и «Б IV».

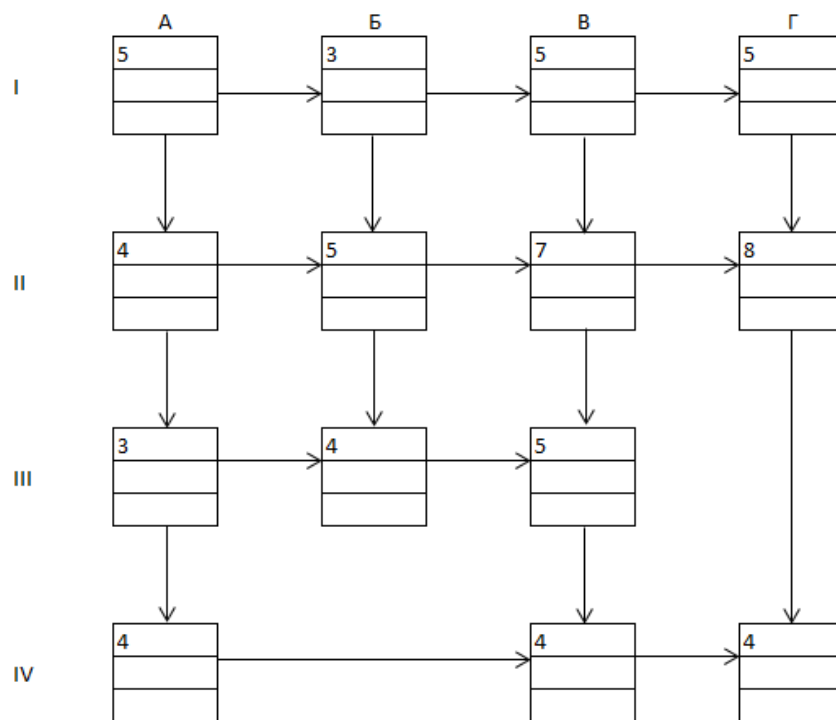


Рисунок 1.2 – Пример сложной матрицы

Помимо циклограмм и матриц существуют и другие формы моделирования строительных потоков. Наиболее распространенными из них являются: линейный график Ганта и сетевой график. Линейный график, предложенный Г. Л. Гантом в конце XIX века, является первой попыткой моделирования процессов строительного производства. Затем в 1925 году были предложены сетевые графики А. А. Эрасмусом, но ши-

рокое распространение они получили только во второй половине XX века. Циклограммы же были предложены в 1930-х годах М. С. Будниковым.

Линейные графики на сегодняшний день получили самое широкое распространение в строительной отрасли, в виду своей простоты и наглядности. Однако такие графики не отображают разделения общего фронта работ на частные, и соответственно ресурсные связи. С этой задачей легко справляются сетевые графики, но при большом количестве видов работ и частных фронтов они становятся весьма трудоемкими для разработки и анализа. Поэтому можно предположить, что для моделирования строительных процессов уникальных объектов, сопровождающихся большим количеством видов работ и частных фронтов более целесообразно применение линейных графиков Ганта.

В 1957 году к известным методам формирования и расчета потоков добавился МКП. Именно разработка МКП привела к широкому распространению сетевых графиков [53]. МКП был разработан коллективом Remington Rand, возглавляемым Дж. Е. Келли и М. Р. Уолкером. В основу метода была положена теория графов. МКП заключается в определении наиболее длительной последовательности задач, не имеющей резервов времени. Такая последовательность называется критическим путем, а работы, лежащие на этом пути критическими работами. Следует заметить, что МКП не обеспечивает непрерывность использования ресурсов, за что и подвергался критике в работах Дж. С. Биррелла (G. S. Birrell), [54] С. Селинджера (S. Selinger) [55], Д. П. Каванажа (D. P. Kavanagh) [56], Р. М. Реда (R. M. Reda) [57], А. Д. Рассела (A. D. Russell) и В. С. М. Вонга (W. C. M. Wong) [58]. На основе неритмичных потоков с непрерывным использованием ресурсов был разработан ряд методов планирования такими учеными как С. Селинджер (S. Selinger) в 1980 [55], Д. В. Джонстон (D. W. Johnston) в 1981 [59], Д. Ардити (D. Arditi) и М. З. Абдулак (M. Z. Albulak) в 1986 [60], Э. Н. Кржановский (E. N. Jr. Chrzanowski) и Д. В. Джонстон (D. W. Johnston) в 1986 [61], А. Д. Рассел (A. D. Russell) и В. Ф. Касселтон (W. F. Caselton) в 1988 [62], З. М. Аль Сараж (Z. M. Al Sarraj) в 1990 [63], Х. Эль Райес (K. El-Rayes) и О. Моселхи (O. Moselhi) в 1998 [64]. Актуальность таких методов заключалась в наличии следующего эффекта. Обеспечение бесперебойной работы бригады приводило к увеличению ее производительности, вызванной накоплением опыта у членов бригады, и минимизацией простоев [54, 65]. Однако, несмотря на кажущиеся преимущества обеспечения непрерывности работы бригад, строгое соблюдение может привести к увеличению общей продолжительности проекта.

Селинджер в 1980 году [55] предположил, что нарушение непрерывности использования ресурсов путем растяжения ресурсных связей, может уменьшить общую продолжительность проекта. Также этот эффект был подтвержден Х. Эль Райес (K. El-Rayes) и О. Моселхи (O. Moselhi) в 2001 году в работе [66].

В 1982 году А. В. Афанасьевым поточные методы организации работ были дополнены организацией работ с непрерывным выполнением последующих по виду и по фронту одноранговых работ [67]. Потоки с непрерывным выполнением последующих по видам одноранговых работ имеют нулевые растяжения прямых конечно-начальных и обратных начально-конечных ранговых связей, при этом прямые конечно-начальные ресурсные и фронтальные связи должны быть минимальными. Расчет расписаний работ таких потоков производится в матрицах вида ОФР. Потоки с непрерывным выполнением последующих по фронту одноранговых работ имеют нулевые растяжения обратных конечно-начальных и прямых начально-конечных ранговых связей. При этом прямые конечно-начальные ресурсные и фронтальные связи должны быть минимальными. Расчет также производится в матрицах вида ОФР.

Также в 1982 году были предложены первые рекомендации по развитию параллельно-поточных методов. Такие потоки допускают одновременное выполнение работ одного вида несколькими бригадами (на разных частных фронтах). Первые рекомендации были предложены В. Г. Драпенко [68], Е. А. Драчевым и Г. В. Крыловым [69], Е. Р. Ворониной [70].

Проведенный обзор методологии современного календарного планирования не выявил наличия в научно-технической литературе особых методов календарного планирования, ориентированных на уникальные объекты. Поэтому можно заключить, что выделение уникальных объектов Градостроительным кодексом РФ в отдельный класс не привело к появлению аналогичного класса в методах календарного планирования. Как было сказано ранее, уникальным объектам присущи индивидуальные особенности проектирования и строительства, которые необходимо учитывать при календарном планировании. Так, например, повышенные риски несвоевременности выполнения строительно-монтажных работ при возведении уникальных объектов в условиях недостаточной информации или полном ее отсутствии обуславливают необходимость учета этих рисков. Учет таких рисков приводит к получению более реалистичных сроков строительства. Еще одной особенностью, о которой речь пойдет далее, является отсутствие требо-

ваний в актуальной на сегодняшний день нормативно-технической литературе к срокам строительства уникальных объектов. В связи с этим возникает необходимость разработки таких методов календарного планирования, которые будут ориентированы на уникальные объекты, что должно привести к комплексному учету их индивидуальных особенностей.

Одним из основных технико-экономических показателей календарного плана является продолжительность строительства. С помощью этого показателя производится сравнение различных вариантов календарных планов и оценивается их эффективность.

В строительстве при подготовке проектной документации, продолжительность строительства задается либо директивно заказчиком (в этом случае в проекте предусматриваются условия и ресурсы, при которых директивная продолжительность обеспечивается) [71] либо определяется расчетом с использованием СНиП 1.04.03-85* [72] или МДС 12-43.2008 [73]. Расчетом с использованием выше указанных нормативных документов, можно определить продолжительность строительства большинства объектов и сооружений. Уникальные, опасные, технически сложные и другие аналогичные объекты подлежат государственной экспертизе проектной документации на федеральном уровне [74]. Для получения положительного заключения государственной экспертизы, проводимой на федеральном уровне, к организационно-технологической документации предъявляются повышенные требования, а именно, необходимость учета сложных организационно-технологических схем и дополнительного обоснования директивной продолжительности строительства. Дело в том, что продолжительность строительства уникальных и технически сложных объектов вышеуказанными нормативным и документами не нормируется. Если и удастся найти объект аналог то, как правило, источником информации являются ненормативные документы и применение продолжительности строительства объекта аналога к проектируемому объекту в чистом виде не всегда возможно из-за большого количества факторов, помимо архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных особенностей, влияющих на сроки производства работ. К таким факторам следует отнести: природно-климатические особенности региона строительства, размеры площадки строительства, условия доставки строительных материалов, коэффициент использования участка строительства, ограничения по охране окружающей среды и уровню допустимого шума и т. д.

В связи с этим продолжительность строительства уникальных объектов может быть задана только директивно. При этом вполне вероятно и возникновение такой ситуации, когда директивная продолжительность строительства как-то определена, а вот «подогнать» под нее календарный график строительства уникального объекта становится довольно-таки сложной задачей, а в отдельных случаях и вообще не разрешимой. Альтернативой «подгонки» календарного графика под не обоснованную директивную продолжительность строительства является определение этой продолжительности при помощи оптимизационного расчета. В этом случае при разработке календарных графиков уникальных объектов необходимо применять методы календарного планирования, в основе которых лежат оптимизационные алгоритмы.

Для проведения оптимизационного расчета необходимо определить качественные и количественные характеристики организационно-технологической схемы строительства. К таким характеристикам относятся: номенклатура работ, объемы и трудоемкости работ, связи между работами, захватки, количество трудовых ресурсов, необходимых для завершения строительства в намечаемый срок по каждому виду работ и т.д.

При этом необходимо заметить, что в связи с заинтересованностью лиц, участвующих в инвестиционных строительных проектах, в снижении затрат на реализацию проекта, подбор минимально необходимого количества трудовых ресурсов для завершения строительства точно в срок является важной задачей. Таким образом, ресурсные задачи, ориентированные на минимизацию используемых ресурсов являются актуальными. Ресурсными называются задачи, в которых требуется определить количество трудовых и машинных ресурсов при известной общей продолжительности строительства и объемах работ [75].

Особо актуальной становится задача подбора необходимого количества трудовых ресурсов при отсутствии данных о сметной стоимости строительства. Связано это с тем, что, зная сметную стоимость и директивные сроки строительства, можно подобрать необходимое количество рабочих по средней выработке на одного рабочего в год. Но эти данные будут укрупненными и не дающими гарантий, что определено оптимальное количество трудовых ресурсов.

Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод. Продолжительность строительства уникальных объектов может быть задана только директивно. Определение обоснованной директивной продолжительности строительства уникальных объектов

возможно путем проведения оптимизационного расчета. Задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов административным способом без использования научно обоснованного метода ведет к определению неоптимальной длительности строительства, а также к определению такой длительности, которая выходит за рамки допустимых пределов. В связи с этим весьма актуальной становится задача разработки научно обоснованного практического метода определения директивной продолжительности строительства уникальных объектов.

1.3 Возможности современных автоматизированных методов календарного планирования в организации строительства уникальных зданий и сооружений

В настоящее время для автоматизации управления строительными проектами используется ряд компьютерных программ, например, *Primavera* [76], *Open Plan* [77], *Microsoft Project* (MP) [78] и др. На сегодняшний день среди существующих программ управления проектами наиболее распространенной в нашей стране является *Microsoft Project* [79]. К достоинствам данной программы следует отнести: доступность, простоту работы, возможность создания и редактирования отдельных пользовательских полей, совместимость с другими продуктами Microsoft Office, встроенный язык программирования Visual Basic for Application.

Все перечисленные программы позволяют выполнять основные функции и процессы управления проектами, в том числе разрабатывать календарные планы производства работ и осуществлять контроль за ходом их выполнения в диалоговом режиме. Контроль за ходом выполнения календарного плана производства работ в программах управления проектами осуществляется в три этапа [79-80]:

1. Отслеживание – реализация в программах управления проектами осуществляется путем ввода информации о фактическом выполнении работ в соответствующие поля.
2. Анализ – программы управления проектами позволяют сократить трудоемкость данного этапа путем автоматизации процесса получения наглядной информации о фактических показателях выполняемых работ в виде различных таблиц и графиков.
3. Корректировка – в результате проведения анализа оценки текущего состояния работ и выработке действий по устранению негативного воздействия от возникших отклонений осуществляется корректировка плановых показателей выполнения работ. Также

как и в предыдущих этапах в программах управления проектами снижается трудоемкость на выполнение данного этапа путем автоматизации расчета расписания работ, вызванного изменениями плановых показателей работ.

Функция контроля за ходом выполнения работ календарного плана является весьма актуальной при проектировании уникальных объектов. Связано это с тем, что стоимость возведения уникальных объектов, как правило, велика, а значит, любые отклонения в сроках строительства будут вызывать значительное удорожание стоимости реализации проекта. Данная функция позволяет своевременно регистрировать возникающие отклонения показателей выполняемых работ и вносить необходимые корректировки, что способствует снижению негативных последствий от таких отклонений.

Получению более адекватных реальным условиям сроков строительства способствует стохастическое календарное планирование. В современных программах управления проектами интегрированы инструменты, позволяющие использовать различные методы вероятностного сетевого планирования. К наиболее распространенным методам такого планирования можно отнести [76]:

- Метод оценки и анализа программ (Program Evaluation and Review Technique – PERT) – суть метода заключается в оценке средней продолжительности строительства, основанной на бета распределении трех значений продолжительностей: оптимистической, пессимистической и ожидаемой. Средняя продолжительность определяется по следующей формуле:

$$\bar{t} = \frac{t_o \times w_o + t_p \times w_p + t_{ож} \times w_{ож}}{6}; w_o + w_p + w_{ож} = 6 \quad (1.1)$$

Где: t_o , t_p , $t_{ож}$ – оптимистическая, пессимистическая, ожидаемая продолжительности работ (определяются экспертно); w_o , w_p , $w_{ож}$ – соответствующие продолжительностям работ весовые коэффициенты (определяются экспертно), сумма этих коэффициентов равна 6.

- Метод статистических испытаний, или метод Монте-Карло – основан на получении большого количества различных реализаций рассматриваемого календарного плана. В программах управления проектами реализуется при помощи интегрированному в них оператору «генератор случайных чисел».
- Метод графической оценки и анализа (Graphical Evaluation and Review Technique – GERT) – оценка продолжительности работы может быть произведена на основании продолжительностей нескольких предшествующих работ, при этом выполнение этих работ

носит вероятностный характер. Данный метод стохастического планирования относится к альтернативным, т.е. методам, в которых помимо продолжительностей работ, вероятностный характер носят и связи между работами, а также само выполнение этих работ.

Реализация методов вероятностного планирования в различных программах управления проектами отличается друг от друга. Так, например, в МР при реализации метода PERT стандартным инструментарием отсутствует возможность задания индивидуальных весовых коэффициентов продолжительностей работ (оптимистической, пессимистической и ожидаемой) каждому виду работ, что также было отмечено в работе [81]. В *Primavera* [76] же такая возможность присутствует.

При проектировании уникальных объектов интегрирование вероятностных методов календарного планирования в программы управления проектами является весьма актуальным. Связано это с тем, что возведение таких объектов, как правило, сопряжено с использованием большого количества инновационных разработок, увеличивающих неопределенность продолжительностей выполнения работ.

Рассмотрим алгоритм расчета расписания работ, заложенный в программах управления проектами. Для расчета календарных графиков в этих программах используется метод критического пути, на основании которого общая продолжительность строительства определяется введенными пользователем продолжительностями отдельных работ и их топологией, которые в совокупности определяют ОТС строительства [82]. Однако при использовании стандартного компьютерного инструментария пользователь должен в интерактивном режиме изменять многочисленные характеристики вводимых задач, чтобы достигнуть соответствия планируемой и директивной продолжительности. Одной из главных характеристик вводимых задач, определяющей их продолжительность, является потребное количество ресурсов типа «мощность». При достаточной величине объекта и детализации календарного графика, что сопровождается большим количеством видов работ и захваток, такой метод подбора необходимого количества трудовых ресурсов становится весьма трудоемким, а в случае, когда директивные сроки установлены слишком сжатыми, вообще невозможным. Следует заметить, что такой способ определения необходимого количества трудовых ресурсов является эвристическим и не включает в себя математического обоснования. Творческий характер этого процесса обусловлен множеством возможных окончательных вариантов загрузки ресурсами по каждому виду работ. Это приводит к отсутствию гарантий нахождения наиболее опти-

мального количества трудовых ресурсов. Таким образом, возникает существенная необходимость в разработке алгоритма, позволяющего автоматизировать данный процесс и, используя математический аппарат, получить обоснованные результаты.

Проанализировав инструментарий наиболее распространенных программ управления проектами можно сделать следующий вывод. Для проведения оптимизационных расчетов директивной продолжительности строительства уникальных объектов, готовых решений среди стандартного инструментария программ управления проектами нет.

Как было отмечено ранее, в МР встроена функция программирования, которая позволяет совместно с функцией создания и редактирования пользовательских полей добиться большой гибкости программы, что приводит к увеличению области ее применения. Благодаря этим функциям появляется возможность написания различных оптимизационных алгоритмов календарного планирования, в том числе ориентированных на уникальные объекты.

1.4 Оптимизация организационно-технологических параметров в процессе календарного планирования

Основными организационно-технологическими параметрами календарного планирования являются: продолжительность строительства, стоимость реализации строительного проекта, загрузка ресурсами типа «мощность». Все эти параметры могут использоваться в качестве критериев оптимизации календарных планов. В научно-технической литературе встречаются и такие организационно-технологические параметры календарного планирования как продолжительность простоев в работе исполнителей и величина суммы штрафных санкций за отклонения от плановых сроков выполнения работ [83-87]. Эти параметры также могут использоваться в качестве критериев оптимизации календарных планов.

Проведем анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы на предмет поиска существующих оптимизационных расчетов, их особенностей и применимости для определения директивной продолжительности строительства уникальных объектов.

Среди оптимизационных методов календарного планирования можно выделить три основные группы в зависимости от критерия оптимизации: оптимизация продолжи-

тельности строительства, оптимизация стоимости строительства и оптимизация количества ресурсов типа «мощность».

Рассмотрим существующие методы оптимизации календарного планирования по критерию минимизации продолжительности строительства.

В неритмичных потоках оптимизация продолжительности строительства возможна за счет изменения очередности освоения частных фронтов работ. Влияние очередности освоения фронтов работ на продолжительность строительства увеличивается с увеличением степени неритмичности потоков. При нахождении рациональной очередности строительства продолжительность, как правило, уменьшается. Но при большом количестве фронтов работ найти рациональную очередность методом сплошного перебора вручную практически невозможно. Связано это с тем, что количество вариантов очередностей будет равно факториалу от количества фронтов работ. Даже при небольшом количестве фронтов работ равным 10 количество вариантов будет равно 3 628 800. Поэтому для эффективного применения данного способа оптимизации необходимо использование автоматизированных систем, которые способны перебирать большое количество фронтов работ и находить рациональную очередность освоения. Автоматизированные системы должны использовать математический аппарат, позволяющий получить обоснованные данные. Также проблему трудоемкости сплошного перебора можно решить разработкой алгоритмов направленного перебора, сокращающих количество перебираемых вариантов.

Первым кто предложил математически обоснованный алгоритм направленного перебора очередностей освоения фронтов был С. Джонсон в 1954 году. Цель алгоритма заключалась в минимизации периода развертывания, что вело к сокращению общей продолжительности строительства. Минимизация периода развертывания достигается за счет изменения очередности освоения фронтов работ. Фронты работ первого вида располагаются по возрастанию продолжительности строительства, а фронты последующей работы по убыванию продолжительности строительства. Но этот алгоритм применим лишь при поточной организации работ с непрерывным использованием ресурсов при двух видах работ и с большими ограничениями при трех видах работ. В связи с тем, что в строительстве редко встречаются объекты, состоящие из двух и трех видов работ, данный алгоритм имеет очень малую область применения и имеет больше теоретическую значимость.

Затем В. А. Афанасьевым [88] и В. П. Хибухиным совместно с В. З. Величкиным и В. И. Втюриным [89] были разработаны алгоритмы направленного перебора очередностей освоения частных фронтов применимые ко всем разновидностям организации работ. В составе алгоритма В. А. Афанасьева включен алгоритм Джонсона. Эти алгоритмы являются математически обоснованными и используют известный в математике метод «ветвей и границ». В процессе выполнения алгоритма строится «дерево целей». При построении дерева целей ведется перебор очередностей освоения фронтов работ и каждому варианту соответствует определенная ветвь. Ветви сравниваются по критерию предельно возможного минимума продолжительности (ПВМП) комплекса работ для того, чтобы предотвратить дальнейшее развитие неперспективных направлений и тем самым снизить трудоемкость оптимизационного расчета. Ветви, имеющие наименьшую величину ПВМП, признаются перспективными и развиваются дальше, т.е. продолжается перебор очередностей фронтов работ по данной ветви. Ветви же, в которых значение ПВМП больше остальных признаются неперспективными и не развиваются дальше.

За рубежом оптимизацией календарных планов по продолжительности строительства занимались М. Ханда (M. Handa) с Р. М. Барсия (R. M. Barcia) [90], Дж. Грабовский (J. Grabowski) с М. Водецкий (M. Wodecki) [91], А. М. А. Харири (A. M. A. Hariri) с С. Н. Поттс (C. N. Potts) [92], С. Хасижа (S. Hasija) с С. Ражендран (C. Rajendran) [93] и многие другие ученые в своих работах [94-118]. М. Ханда (M. Handa) и Р. М. Барсия (R. M. Barcia) [90] оптимизировали продолжительность равноритмичных потоков с непрерывным использованием ресурсов и выполнением работ каждого вида только одной бригадой. А. М. Харири (A. M. A. Hariri) и С. Н. Поттс (C. N. Potts) [92], С. С. Чанг (C.-S. Chung) совместно с Дж. Флинн (J. Flynn) и О. Кирка (Ö. Kirca) [95], Дж. Скаллер (J. Schaller) [96], Т. Сен (T. Sen) с соавторами [97], Я. Ким (Y. Kim) [98] и другие ученые [99, 100] использовали метод ветвей и границ для определения оптимальной очередности потоков, что приводило к минимизации простоев и сокращению сроков производства работ.

Необходимо заметить, что оптимизация календарных планов по критерию минимизации продолжительности строительства путем определения оптимальной очередности освоения фронтов работ имеет свои ограничения. Так, при возведении уникальных объектов, в виду организационно-технологических особенностей, очередность освоения

фронтов работ может быть фиксирована. Особенно это характерно для высотных зданий и сооружений.

Еще одним ограничением является и то, что такой метод оптимизации предполагает достаточное количество исходной информации, а именно продолжительность выполнения работ на каждом фронте. Для получения этой информации необходимо, чтобы в условиях оптимизационной задачи были заданы фиксированные по количественному составу бригады в каждом виде работ. Как было сказано ранее, продолжительность строительства уникальных объектов может быть задана только директивно, а это значит, что на начальном этапе календарного планирования она является неизвестной величиной. В связи с этим и количественный состав бригад по каждому виду работ на начальном этапе календарного планирования уникальных объектов также является неизвестным, так как отсутствие величины директивной продолжительности делает невозможным решение ресурсной задачи. Эти ограничения затрудняют применение такого метода оптимизации календарного планирования для уникальных объектов.

Также в работах С. Селинджера (S. Selinger) [55], А. Д. Рассела (A. D. Russell) и В. Ф. Касселтона (W. F. Caselton) [62], Х. Райеса (K. El-Rayes) и О. Моселхи (O. Moselhi) [64, 66], Н. Н. Элдина (N. N. Eldin) и А. Б. Сеноучи (A. B. Senouci) [119] были предложены методы оптимизации продолжительности строительства. Оптимизация проводилась либо по одному, либо по двум показателям: определение наиболее оптимальных бригад из имеющихся и оптимальных растяжений ресурсных и фронтальных связей. Особенности предлагаемых ими методов оптимизации является то, что в основном они нацелены на сокращение сроков строительства. При этом поиск наиболее оптимального количественного состава бригады производится среди заданных вариантов. Аналогичная ситуация и с величинами растяжений ресурсных и фронтальных связей. Но в случае, когда в условиях оптимизационной задачи не заданы варианты бригад и соответствующие им растяжения связей, применение такого метода оптимизации невозможно.

Рассмотрим особенности второй группы методов оптимизации календарного планирования – оптимизация по критерию стоимости строительства [120].

В совместной работе А. А. Шишкина и А. И. Шишкина [46] описан алгоритм оптимизации плана производства по показателям себестоимости строительно-монтажных работ и алгоритм оптимизации сроков строительства от стоимости.

Алгоритм оптимизации плана производства по стоимости строительно-монтажных работ определяет наиболее оптимальную продолжительность строительства при заданной заказчиком стоимости. Для этого определяется минимальная продолжительность строительства при максимальной интенсивности работ, затем стоимость строительства при минимальной и нормативной продолжительности. Определяется удельный прирост затрат на единицу времени и строится кривая зависимости затрат от времени строительства. В этой кривой помимо прямых затрат учитываются накладные расходы. Точка на кривой зависимостей, имеющая первую производную равную нулю и будет соответствовать оптимальному сроку строительства. Таким образом данный алгоритм, используя данные о затратах, позволяет оптимизировать сроки строительства.

Рассмотрим алгоритм оптимизации по стоимости, описанный в работе [46]. Данный алгоритм является обратной задачей рассмотренного выше алгоритма, т.е. проводится оптимизация затрат на строительство, а не сроков строительства. Для использования рассматриваемого алгоритма необходимо знать законы изменения стоимости производства тех или иных работ в зависимости от их длительности, а также длительность каждой работы для определения ее резервов. В случае же когда задана общая продолжительность строительства объекта, но нет данных о длительности каждой работы и соответственно законов изменения стоимости производства работ в зависимости от их длительности применение данного алгоритма невозможно. Используя прямые затраты строительства в качестве критерия оптимизации определить оптимальное количество трудовых ресурсов затруднительно, так как в прямые затраты помимо затрат на оплату труда рабочих входят затраты на эксплуатацию машин и механизмов, стоимость материалов и прочие затраты. Даже, если проводить оптимизацию по критерию оплаты труда рабочих получение оптимального распределения человеческих ресурсов по каждому виду работ, зная их стоимость, не представляется возможным. Связано это с тем, что при сохранении зависимости (1.2) изменение количества трудовых ресурсов не меняет трудоемкости работ, а значит изменение стоимости оплаты труда рабочих также не изменится.

$$T = \frac{Q}{R} \quad (1.2)$$

где: T – продолжительность работы;

Q – трудоемкость работы;

R – количество рабочих.

За рубежом оптимизацией календарного планирования по стоимости строительства занимались Х. Адели (H. Adeli) совместно с А. Каримом (A. Karim) [121], Х. Адели (H. Adeli) совместно с Х. С. Парк (H. S. Park) [122], Л. Лианг (L. Liang) совместно с С. А. Бернсом (S. A. Burns) и С. В. Фенгом (C.-W. Feng) [123], Х. А. Мухаммад (H. A. Mohammed) совместно с А. О. Абдель Халимом (A. O. Abd El Halim) и А. Г. Разакпуром (A. G. Razaqpur) [124], М. Рогальская (M. Rogalska,) совместно с В. Бозейко (W. Bożejko) и З. Хейдучки (Z. Hejducki) [125] и другие ученые в своих работах [126-133]. В работах [121, 124, 134] для решения оптимизационной задачи по критерию минимизации стоимости строительного-монтажных работ использовались интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей. В работах [129-133] доказывалась применимость интеллектуальных систем на основе искусственных нейронных сетей для решения задач прогнозирования и оптимизации. При этом оптимизация календарных планов в качестве оптимизационных задач в этих работах не рассматривалась. В совместной работе М. Рогальской (M. Rogalska,), В. Бозейко (W. Bożejko) и З. Хейдучки (Z. Hejducki) [125] оптимизация продолжительности строительства с минимизацией сметной стоимости производилась за счет использования резервов времени не критических работ. Благодаря увеличению продолжительности не критических работ, в пределах их резервов, достигалось сглаживание графика финансирования строительства. Положительный эффект от сдвига сроков платежей на более поздний период усиливается при использовании заемных банковских средств.

Обзор современных методов оптимизации организационно-технологических параметров календарного планирования также приведен в работе Б. Р. Саркер (B. R. Sarker) [135].

Применение рассмотренных выше методов оптимизации календарных планов по критерию стоимости строительства также имеет свои ограничения. Так, при отсутствии данных об этой стоимости, что случается при проектировании коммерческих объектов, такой способ оптимизационного расчета не применим.

Альтернативой всех вышеперечисленных оптимизационных методов является оптимизация календарных планов по количеству используемых трудовых ресурсов [136, 137]. Такой метод применим как при явно заданных трудовых ресурсах, так и при неявно заданных (когда ресурсы определяются через трудоемкость и объемы работ, которые

становятся известны в процессе разработки проектной и рабочей документации). Если трудовые ресурсы явно не заданы, то принимается 100% загрузка ресурсами при детерминированной минимальной продолжительности работы. После оптимизации (за счет резервов), когда продолжительность работы увеличилась, определяется разница между детерминированной минимальной продолжительностью и оптимальной, в процентном соотношении, и таким образом сокращается и количество трудовых ресурсов, в том же самом процентном соотношении. В связи с этим метод является универсальным. Такой метод оптимизации позволяет избежать ограничений, которые действуют для выше изложенных оптимизационных методов.

В научно-технической литературе известен метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК), предложенный С. А. Болотиным [136]. Метод основан на определении оптимального количества ресурсов типа «мощность» при заданных временных, топологических и ресурсных ограничениях. Таким образом, данный метод используется для проведения оптимизационного расчета при явно заданных трудовых ресурсах.

Мы заметили, что данный метод может быть использован также и при неявно заданных трудовых ресурсах, т.е. в случаях, когда временные, топологические и ресурсные ограничения по условию оптимизационной задачи отсутствуют. Для этого необходимо провести адаптацию МНРК к проведению оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов в условиях неявно заданных трудовых ресурсов.

1.5 Цель и задачи исследования

Градостроительным кодексом РФ в отдельный класс выделены уникальные здания и сооружения. Проведенный анализ особенностей организации проектирования и строительства уникальных объектов позволил установить, что такие объекты обоснованно выделяются в отдельные классы. Эти объекты обладают достаточно большим количеством отличий в проектировании и строительстве от типовых объектов. Одним из важных отличий является повышенные риски несвоевременности выполнения работ. Однако обзор современной методологии календарного планирования не выявил появления в этой области особого класса, ориентированного на возведение уникальных объектов. Отсутствие такого класса в методах календарного планирования не способствует

комплексному учету особенностей проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений.

Ситуацию усугубляет и отсутствие в нормативно-технической литературе требований к нормативной продолжительности строительства уникальных объектов. Это приводит к тому, что продолжительность строительства таких объектов может быть задана только директивно. Определение обоснованной директивной продолжительности строительства уникальных объектов возможно путем проведения оптимизационного расчета. При этом задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов административным способом, без использования научно обоснованного метода, ведет к определению неоптимальной длительности строительства, а также к определению такой длительности строительства, которая выходит за рамки допустимых пределов.

Анализ стандартного инструментария наиболее распространенных программ управления проектами не выявил в них готовых решений, позволяющих проводить оптимизационные расчеты директивной продолжительности строительства. Однако современные программы управления проектами типа Microsoft Project располагают встроенным инструментарием, позволяющим расширять стандартные функции, например, за счет использования дополнительного программирования. Благодаря применению этой глобальной функции, у пользователей имеется возможность внедрения разработанных программ-макросов по оптимизационному календарному планированию, в том числе ориентированному на уникальные объекты.

Для выявления наиболее подходящих, среди разработанных ранее оптимизационных алгоритмов, к определению директивной продолжительности строительства уникальных объектов, был проанализирован отечественный и зарубежный опыт. В результате анализа было установлено, что наиболее подходящим методом оптимизации является оптимизация календарного планирования по критерию минимизации ресурсов типа «мощность». Такой метод применим как при явно заданных трудовых ресурсах, так и при неявно заданных (когда ресурсы определяются через трудоемкость и объемы работ, которые становятся известны в процессе разработки проектной и рабочей документации). В научно-технической литературе известен метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК), предложенный С. А. Болотиным. Метод основан на определении оптимального количества ресурсов типа «мощность» при заданных временных, тополо-

гических и ресурсных ограничениях. Таким образом, данный метод используется для проведения оптимизационного расчета при явно заданных трудовых ресурсах.

Мы заметили, что данный метод может быть использован также и при неявно заданных трудовых ресурсах, т.е. в случаях, когда временные, топологические и ресурсные ограничения по условию оптимизационной задачи отсутствуют.

На основе вышесказанного сформулируем цель и задачи исследования.

Цель исследования заключается в разработке метода оптимизации трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ особенностей организационно-технологических схем строительства уникальных объектов;
- разработать методику определения маргинальных продолжительностей строительства уникальных объектов;
- провести адаптацию и усовершенствование метода неопределенных ресурсных коэффициентов применительно к обоснованию директивной продолжительности строительства уникальных объектов совместно с оптимизацией ресурсов типа «мощность»;
- автоматизировать оптимизационный расчет директивной продолжительности строительства уникальных объектов путем разработки методики и компьютерного инструментария (программы-макроса) на базе программы Microsoft Project (MP);
- повысить устойчивость сроков директивной продолжительности строительства к рискам несвоевременности выполнения работ путем учета этих рисков.

ГЛАВА 2 АДАПТАЦИЯ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К ОПТИМИЗАЦИОННОМУ РАСЧЕТУ ДИРЕКТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1 Нормативно-директивная продолжительность строительства уникальных объектов

2.1.1 Нормативно-директивная и планируемая продолжительности строительства

Планируемая продолжительность строительства, а также соответствующая ей нормативно-директивная продолжительность, являются важнейшими технико-экономическими характеристиками организационно-технологической документации (ОТД), основными из которых являются следующие проекты [71, 138-141]:

- Проект организации строительства (ПОС);
- Проект организации работ по сносу или демонтажу (ПОД);
- Проект производства работ (ППР);
- Проект организации работ (ПОР).

Согласно [138] наличие ОТД является обязательным условием для начала строительно-монтажных работ [142, 143]. Значение этой документации для строительства велико. Так, например, ПОС является основой для распределения капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ по годам строительства, обоснования стоимости строительства, проведения подготовки строительного производства [139]. При двухстадийном проектировании ПОС разрабатывается на проектной стадии [140]. Поэтому на этой же стадии необходимо определять общую продолжительность строительства и более того сравнивать ее либо с нормативным, либо с директивно задаваемым значениями, задаваемыми в ПОС.

Согласно нормативной литературе [73, 140] в состав ПОС входят: календарный план с распределением капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ по периодам строительства; строительный генеральный план; обоснование и описание принятой ОТС строительства с указанием технологической последовательности выполнения работ; обоснование принятой продолжительности строительства; обоснование потребности строительства в кадрах, основных строительных машинах, механизмах, транспортных средствах, в топливе и горюче-смазочных материалах, а также в электрической энергии, паре, воде, временных зданиях и сооружениях, потребности в кадрах,

социально-бытовом обслуживании персонала и т.д. Однако, при этом следует иметь в виду, что у проектировщиков на стадии разработки проектной документации нет полных данных о подрядной строительной организации, объекте строительства, фактических условиях на строительной площадке и т.д. В результате реальное проектирование осуществляется по укрупненным показателям, которые в дальнейшем могут отличаться от реальных. В частности, при разработке ППР решения, принятые в ПОС, уточняются, но при этом общая продолжительность строительства не может быть увеличена.

На основе анализа составов ПОС и ППР установлено, что основной целью ОТД является подготовка объекта к строительству, а также подготовка строительных предприятий к возведению объекта [144, 145], а их основными технико-экономическими характеристиками являются следующие показатели [146, 147]:

- продолжительность строительства;
- себестоимость работ в целом или единицы продукции в натуральных величинах (1 м² площади здания, 1 м³ строительного объема здания и т.п.);
- трудоемкость работ;
- выработка рабочего на единицу времени.

С помощью выше приведенных технико-экономических показателей производится сравнение различных вариантов ПОС и ППР и оценивается эффективность проекта в целом. Таким образом, получается, что роль нормативной продолжительности строительства среди технико-экономических показателей очень высока.

Вместе с этим следует отметить, что нормативная продолжительность строительства является основой для разработки календарного плана, а без разработки календарного плана невозможно корректно сформировать денежный поток, связанный с инвестиционным периодом жизненного цикла строительного объекта [148]. Следует также иметь в виду, что продолжительность строительства, полученная в результате расчета календарного плана не должна быть выше нормативной, так как последняя является максимально-допустимой.

Без продолжительности строительства невозможно оценить экономическую эффективность инвестиционно-строительного проекта (ИСП). От продолжительности строительства зависит и его стоимость [149]. Сроки строительства влияют на продолжительность аренды строительной техники, помещений для временных административно-бытовых нужд строительства, участков, расположенных вне границ землеотводов и не-

обходимых для организации строительства. Сроки строительства влияют на величину оплаты труда ИТР и других работников, в трудовом договоре которых зафиксирована почасовая оплата труда.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о важности продолжительности строительства, как технико-экономического показателя организационно-технологического проектирования, без которого невозможно корректно определить стоимость строительства и сформировать денежный поток по инвестиционному периоду деятельности, оценить экономическую эффективность ИСП и организовать планомерный выпуск строительной продукции.

2.1.2 Анализ variability организационно-технологических схем строительства уникальных объектов

Как было показано в подразделе 1.1, в сложившейся строительной практике имеет место дихотомическая классификация объектов по степени их уникальности. Покажем, что принадлежность объектов к одной из двух групп в значительной степени влияет на оценку продолжительности строительства. Например, для нормативно выделенной группы, состоящей из типовых объектов установлена сравнительно небольшая variability ОТС строительства. И как раз для таких объектов и установлена нормативная продолжительность строительства. Однако аналогичное нормирование невозможно провести для группы уникальных строительных объектов и это, прежде всего, связано с многовариантностью ОТС строительства уникальных зданий и сооружений.

К особенностям уникальных зданий и сооружений можно отнести: ярко выраженное многообразие функционального назначения, объемно-планировочных и конструктивных решений, многоэтажность, большие размеры (как в плане, так и по вертикали), большое количество выполняемых видов работ, возведение зданий в составе многофункциональных комплексов и т.д. [150]. В дополнении к этому на variability ОТС также влияют следующие факторы: природно-климатические условия, в которых возводится объект [151, 152], разнообразие строительной техники, механизмов, материалов и т.д. и т.п. При изменении любого из этих факторов изменению подвергнется вся ОТС строительства. Исходя из выше сказанного, делаем вывод: variability ОТС уни-

кальных зданий и сооружений выше, чем вариабельность в типовых объектах из-за большего количества факторов, вызывающих эту вариабельность.

По определению под ОТС строительства определяют технологическую и организационную последовательность выполнения работ, которая включает в себя [152, 153]:

- декомпозиция общего фронта работ на захватки;
- последовательность работы на захватках с указанием технологической последовательности СМР;
- характеристику основных методов возведения здания, комплекса и др.

На ниже приведенном примере покажем, как влияет на календарное планирование выбранный вариант ОТС. В качестве уникального объекта строительства, на котором рассматривается ниже приведенный упрощенный пример, является многофункциональный комплекс (МФК) «Лахта Центр», строящийся в Санкт-Петербурге. Подробное описание объекта приводится в подразделе 2.3.

Рассмотрим возникающие отличия в технологии и организации строительства при двух разных вариантах ОТС ограждения котлованов и влияние этих изменений на такой технико-экономический показатель как продолжительность работ.

Объектами сравнительного анализа будут являться два варианта устройства ограждения котлована: первый вариант – метод «стена в грунте», второй вариант – шпунтовое ограждение.

Метод ограждения котлована «стена в грунте» заключается в сооружении несущих и ограждающих конструкций стен подземных сооружений путем отрывки глубоких узких траншей под глинистым раствором с последующей укладкой в траншею сборных железобетонных элементов или монолитного бетона. При устройстве монолитной бетонной стенки бетон укладывается в траншею методом вертикально перемещающейся трубы, показанным на рис.2.1. При этом, применяемый тиксотропный глинистый раствор выдавливается, очищается от шлама и используется повторно на последующих захватках, как это представлено в работах [154, 155].

Шпунтовое ограждение (стенка) представляет собой сплошную стенку, образованную погруженными в грунт деревянными, железобетонными, стальными или полимерными шпунтовыми сваями. Служит водонепроницаемой преградой и удерживает от обрушения грунт стен котлована или предохраняет от динамических воздействий конструкции фундаментов существующих зданий при производстве работ [156-158]. Тех-

нологическая схема погружения и извлечения шпунта изображена на рис. 2.2. Для проведения сравнительного анализа технологии и организации строительства, а также их влияния на продолжительность работ зададим исходные данные. Примем котлован квадратной формы с размерами 10х10 метров. Группа грунтов 2. Конструктивные характеристики стены в грунте:

- глубина заложения стены в грунте 12 метров;
- материал стены монолитный железобетон;
- толщина стены 0,6 метров.

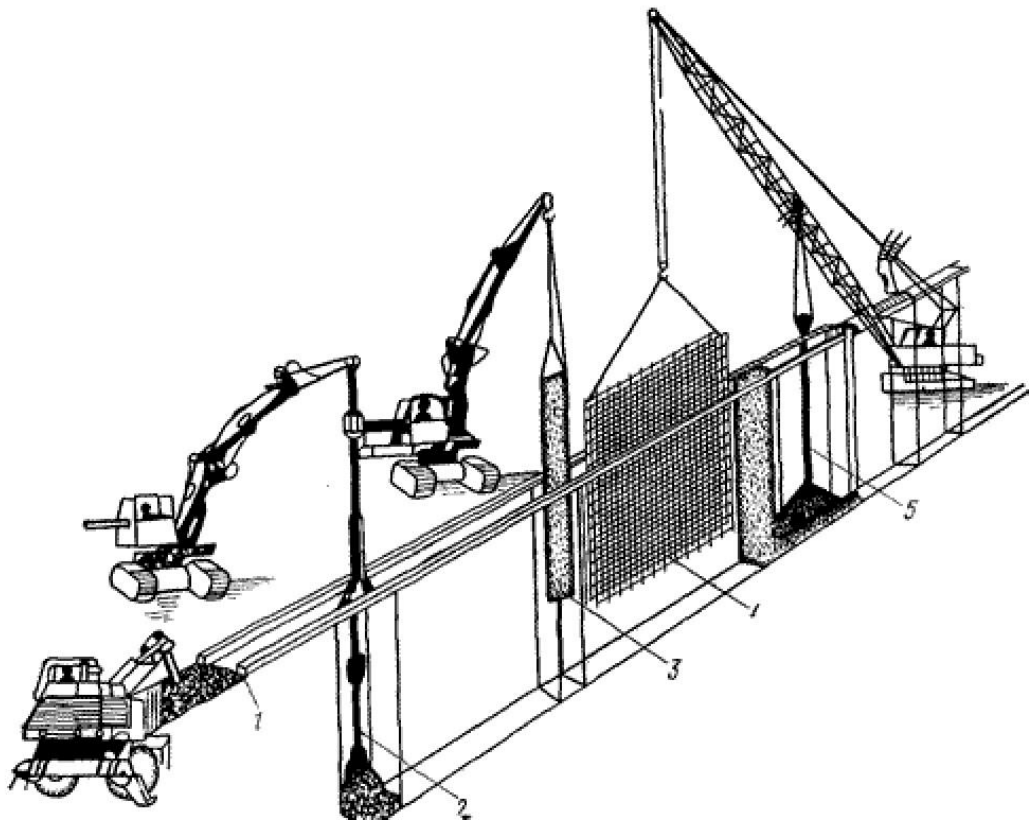


Рисунок 2.1 – Технологическая схема устройства стен в грунте:

1 – устройство направляющей форшахты; 2 – отрывка траншеи на длину захватки; 3 – установка ограничителей; 4 – установка армокаркаса; 5 – бетонирование методом ВПТ

Конструктивные характеристики шпунтового ограждения:

- глубина погружения шпунта 12 метров;
- вид шпунта – металлический шпунт Л-5 (вес 1 п.м. = 100 кг);
- способ погружения – вибропогружение.

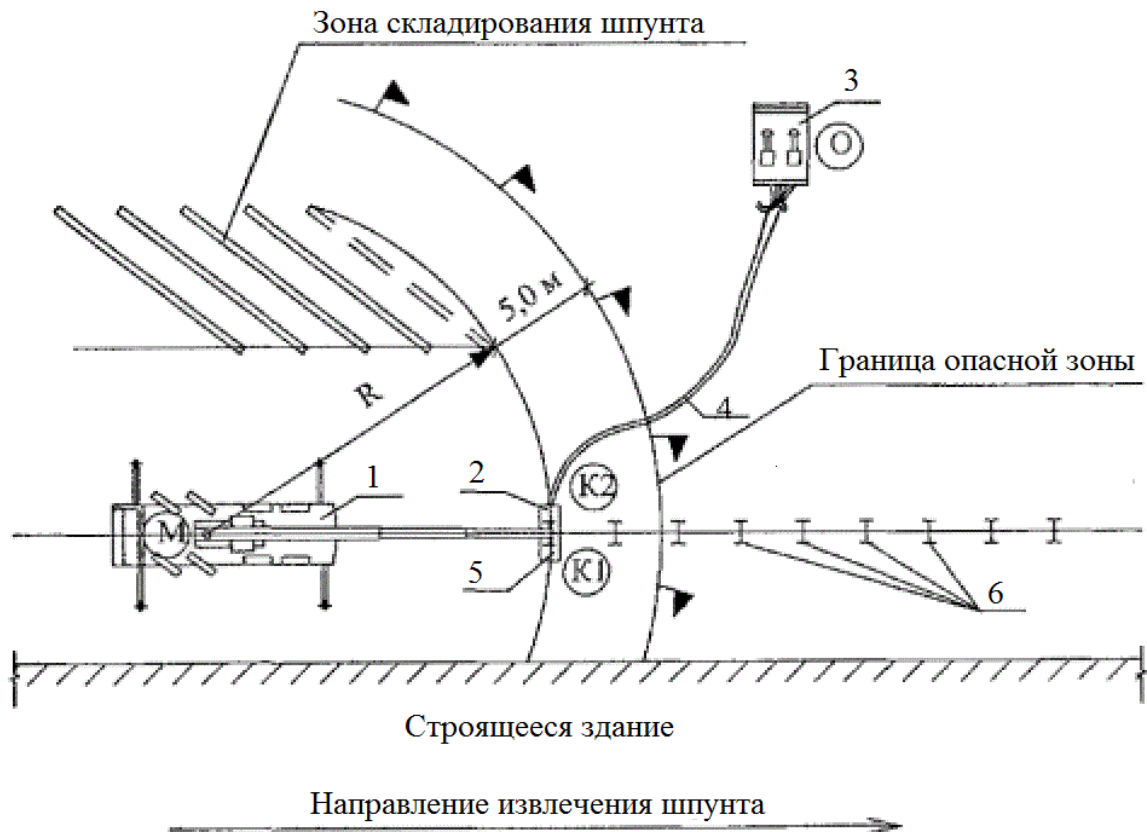


Рисунок 2.2 – Технологическая схема погружения и извлечения шпунта
 1 - кран 70 GMT - AT; 2 - вибропогружатель MS -25 Н; 3 - дизельный приводной агрегат MS - А 245; 4- шланги высокого давления; 5 - извлекаемый шпунт; 6 - забитый шпунт; (М) - рабочее место машиниста крана 70 GMT - AT ; (К1) (К2) - рабочее место копровщиков К1 и К2; (О) - рабочее место оператора дизельного приводного агрегата MS - А 245

Состав звена подбирается при помощи ЕНиР и типовых технологических карт. Результаты сравнительного анализа сведем в таблицу 2.1.

По результатам сравнительного анализа видно, что технология и организация, а также продолжительность производства работ значительно отличаются друг от друга в зависимости от выбранной ОТС строительства.

Таблица 2.1 – Сравнительный анализ продолжительности строительства при двух вариантах ограждения котлована

№ п/п	Наименование работ	Обоснование	Ед. изм.	Объем	Трудоемкость, ч/час		Состав звена		Продолжительность работ, час
					На ед. изм	На объем	рабочих	машинистов	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Устройство стены в грунте								
	Устройство траншеи	ТЕР 29-02-011	м ³	288	1,64/6,26*	472,3/1802,9*	1	1	1802,9
	Установка арматурного каркаса в траншею	ТЕР 29-02-012	захватка	10	6,64/3,94*	66,4/39,4*	2	1	39,4
	Укладка бетона в траншею	ТЕР 29-02-013	м ³	288	1,68/0,46*	483,8/132,5*	2	1	241,9
								Итого	2084,2
2	Устройство шпунтового ограждения								
	Погружение шпунта	ТЕР 05-01-012	т	160,8	4,45/1,16*	715,6/186,5*	3	1	238,5
	Извлечение шпунта	ТЕР 05-01-013	т	160,8	2,54/1,05*	408,4/168,8*	3	1	168,8
								Итого	407,3

Примечания:

* – в числителе чел-час, в знаменателе маш-час.

Очевидно, что отличия будут только увеличиваться при применении различных альтернативных технологий, а также принимаемых организационных решений.

2.1.3 Совместное, несовместное и оптимизационное задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов

В теории вероятностей существуют такие понятия, как совместные и несовместные события. События являются совместными, если наступление одного из них не исключает наступления другого. И наоборот, события являются несовместными, если наступление одного из них исключает наступление другого. Как было сказано ранее, директивная продолжительность строительства задается заказчиком. При этом величина директивной продолжительности строительства должна быть реальной с точки

зрения возможности выполнения работ в заданные сроки. Для этого необходимо определить временные ограничения директивной продолжительности строительства. В качестве таких ограничений выступают минимально и максимально возможные продолжительности строительства. Получаемый, в результате определения минимально и максимально возможных продолжительностей, интервал времени будет являться областью допустимых значений директивной продолжительности строительства. В случае, если директивная продолжительность строительства будет меньше минимально возможной или больше максимально возможной, это будет являться несовместным событием. Если директивная продолжительность будет находиться в области допустимых значений, т.е. в интервале между минимально и максимально возможной продолжительностью, это будет являться совместным событием (см. рис. 2.3). Оптимальное значение директивной продолжительности строительства также будет находиться в интервале между минимально и максимально возможной продолжительностью.

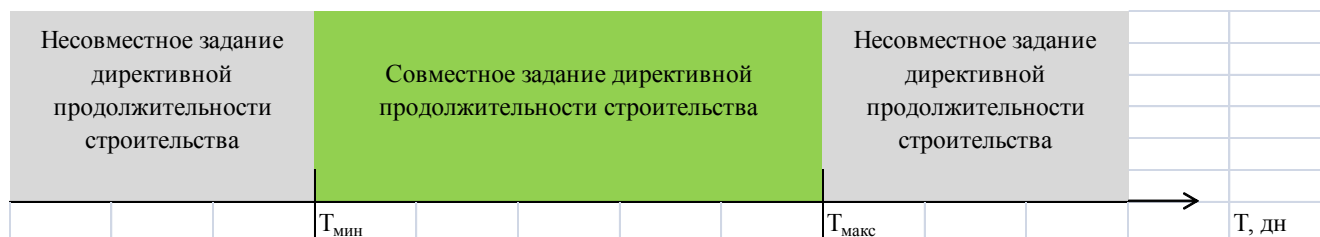


Рисунок 2.3 – Условия совместного и несовместного задания директивной продолжительности строительства

T – продолжительность строительства;

$T_{\min}$ – минимально возможная продолжительность строительства;

$T_{\max}$ – максимально возможная продолжительность строительства.

Вопросам определения минимальной и оптимальной продолжительности строительства уделяется внимание в своих работах такими учеными как В. А. Афанасьев, С. А. Болотин, М. М. Калюжнюк, А. А. Шишкин, В. И. Соболев и др. [46, 55, 88, 148, 159-162]. В научной литературе не удалось выявить формализованных методик определения максимально возможной продолжительности строительства.

В. И. Соболев в своей работе [159] определял минимальную продолжительность строительства в потоках с НИР. При этом продолжительности видов работ по условию должны были быть известны. Для задачи определения минимальной продолжительности строительства в потоках отличными от НИР и с неизвестными продолжительностями видов работ данный способ не применим.

В совместной работе М. М. Калюжнюка с Р. Н. Санданом [160, 161] также предлагается метод определения минимальной продолжительности строительства.

Минимальная продолжительность строительства находится путем определения оптимальных размеров фронтов-модулей в каждом простом технологическом процессе (ПТП), что позволяет организовать параллельное производства работ на максимально возможном количестве захваток. ПТП состоит из трех элементов: работа-модуль, ресурс-модуль и фронт-модуль. Ресурс-модуль представляет собой минимальный трудовой и/или технический ресурс ПТП, который выполняет работу (работу-модуль) объемом, равным его сменной выработке, и занимает необходимое для выполнения этой работы рабочее пространство – фронт-модуль [162].

М. М. Калюжнюк предлагает формализованную процедуру определения размеров фронтов-модулей. Размеры фронта-модуля зависят от границ рабочей, опасной и транспортной зоны и определяются по каждой из трех координатных осей по максимальному размеру из трех зон. Координатные оси: в направлении буквенных осей, в направлении числовых осей, в направлении вертикальной оси. Границы фронтов-модулей определяются детально, вплоть до метров по предложенной формуле:

$$D_{i,j,k} = P_{i,j,k} \bigcup_i O_{i,j,k} \bigcup_i T_{i,j,k}, \quad i=1,2,3; j=1,...,m; 1 \leq k \leq k_j, k_j=k_1,...,k_m \quad (2.1)$$

где, $D_{i,j,k}$ – размер по i -той декартовой координате k -го фронта-модуля j -го ПТП;

i – номер оси в декартовой системе координат ($i=1$ и $i=2$ – соответственно продольная и поперечная горизонтальные оси, $i=3$ – вертикальная ось);

$P_{i,j,k}$, $O_{i,j,k}$ и $T_{i,j,k}$ – соответственно размеры рабочей, опасной и транспортной зон k -го фронта-модуля j -го ПТП. Определение размеров этих зон ведется по соответствующим чертежам с применением графоаналитического метода;

j – номер или обозначение ПТП;

m – общее количество ПТП;

k – номер фронта-модуля в j -ом ПТП;

k_j – общее число фронтов-модулей в j -ом ПТП.

$\bigcup_i$ – символ объединения линейных размеров рабочей, опасной и транспортной зон k -го фронта-модуля каждого j -го ПТП.

Понятие фронт-модуль по своему определению является схожим с понятием деланки, при разбивке фронта работ в плане и ярусом, при разбивке по вертикали. Делан-

кой называют участок работы, выделенный одному рабочему, либо звену, равный по объему не менее сменной производительности рабочего, либо звена соответственно.

Недостатком предложенного М. М. Калюжнюком способа определения размеров фронтов-модулей является его трудоемкость, что требует дополнительных затрат трудовых и технических ресурсов на сбор исходных данных, планирование, мониторинг за ходом строительства. В том случае, когда отсутствует необходимость определения размеров фронтов-модулей вплоть до метров для расчета минимальной продолжительности строительства применение способа, предложенного М. М. Калюжнюком, является неоправданным в связи с его трудоемкостью.

Анализ различных способов определения оптимальной продолжительности строительства с выбором наиболее подходящего для уникальных объектов приведен в параграфе 1.4.

2.1.4 Методика определения маргинальных продолжительностей строительства уникальных зданий и сооружений

Как было сказано выше, обязательным условием для проведения оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов является задание этой продолжительности в допустимых пределах. Такими пределами являются минимально и максимально возможные продолжительности строительства.

Рассчитать временные ограничения на возведение объекта, т.е. минимальный и максимальный предел продолжительности строительства, возможно, определив минимально и максимально допустимое количество трудовых ресурсов в каждом виде работ. Для того чтобы это сделать, в первую очередь необходимо определить качественные и количественные характеристики ОТС строительства. К таким характеристикам относятся: номенклатура работ, объемы и трудоемкости работ, связи между работами, захватки, сменность и т.д.

Предлагается следующий алгоритм определения маргинальных продолжительностей строительства:

- 1 Определение перечня (номенклатуры) работ.
- 2 Определение по каждому виду работ их объемов и нормативных трудоемкостей.
- 3 Установление сменности работ.

- 4 Разбивка каждого вида работ на захватки с определением объемов работ и трудоемкости для каждой захватки.
- 5 Определение количества параллельно выполняемых захваток по каждому виду работ.
- 6 Определение минимальной продолжительности одной захватки и общей продолжительности каждого вида работ.
- 7 Определение предельно возможного количества трудовых ресурсов для каждой захватки, соответствующего минимальной продолжительности.
- 8 Определение минимального количества трудовых ресурсов для каждой захватки и соответствующей этой численности ресурсов продолжительности выполнения захватки. Определение общей продолжительности каждого вида работ.
- 9 Выявление технологической последовательности выполнения работ и установление связей между работами.
- 10 Расчет календарного графика выбранным методом поточной организации работ с целью определения продолжительности строительства отдельно при максимальном и минимальном количестве трудовых ресурсов.

При составлении перечня работ необходимо группировать работы по исполнителям. Например, для уникального объекта МФК «Лахта Центр», работы по прокладке инженерных сетей не подлежат объединению с работами по монтажу светопрозрачных фасадов. Благодаря этому требованию будет определено число рабочих по каждой специальности.

Объемы работ могут быть определены по рабочей документации (РД) и сметам. Объемы работ рассчитываются в тех же единицах измерения, что и трудоемкость этих работ.

Нормативной базой для расчета трудоемкости могут служить [47, 163-165]: ЕНиР (МНиР, ВНиР); сметные нормативы (ТЕР, ГЭСН); укрупненные комплексные нормативы (УКН), укрупненные расценки (УР); выработка удельная в натуральном измерении (м³/чел-дн и м³/маш-см и т.д.).

Сменность работ определяется в зависимости от вида работ. Работы, использующие основные машины (грузоподъемные краны, буровые установки и т.п.), рациональнее выполнять в 2-3 смены. Работы, к которым предъявляются повышенные требования к безопасности, рекомендуется выполнять в дневную смену. К таким работам, напри-

мер, относятся работы на высоте: монтаж фасадных конструкций, устройство кровельных систем и т.п.

Необходимо обратить внимание на то, что алгоритм определения минимально возможной продолжительности принципиально отличается от алгоритма определения максимально возможной продолжительности выполнения работ. Так минимальная продолжительность выполнения работы определяется исходя из технологических ограничений и требований техники безопасности, но при этом она должна быть не менее продолжительности одной смены, на что обращали внимание в своих работах Л. Г. Дикман и М. М. Калюжнюк [47, 161]. И затем на следующем этапе уже определяется соответствующая минимальной продолжительности строительства загрузка ресурсами типа «мощность». При определении максимальной продолжительности наблюдается обратная последовательность. На первом этапе задается минимальный количественный состав ресурсов типа «мощность», а на втором этапе уже определяется максимальная продолжительность, соответствующая этому составу ресурсов.

В научно-технических публикациях [88, 161, 166] известны три группы задач календарного планирования СМР: 1) по заданным объемам работ и количеству трудовых и технических ресурсов определяется продолжительность производства работ; 2) по объемам работ и продолжительности – требуемое количество ресурсов; 3) по количеству ресурсов, объемам работ и срокам их выполнения – оценка достаточности ресурсов для обеспечения заданных сроков. Исходя из приведенной классификации задач календарного планирования, определение минимальной продолжительности строительства относится к задачам второго вида, а максимальной продолжительности – к задачам первого вида.

Минимальная продолжительность выполнения одной захватки зависит от вида работ. Работы, выполняемые вручную, на которые не наложены технологические ограничения, теоретически могут быть выполнены за один день. К таким работам, например, могут быть отнесены работы по прокладке внутренних инженерных сетей. Минимальная продолжительность работ, выполняемых вручную, на которые наложены технологические ограничения, определяется соответственно исходя из этих ограничений. К таким работам, например, могут быть отнесены отделочные работы с «мокрыми» процессами, бетонные работы. Минимальная продолжительность механизированных работ за-

висит от технологических ограничений, требований техники безопасности и производительности основного механизма.

После определения минимальной продолжительности выполнения работы, предельное количество рабочих находится по следующей формуле:

$$N = \frac{Q_{\text{захв}}}{T_{\text{захв}} \times n_{\text{смен}}} \quad (2.2)$$

Где N – предельное количество трудовых ресурсов на захватке,

$Q_{\text{захв}}$ – трудоемкость захватки, чел-смен;

$T_{\text{захв}}$ – продолжительность одной захватки, дн;

$n_{\text{смен}}$ – кол-во рабочих смен в сутках.

Определенное по формуле 2.2 предельное количество рабочих одновременно равно и количеству делянок в захватке. Таким образом, количество делянок при определении предельного количества трудовых ресурсов определяется автоматически. Для проведения расчетов максимального и минимального предела продолжительности строительства детальное определение границ делянок вплоть до метров не требуется.

Для расчета максимальной продолжительности строительства необходимо определить минимальный предел количества ресурсов типа «мощность» для каждого вида работ. Минимальный предел задается в указаниях ЕНиР к составу звена на каждые виды работ, либо в указаниях типовых технологических карт. Далее максимальная продолжительность возведения каждой захватки будет определяться по формуле (2.3), в зависимости от минимальной загрузки ресурсами типа «мощность».

$$T_{\text{захв}} = \frac{Q_{\text{захв}}}{N_{\text{зв}} \times n_{\text{см}}} \quad (2.3)$$

Где: $T_{\text{захв}}$ – продолжительность выполнения захватки, $Q_{\text{захв}}$ – трудоемкость захватки, $N_{\text{зв}}$ – состав звена по ЕНиР, $n_{\text{см}}$ – количество смен.

При строго механизированных и немеханизированных процессах в формулу (2.3) подставляются соответствующие трудоемкости и состав звена. Если же работа комплексная, т.е. присутствуют как механизированные процессы, так и немеханизированные, то продолжительность захватки вычисляется отдельно для рабочих и машинистов и принимается максимальной из полученных значений.

Расчет минимальной и максимальной продолжительности строительства, с максимизацией и минимизацией трудовых ресурсов соответственно, рекомендуется проводить с использованием ЭВМ в программном комплексе Microsoft Excel [167], что позво-

лит снизить трудоемкость расчета и вероятность появления ошибок. Снижение трудоемкости и вероятности появления ошибок при расчете достигается за счет исключения ручных вычислительных процессов. Программный комплекс Microsoft Excel позволяет вводить необходимые математические формулы для каждой строки данных и впоследствии автоматически производить расчеты.

Таким образом, полученные временные ограничения задают область допустимых значений директивной продолжительности строительства уникального объекта. Величина резерва времени, получаемая из формулы (2.4), является потенциалом оптимизации ресурсов типа «мощность».

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{дир}} - T_{\text{мин}} \quad (2.4)$$

Где: $T_{\text{рез}}$ – полученный оптимизационный резерв времени;

$T_{\text{дир}}$ – директивная продолжительность строительства.

2.2 Методика сведения организационно-технологической вариантности схем строительства к инвариантной структуре календарных графиков

2.2.1 Влияние вариабельности организационно-технологических схем строительства на вариабельность структуры календарных графиков строительства

При строительстве уникальных зданий и сооружений, в первую очередь высотных, огромный потенциал оптимизации продолжительности заложен в максимальной интеграции всех процессов [168], чему способствует рациональное деление на захватки. Методы разбивки на захватки требуют формализации для уменьшения влияния субъективных факторов на получаемый результат. В научно-технической литературе методы декомпозиции зданий и сооружений на захватки слабо формализованы, в основном приводятся лишь рекомендации по разбивке зданий и сооружений на захватки [169-173]. Слабая формализация методов расчленения зданий и сооружений на захватки связана с многообразием таких факторов как: вид строительства (новое строительства, реконструкция, расширение и т.д.), объемно-планировочные и конструктивные решения зданий, применяемая строительная техника, материалы, технологии производства работ и др. [174-177]. Большое многообразие этих факторов не позволяет найти универсальный метод разбивки на захватки, применимый ко всем зданиям и сооружениям без исключения, в каждом конкретном случае необходим индивидуальный подход.

Применительно к уникальным зданиям и сооружениям ситуация усугубляется присущими им специфическими особенностями, приведенными в параграфе 2.1. Специфические особенности уникальных зданий и сооружений определяют значительную вариантность организационно-технологических решений строительства, что в свою очередь приводит к много вариантности схем разбивки на захватки и в конечном итоге к много вариантности календарных графиков.

Для подтверждения этого рассмотрим частный случай возведения высотного здания с прилегающей к нему стилобатной частью, организационно-технологические особенности которого представлены отдельным кратким описанием. В первом варианте фундаменты высотного здания запроектированы на буронабивных сваях, а фундаменты стилобатной части на забивных сваях. Во втором варианте фундаменты и высотного здания, и стилобатной части запроектированы на буронабивных сваях. Схемы разбивки на захватки отражены для первого варианта на рисунке 2.4, а для второго варианта на рисунке 2.5.

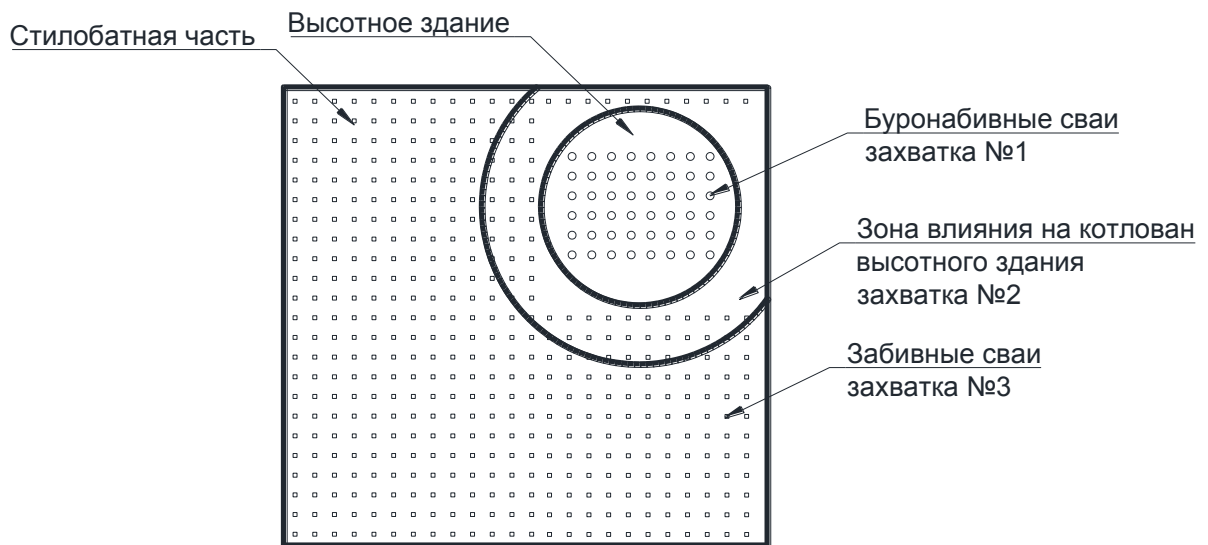


Рисунок 2.4 – Схема разбивки на захватки при первом варианте организационно-технологического решения

Так как забивка свай вызывает распространение динамических воздействий на котлован высотного здания, необходимо определить зону влияния динамических воздействий от забивки свай на этот котлован. Зона влияния будет являться отдельной захваткой при устройстве забивных свай стилобатной части. Общее количество захваток для первого варианта должно быть не менее 3-х (см. рисунок 2.4). В первую очередь необходимо завершить работы в зоне влияния на котлован (захватка №2), а затем работы

по устройству свай высотного здания (захватка №1) и оставшейся стилобатной части (захватка №3) можно будет совместить, либо выполнить последовательно. Во втором варианте, в связи с тем, что все сваи буронабивные, в выделении отдельной захватки, ограничивающей зону влияния на котлован, нет необходимости. Таким образом, во втором варианте будет две захватки, которые могут выполняться параллельно. На рассмотренном частном случае отчетливо прослеживаются две различные ОТС, что и подтверждает вышесказанное.

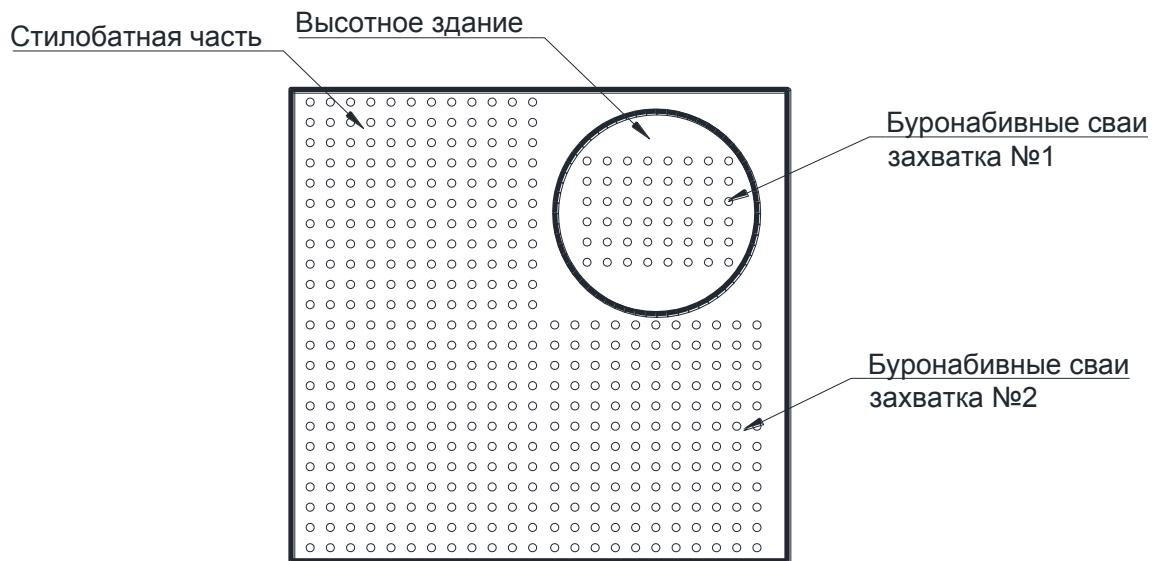


Рисунок 2.5 – Схема разбивки на захватки при втором варианте организационно-технологического решения

Несмотря на все сложности формализации, опираясь на накопленный опыт строительства, можно выделить ряд особенностей, которые необходимо учитывать при разбивке уникальных зданий и сооружений на захватки. К таким особенностям относятся:

1. При наличии в комплексе строительства высотного объекта, этот объект подлежит возведению в первую очередь, вместе со зданиями, находящимися в непосредственной близости от него. Связано это с тем, что высотное здание будет являться, как правило, самым продолжительным по срокам возведения и с тем, что опасная зона при возведении этого здания будет увеличиваться с каждым этажом. А так как здание высотное, то при возведении верхних этажей опасная зона будет иметь значительную величину. Если же здания, находящиеся в непосредственной близости от высотного здания, начать возводить параллельно с ним, то из-за незначительной разницы в высоте возводимых зданий, работы будут производиться вне опасной зоны от соседнего высотного здания.

2. При разбивке на захватки комплекса объектов, у высотного здания необходимо оставлять, как минимум одну свободную от застройки сторону, для обеспечения транспортной доступности здания для строительной техники и возможности складирования материалов.

3. Для зданий, имеющих заглубленную подземную часть, прорабатываются индивидуальные нетиповые технологии разработки котлована, дополнительные мероприятия по защите котлована от обрушения стенок, защиты от подземных вод. На момент разработки такого котлована и устройства защитных мероприятий от обрушения стенок этого котлована запрещается параллельное выполнение работ на захватках, находящихся в зоне влияния на стенки котлована в пределах его глубины. Также необходимо свободное пространство вокруг заглубленного котлована для выполнения вышеперечисленных мероприятий.

4. При разбивке на захватки зданий, имеющих большую площадь застройки, что связано с большими размерами зданий в плане, необходимо обеспечить доступ к захваткам строительной техники, в том числе грузоподъемной. Для этого такие здания рекомендуется разбивать на блоки и секции, желательно по деформационным швам. При этом эти здания должны быть малоэтажными, дабы не создавать неравномерные осадки грунта. Этажность, при которой допускается возводить здание блоками и секциями, определяется в зависимости от типа фундамента, инженерно-геологических и гидрологических условий строительства и нагрузки на основание от возводимого здания.

5. Сложные гидрогеологические условия строительства, обусловленные высоким уровнем подземных вод, оказывают существенное влияние на размеры захваток зданий с большой площадью застройки. При разбивке на захватки необходимо снизить до минимума периметр сторон захваток, незащищенных от грунтовых вод. Для этого, на предыдущей по очереди освоения захватке, возводятся стены подземного этажа, которые будут являться барьером для воды при возведении смежной захватки. Следующая захватка начинает осваиваться только после возведения стен подземного этажа предыдущей захватки. Таким образом, приступая к освоению следующей смежной захватки, дополнительная защита от воды будет обеспечена за счет возведенных стен соседней захватки.

6. При возведении комплексов зданий, освоение самых удаленных от въезда на строительную площадку захваток необходимо начинать одними из первых, дабы не заблокировать доступ к этим захваткам уже возведенными зданиями.

2.2.2 Методика сведения организационно-технологической вариантности схем строительства к инвариантной структуре календарных графиков

Как уже было нами установлено, вариабельность ОТС строительства влечет за собой и вариабельность структуры календарных графиков строительства. Проблема заключается в том, что отсутствие единой инвариантной структуры ведет к появлению календарных графиков с разной структурой и тем самым усложняет восприятие и анализ таких графиков. Вместе с этим вариабельность календарных планов строительства вызвана также наличием в строительной сфере классификационного деления календарных планов на 4 группы по детализации. К этим группам относят: сводный календарный план в составе ПОС, объектный календарный план в составе ППР, рабочие календарные планы и часовые календарные планы [178]. Все эти четыре группы разрабатываются поочередно в зависимости от стадии реализации ИСП.

С целью снижения влияния субъективного человеческого фактора на разработку структуры календарных графиков, в данном разделе предлагается методика формирования инвариантной структуры календарных графиков строительства уникальных объектов. Такая структура позволит привести к единому виду все разрабатываемые календарные графики строительства уникальных объектов и тем самым снизить влияние человеческого фактора на процесс их разработки.

При проектировании календарного графика работы, входящие в него, необходимо свести к определенной иерархии. Иерархия представляет собой следующую структуру:

- 1) на первом высшем уровне «работа – вид» – характеризующая соответственно вид выполняемой работы;
- 2) на втором уровне иерархии «работа – фронт» – характеризующая фронты каждого вида работ;
- 3) на третьем уровне иерархии «работа – ресурс» – характеризующая трудовые ресурсы, выполняющие определенный вид работы на определенном фронте работ.

На рисунке 2.6 изображен фрагмент календарного графика, построенного с учетом описанной иерархии. Выбор данной структуры обусловлен специфическими особенностями программного продукта *МР*, на базе которого производится автоматизация оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства с минимизацией трудовых ресурсов.

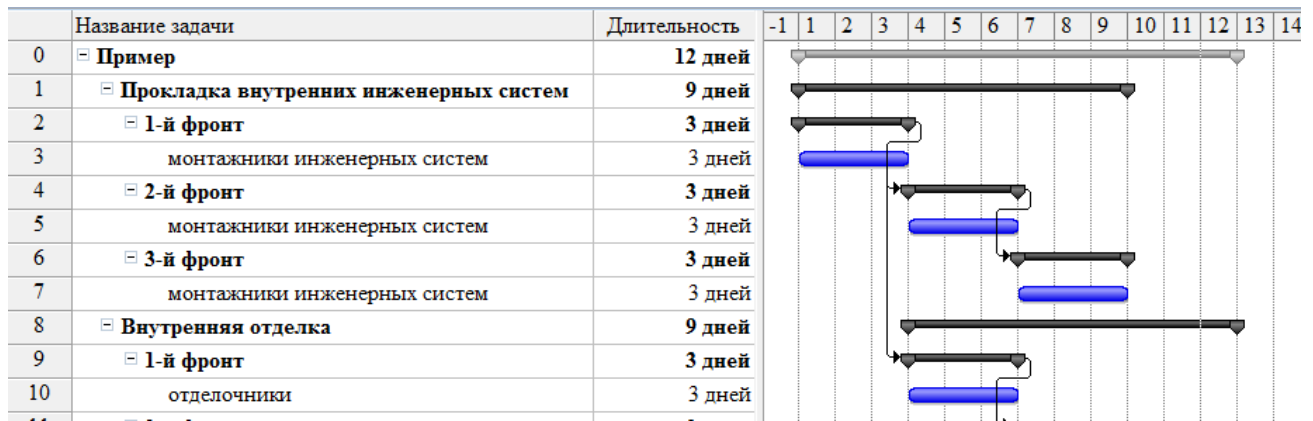


Рисунок 2.6 – Фрагмент календарного графика в МР

Представленная структура календарного графика строительства может, на наш взгляд, претендовать на определенную универсальность, так как при ее реализации в программах управления проектами может быть использована возможность иерархического представления работ совместно с применением «вложенности» работ, как отдельных проектов, так и с возможностью мультипликативного проектирования общего календарного графика.

2.2.3 Моделирование календарных графиков строительства уникальных объектов системой линейных уравнений

Для моделирования календарных графиков строительства уникальных объектов системой линейных уравнений целесообразно использовать метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК) [136, 179]. Поскольку оптимизационная процедура, в примененном нами методе, производится методом линейного программирования, то необходимо привести к линейному виду обратно пропорциональную зависимость продолжительности от числа трудовых ресурсов. Для этого вводятся неопределенные ресурсные коэффициенты, определяемые следующей формулой:

$$\alpha = \frac{R_{\max} - R}{R}, \quad (2.5)$$

где $R_{\max}$ – максимальное число трудовых ресурсов;

R – оптимизируемое число ресурсов;

α – неопределенный ресурсный коэффициент.

Из формулы (2.5) следует, что если оптимизируемое число ресурсов равно максимальному, то соответствующий ресурсный коэффициент равен нулю, при уменьшении оптимизируемых ресурсов данный ресурсный коэффициент будет монотонно возрас-

тять, вплоть до бесконечности. Ограничением данному возрастанию должно соответствовать задание минимально возможного числа ресурсов $R_{\min}$, либо максимально возможных продолжительностей работ [180]. В соответствии с определением неопределенного ресурсного коэффициента продолжительность любой работы T рассчитывается по формуле:

$$T = T_{\min} + \alpha \cdot T_{\min}, \quad (2.6)$$

где $T_{\min}$ – минимальная продолжительность выполнения работы, соответствующая максимуму ресурсов.

Кроме продолжительностей работ в систему линейных уравнений должны входить растяжения связей (по принятой в работе [88] терминологии) и временные ограничения на начала и окончания работ календарного плана [181]. Варьируя значениями растяжений ресурсных и фронтальных связей, можно менять метод организации строительства. Так, например, при нулевом растяжении ресурсных связей мы получим организацию работ с НИР, а при нулевом растяжении фронтальных связей – организацию строительства с НОФ.

Рассмотрим особенности моделирования календарных графиков строительства системой линейных уравнений на примере простой ОТС строительства, представленной на рисунке 2.7.

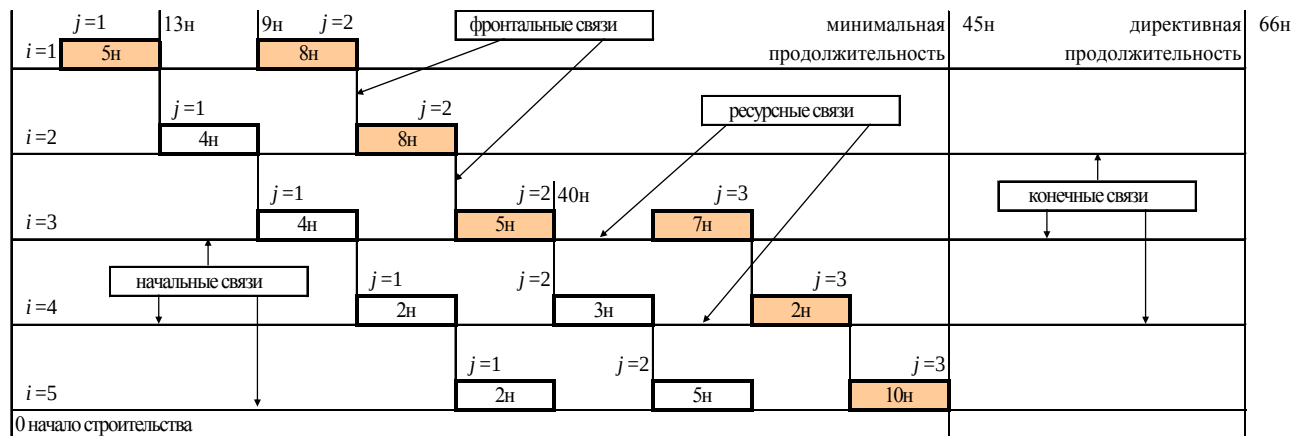


Рисунок 2.7 – Пример организационно-технологической схемы строительства

ОТС включает в себя выполнение пяти видов работ (первый индекс – i), каждая из которых выполняется на двух или трех частных фронтах (второй индекс – j). Минимальные продолжительности каждой из работ (в неделях) показаны внутри моделирующих их прямоугольников. Между работами установлены традиционные фронтальные и ресурсные связи, определяющие технологическую последовательность и очередность выполнения работ на частных фронтах. Для последующего составления системы линей-

ных уравнений дополнительно показаны начальные и конечные связи. Начальные связи показывают зависимости начал работ от соответствующих этим началам временных ограничений, а конечные связи показывают зависимости окончаний работ от соответствующих этим окончаниям временных ограничений.

В частности, в примере показано, что первая работа на первом фронте должна закончиться не позднее 13-й недели, третья работа на втором фронте должна закончиться не позднее 40-й недели, а первая работа на втором фронте должна начаться не ранее 9-й недели. Фрагмент электронной таблицы и линейного графика в программе *MP* представлен на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Фрагмент электронной таблицы и линейного графика в программе *MP*

Особенностью представления расчета в *MP* и в других аналогичных программах является использование временной шкалы, отображающей даты, хотя сравнение результатов расчета целесообразнее проводить в шкале длительностей. Проведенный в *MP* расчет показал, что расписание, соответствующее представленному примеру, возможно выполнить при максимальных ресурсах за директивную продолжительность 66 недель. Исходя из этих данных покажем особенности формирования системы линейных уравнений, состоящей из трех групп, в которые входят начальные, конечные и фронтальные уравнения. Начальные уравнения включают в себя все связи и продолжительности работ одного вида, начиная с работы на текущем фронте и заканчивая работой на последнем фронте. Например, начальное уравнение для второго фронта первого вида работы будет определено следующим выражением:

$$66-9=8+\alpha_1 \cdot 8+x_{12}^b+x_{12}^e, \quad (2.7)$$

где 66-9 – определяется разностью между ограничением на окончание работы на последнем фронте и началом на втором фронте;

α_1 – неизвестный ресурсный коэффициент для работ первого вида;

x_{12}^b – растяжение начальной связи второго фронта;

x_{12}^e – растяжение конечной связи второго фронта.

Начальное уравнение для первого фронта четвертого вида работы будет определено выражением.

$$66-0=7+\alpha_4 \cdot 7+x_{41}^b+x_{41}^r+x_{42}^r+x_{43}^e, \quad (2.8)$$

где x_{41}^r и x_{42}^r – растяжение 1-й и 2-й ресурсных связей работы четвертого вида.

Каждая связь в *МР* определяется не только ее адресом, но и задаваемой задержкой (лагом времени), поэтому перенос численных значений лагов времени, временных ограничений и постоянных продолжительностей в левую часть уравнений будет определять резерв времени соответствующего уравнения. Общее число начальных уравнений будет определяться общим числом фронтов всех работ.

Конечные уравнения включают в себя все связи и продолжительности работ одного вида, начиная с работы на первом фронте и заканчивая работой на текущем фронте. Например, конечное уравнение для второго фронта третьего вида работы будет определено следующим выражением.

$$40-0=9+\alpha_3 \cdot 9+x_{31}^b+x_{31}^r+x_{32}^e, \quad (2.9)$$

Общее число конечных уравнений будет определяться разностью общего числа фронтов всех работ и числа видов работ.

Фронтальные уравнения составляются для каждой фронтальной связи, они соединяют начальную часть верхней ветви уравнения и конечную часть нижней ветви уравнения. Например, фронтальное уравнение для второго фронта четвертого вида работы будет определено следующим выражением:

$$66-0=9+\alpha_3 \cdot 9+x_{31}^b+x_{31}^r+x_{42}^f+5+\alpha_4 \cdot 5+x_{42}^r+x_{43}^e, \quad (2.10)$$

где x_{42}^f – растяжение второй фронтальной связи 4-го вида работ.

Общее число фронтальных уравнений будет определяться общим числом соответствующих фронтальных связей. Всего для нашего примера формируется 31 линейное уравнение [182]. Далее для оптимизационного уменьшения ресурсов типа «мощность» необходимо решить полученную систему линейных уравнений. Решение производится классическим методом линейного программирования [183, 184], согласно которому имеется система линейных уравнений и линейных неравенств, описывающих топологические, временные и ресурсные ограничения:

$$b_k = \sum T_i + \sum T_i \times \alpha_i + \sum x_{ij}^b + \sum x_{ij}^r + \sum x_{ij}^f + \sum x_{ij}^e \quad (2.11)$$

где: b_k – допустимый резерв времени k -го уравнения;

$\sum T_i$ – сумма минимальных продолжительностей описываемых работ;

$\sum T_i^* \alpha_i$ – сумма произведений минимальных продолжительностей описываемых работ и соответствующих им неопределенных ресурсных коэффициентов;

$\sum x_{ij}^b$ – сумма растяжений начальных связей описываемых работ;

$\sum x_{ij}^r$ – сумма растяжений ресурсных связей описываемых работ;

$\sum x_{ij}^f$ – сумма растяжений фронтальных связей описываемых работ;

$\sum x_{ij}^e$ – сумма растяжений конечных связей описываемых работ;

i – вид работы;

j – номер связи по порядку.

Параллельно с этим формируется целевая функция, включающая сумму произведений ресурсных коэффициентов на соответствующие трудозатраты с учетом значимостей выполнения всех входящих в календарный график работ.

$$Z = \sum_{i=1}^I (c_i \times \alpha_i) \rightarrow \max \quad (2.12)$$

где c_i – минимальная продолжительность i -го вида работ;

I – количество видов работ.

В результате, при чисто формальном подходе, требуется найти максимум целевой функции (2.12). Однако, как будет показано ниже, для адаптации поставленной задачи к заданным методам поточной организации работ требуется рассмотрение существенных свойств полученной системы и на этой базе создание соответствующих расчетных алгоритмов.

2.3 Адаптация метода неопределенных ресурсных коэффициентов к определению директивной продолжительности строительства на примере МФК «Лахта-Центр»

Для дальнейшего исследования целесообразно рассмотреть применение выше изложенного оптимизационного расчета на конкретном объекте. Объектом является МФК «Лахта Центр», строящийся в городе Санкт-Петербурге. Данный объект обладает почти всеми признаками уникальности, приводимыми в Градостроительном кодексе [1], к которым относятся большепролетные, высотные и подземные объекты [185-187]. Для того чтобы рассчитать допустимые директивные сроки по выше изложенной методике для МФК «Лахта Центр» необходимо ознакомиться с условиями и объектом строительства. МФК «Лахта Центр» состоит из следующих объектов:

- здание «Башня»;

- многофункциональное здание (МФЗ), состоящее из северного и южного блоков и расположенного между ними крытого внутреннего двора;
- стилобатная часть, состоящая из северного и южного блока, а также вестибюля главного входа в здание «Башня» в виде большепролетной арки.

Схема плана участка с расположением объектов комплекса отражена на рисунке 2.9, а общий вид комплекса – на рисунке 2.10.

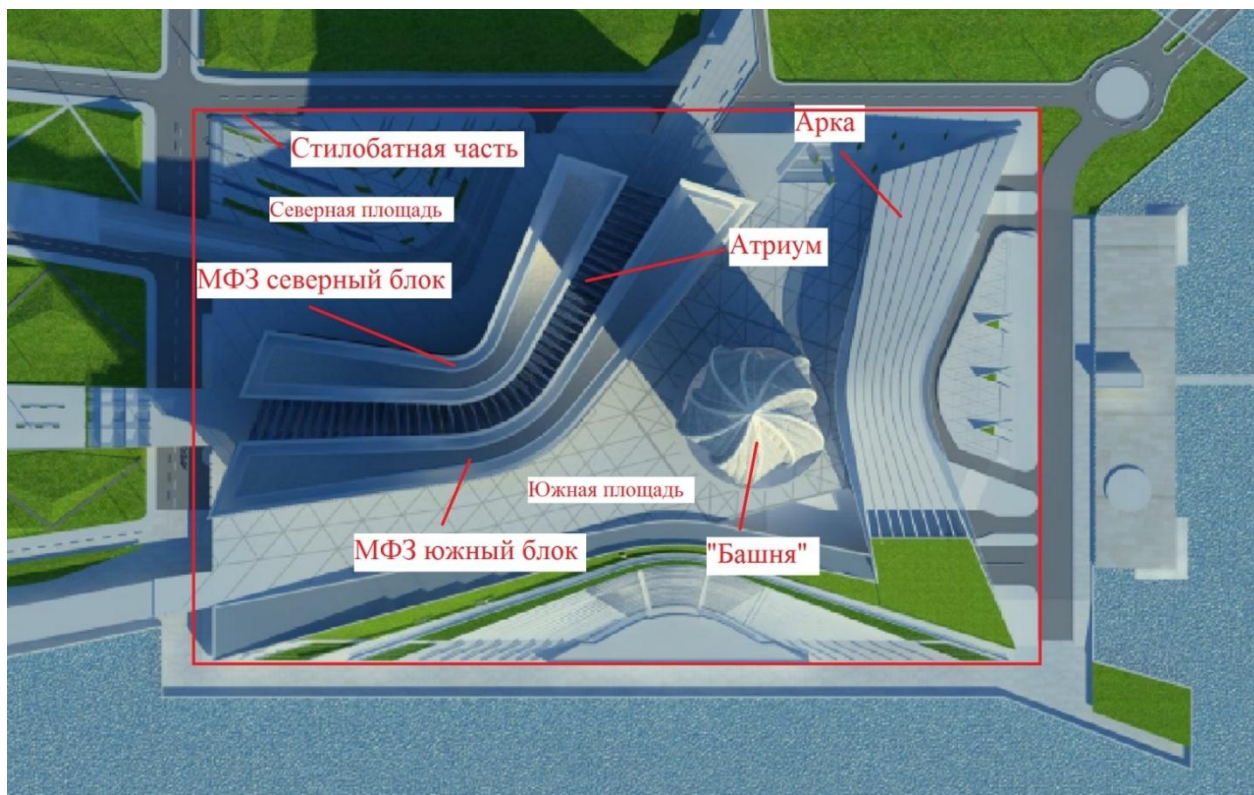


Рисунок 2.9 – Генеральный план участка МФК «Лахта Центр»

Представленная стройка, как общий объект, является уникальной, однако и отдельные части объектов, входящих в МФК, также относятся к уникальным. В частности, в МФК уникальными являются:

- здание «Башня» имеющее высоту 465 метров и заглубление подземной части на 18,6 метров;
- МФЗ, имеющее вылет консольной части равный 25 метров.

Арка имеет пролет длиной 99 метров. Для отнесения ее к категории уникальных объектов недостает всего лишь 1,1 метр длины пролета.

Уникальность объектов вызывает ряд трудностей при проектировании. Одной из таких трудностей является отсутствие нормативно-технической базы, которой можно руководствоваться при проектировании отдельных объектов. Так, например, в нормативно-технической литературе [72, 73, 188], отсутствуют требования к нормативной

продолжительности строительства здания «Башня», имеющего высоту 465 метров, большепролетной арки, МФЗ, а также стилобатной части. Отметим, что стилобатная часть согласно Градостроительному кодексу не является уникальным объектом, но для нее также отсутствуют требования к продолжительности в нормативно-технической литературе.



Рисунок 2.10 – Общий вид МФК «Лахта Центр»

Связано это с тем, что технико-экономические показатели стилобатной части имеют недопустимое превышение над показателями объектов-аналогов, приводимых в нормативно-технической литературе. Например, в СНиП 1.04.03-85* Часть II Раздел В подраздел 4 приводится объект-аналог стилобатной части – «Гараж стоянка легковых автомобилей личного транспорта». Сравнение показателей объекта-аналога со стилобатной частью приведено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнение характеристик объекта-аналога со стилобатной частью

Объект	Характеристика
Объект-аналог	Число автомобилей – 220, здание трехэтажное, каркасно-панельное, стр. объем 17500 м ³
Стилобатная часть	Число автомобилей – 1571, здание 1-3 этажное, монолитное железобетонное, стр. объем 287 321 м ³

Как видно из таблицы 2.2, показатели объектов значительно отличаются, что не позволяет использовать объект-аналог, приведенный в СНиП 1.04.03-85*, для расчета продолжительности строительства.

Таким образом, в существующих нормативно-технических документах отсутствуют нормы продолжительности строительства не только уникальных объектов, но и ряда других, технико-экономические показатели которых имеют недопустимые превышения над показателями объектов-аналогов. Это говорит об актуальности применения предлагаемого оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства абсолютно ко всем объектам, нормы продолжительности строительства которых не регламентированы нормативно-технической литературой.

Продолжительность строительства МФК «Лахта Центр» была задана директивно и равнялась 1945 дням. Аналитическая обоснованность заданных сроков отсутствовала. Для того чтобы соблюсти данные сроки необходимо организовать строительную площадку таким образом, чтобы работы по возведению отдельных частей комплекса могли производиться с максимальным совмещением. Но проводить работы параллельно на всех захватках не представляется возможным по ряду причин. Во-первых, необходимо обеспечить доступ (подъезды для строительных машин) к зданию «Башня», так как оно имеет самую большую продолжительность работ и МФЗ, которое имеет также длительные сроки строительства. Во-вторых, расположение стилобатной части вокруг МФЗ и здания «Башня» усложняет совмещение работ по возведению этих объектов. Сложности вызваны: необходимостью обеспечения доступа строительной техники к объектам, организации мест складирования материалов, выполнения требований техники безопасности, а именно ограничение влияния опасных зон на смежные фронты работ и т.д.

В связи с выше перечисленными условиями разделение на захватки производится следующим образом. «Башня» в плане на захватки не делится. МФЗ в плане делится на захватки по блокам, в связи с тем, что необходимо построить в первую очередь блок, сопряженный с «Башней», дабы исключить работу в опасной зоне от кранов «Башни». Возведенный блок МФЗ будет являться ограничением опасной зоны от «Башни». Если же начать возведение блока МФЗ, сопряженного с «Башней», с большим отставанием, то здание «Башня» будет превышать по высоте блок МФЗ, что приведет к распространению опасной зоны на этот блок.

Сам МФЗ разделен на 4 блока: северный и южный, которые в свою очередь делятся на западные и восточные части. Это необходимо для того, чтобы разместить краны и обеспечить доступ к корпусам.

Таким образом, разработанные в настоящее время оптимизационные алгоритмы, в описанных нами условиях либо вообще не применимы, либо применимы только частично и требуют дальнейшего совершенствования.

Рассмотрим специфические особенности оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства МФК «Лахта Центр» с минимизацией ресурсов типа «мощность». На первом этапе расчета необходимо определить маргинальные продолжительности строительства, получив тем самым область допустимых значений для задания директивной продолжительности строительства. С целью облегчения восприятия и анализа календарного графика используется укрупненная номенклатура работ МФК «Лахта Центр», состоящая из: подготовительных работ, устройства стены в грунте, устройства свайного основания, устройства удерживающей системы стены в грунте, устройства подземной части, возведения каркаса надземной части, устройства кровельной системы, фасадных работ, монтажа внутренних инженерных сетей, отделочных работ, устройства наружных инженерных сетей, благоустройства и озеленения территории.

Более детальная номенклатура используется для проведения расчетов минимальной и максимальной продолжительности строительства. Определим маргинальные продолжительности прокладки инженерных сетей водоснабжения в здании «Башня». Прокладка инженерных сетей в здании Башня делится на захватки по этажам. Один этаж – одна захватка. Так как в Башне 89 этажей, включая три подземных, общее количество захваток будет равно 89. Схема разбивки на захватки приведена на рисунке 2.11.

Нормативная трудоемкость прокладки сетей водоснабжения определяется по укрупненным расценкам УР-33-01-005-01. Работы ведутся в три смены, параллельно на четырех этажах. Для прокладки водоснабжения в объеме одной захватки (один этаж), согласно УР-33-01-005-01, необходимо человеко-смен – 92, машино-смен – 3. Таким образом, для прокладки водоснабжения за один день на одном этаже необходимо 92 человека и 3 машиниста. А так как работы ведутся в три смены, одновременно на захватке будет работать 31 человек и 1 машинист. Минимальное количество трудовых ресурсов, необходимое для прокладки сетей водоснабжения, определяется из ЕНиР Е9-1-1, Е9-1-4, Е9-1-6, Е9-1-8 и равно 8 рабочих и 1 машинист. Так как в рабочей бригаде присутствует

машинист, необходимо определить отдельно продолжительность выполнения работы для рабочих и машинистов и выбрать максимальную. Продолжительность выполнения работ на одной захватке рабочими равна:

$$T_{\text{немехан.}} = \frac{92}{8 \times 3} = 4 \text{ дня} \quad (2.13)$$

где: 92 – трудоемкость в человеко-сменах;

8 – количество рабочих в бригаде;

3 – количество смен.

$$T_{\text{механ.}} = \frac{3}{1 \times 3} = 1 \text{ день} \quad (2.14)$$

Максимальной будет продолжительность немеханизированных процессов. Максимальная продолжительность прокладки инженерных сетей водоснабжения в пределах одной захватки с учетом рекомендуемого ЕНиР состава звена составит 4 дня [189, 190].

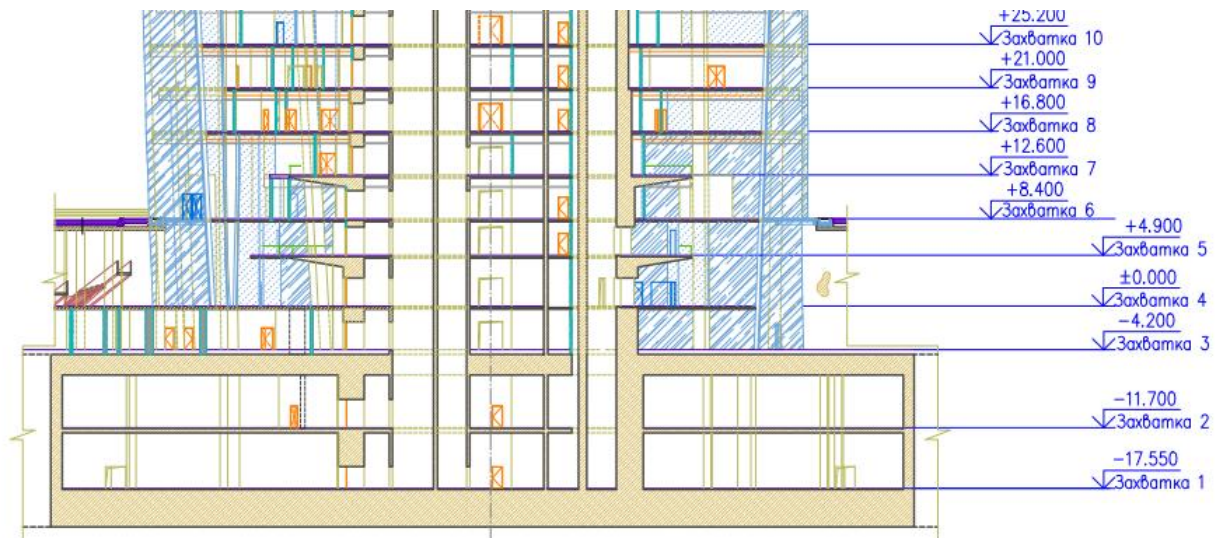


Рисунок 2.11 – Схема разбивки работ по прокладке внутренних инженерных сетей водоснабжения на захватки

Аналогичным образом находятся маргинальные продолжительности выполнения каждого вида работ, и затем методом критического пути определяется общая продолжительность строительства. Для автоматизации расчета календарного графика методом критического пути и оптимизационного расчета в целом, календарный график строится в программном комплексе МР [191, 192].

Фрагменты разработанных календарных графиков с минимальным и максимальным пределом продолжительности строительства МФК «Лахта Центр» изображены на рисунках 2.12 и 2.13 соответственно.

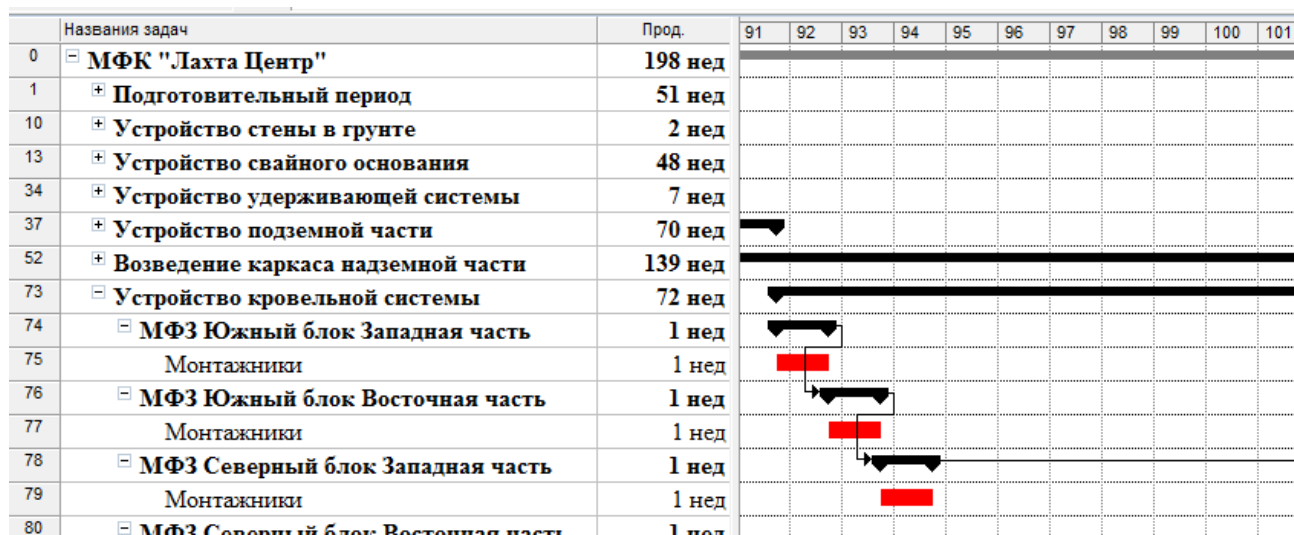


Рисунок 2.12 – Фрагмент календарного графика с минимальными сроками строительства МФК «Лахта Центр»



Рисунок 2.13 – Фрагмент календарного графика с максимальными сроками строительства МФК «Лахта Центр»

В результате проведенных расчетов получен минимальный и максимальный предел продолжительности строительства МФК «Лахта Центр». Минимальная продолжительность равна 198 недель, максимальная 2467 недель. Директивная продолжительность строительства может быть задана в этом временном интервале. Для объекта МФК «Лахта Центр» директивная продолжительность строительства было задана равной 278 недель. Полученный резерв времени, равный 80-ти неделям, будет использован на следующих этапах оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства. Таким образом, полученные результаты первого этапа говорят о совместности условий строительства МФК «Лахта Центр» для проведения оптимизационного расчета.

На втором этапе оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства МФК «Лахта Центр» необходимо описать ОТС строительства системой линейных уравнений, тем самым получив задачу линейного вида [193]. Описание производится по методике, описанной в предыдущих подразделах.

На третьем этапе оптимизационного расчета необходимо решить полученную систему линейных уравнений классическим методом линейного программирования – симплекс-методом. В предлагаемом нами методе оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства с минимизацией трудовых ресурсов составление системы линейных уравнений и последующее их решение может быть автоматизировано. Для этого разрабатывается макрос на языке *Visual Basic 6.3* на базе семейства программ *Microsoft Project*. Фрагмент календарного графика строительства МФК «Лахта Центр» с минимальным количеством ресурсов типа «мощность» для выполнения работ в директивные сроки изображен на рисунке 2.14.

	Названия задач	Рейт.коэф.	Начал. Затрат	% от Rмакс	Оптим. Затраты	51	52	53	54
0	МФК "Лахта Центр"								
1	Подготовительный период								
10	Устройство стены в грунте								
11	Здание Башня								
12	Арматурщики, Бетонщики	82	164раб.	9%	15раб.				
13	Устройство свайного основания								
34	Устройство удерживающей системы	9,29	65раб.	82%	0раб.				
37	Устройство подземной части	475,67	1 253раб.	31%	0раб.				
38	Здание Башня								
39	Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	69,83	419раб.	31%	130раб.				
40	МФЗ Захватка 2								
41	Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	165	330раб.	31%	102раб.				
42	МФХ Захватка 2								
43	Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	127,5	255раб.	31%	79раб.				
44	Стилобатная часть захватка 2								
45	Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	22,33	67раб.	31%	21раб.				
46	Стилобатная часть захватка 1								
47	Землекопы, плотники, арматурщики,	23,5	47раб.	31%	15раб.				

Рисунок 2.14 – Фрагмент календарного графика строительства МФК «Лахта Центр» с минимальным количеством ресурсов типа «мощность» для выполнения работ в директивные сроки

На основе разработанной методики получен диапазон возможной вариации назначаемой директивной продолжительности, а для заданного значения директивной продолжительности – оптимальное распределение трудовых и машинных ресурсов. При этом следует отметить, что как при изменении ОТС строительства, так и при изменении

задаваемой директивной продолжительности разработанная методика остается инвариантной, хотя оптимизируемые переменные будут меняться.

Выводы по второй главе

1. Представлено обоснование значимости задания нормативно-директивной продолжительности строительства, являющейся важнейшим технико-экономическим показателем организационно-технологического проектирования, и определены условия совместности событий, при которых возможно выполнение оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства.
2. Представлена методика определения маргинальных продолжительностей строительства уникальных объектов.
3. Приведены причины, вызывающие многовариантность организационно-технологических схем строительства уникальных объектов, зависящие от специфики принятых строительных технологий и методов разбивки на захватки применительно к уникальным зданиям и сооружениям.
4. Разработана инвариантная структура календарных графиков строительства, позволяющая свести к единой форме все виды календарных графиков строительства, разрабатываемых в процессе проектирования и строительства объектов.
5. Приведено описание методики моделирования календарных графиков строительства системой линейных уравнений, основанной на использовании метода неопределенных ресурсных коэффициентов, адаптированного к оптимизационному расчету директивной продолжительности строительства уникальных объектов (на примере МФК «Лахта центра»).

ГЛАВА 3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕСУРСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К ОПТИМИЗАЦИОННОМУ РАСЧЕТУ ДИРЕКТИВНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

3.1 Реализация разнообразия поточной организации работ в методе неопределенных ресурсных коэффициентов

В строительстве среди методов поточной организации строительства наиболее распространены методы с НИР, НОФ, непрерывным выполнением одноранговых работ и МКП [194, 195]. Эти методы отличаются друг от друга по учитываемым связям и их характеристикам. В методе НИР растяжение ресурсных связей, т.е. связей между смежными по виду работами, недопустимо. В методе НОФ недопустимо растяжение фронтальных связей, т.е. связей между смежными по частному фронту разнотипными работами [196]. При непрерывном выполнении одноранговых работ не допускается растяжение ранговых связей, т.е. связей между работами одного ранга. В МКП допускается растяжение как ресурсных, так и фронтальных связей.

Моделирование календарных графиков системой линейных уравнений позволяет привести оптимизационную задачу к линейному виду. С первого взгляда может показаться, что оптимизационная задача может быть решена классическим методом линейного программирования. Но в таком случае будет отсутствовать возможность целенаправленной вариации методов поточной организации строительства. Связано это с тем, что целью метода линейного программирования является нахождение глобального оптимума путем перебора допустимых базисных решений. При этом для нахождения глобального оптимума в базис переводятся те переменные, которые максимизируют либо минимизируют целевую функцию, в зависимости от условий задачи. Чтобы появилась возможность вариации методов поточной организации строительства, необходимо принудительно переводить переменные, выражающие ресурсные, либо фронтальные, либо ранговые связи в разряд небазисных, т.е. равных нулю. Так, например, при организации работ с НОФ необходимо, чтобы фронтальные связи всегда оставались небазисными и, исходя из этого ограничения, находить глобальный оптимум.

Проиллюстрируем ограниченность классического способа линейного программирования. Для этого опишем ОТС, изображенную на рисунке 3.1, системой линейных уравнений и решим ее методом линейного программирования.

						Минимальная продолжительность	Директивная продолжительность
	Y12						
0 дней		j=1		j=2		21н	45н
i=1	Y11	5н	Y15	8н		Y14	
						Y13	
			Y16		Y17		
	Y22						
			j=1		j=2		
i=2	Y21		4н	Y25	8н	Y24	
						Y23	

Рисунок 3.1 – Пример организационно-технологической схемы строительства
Y11, Y12, Y21, Y22 – начальные связи;
Y13, Y14, Y23, Y24 – конечные связи;
Y15, Y25 – ресурсные связи;
Y16, Y17 – фронтальные связи.

ОТС представляет собой выполнение двух видов работ (индекс i), каждая из которых выполняется на двух частных фронтах (индекс j). Минимальные продолжительности каждой из работ (в неделях) показаны внутри моделирующих их прямоугольников. Работы связаны друг с другом традиционными ресурсными и фронтальными связями. Также показаны все начальные и конечные связи. Директивная продолжительность строительства составляет 45 недель. Минимальная продолжительность при максимальном использовании трудовых ресурсов составляет 21 неделю.

Рассматриваемый пример ОТС строительства описывается восемью уравнениями:

$$32 = 13\alpha_1 + y_{11} + y_{14} + y_{15} \quad (3.1)$$

$$37 = 8\alpha_1 + y_{12} + y_{14} \quad (3.2)$$

$$40 = 5\alpha_1 + y_{11} + y_{13} \quad (3.3)$$

$$33 = 12\alpha_2 + y_{21} + y_{24} + y_{25} \quad (3.4)$$

$$37 = 8\alpha_2 + y_{22} + y_{24} \quad (3.5)$$

$$41 = 4\alpha_2 + y_{21} + y_{23} \quad (3.6)$$

$$28 = 5\alpha_1 + 12\alpha_2 + y_{11} + y_{24} + y_{25} + y_{16} \quad (3.7)$$

$$24 = 13\alpha_1 + 8\alpha_2 + y_{11} + y_{24} + y_{15} + y_{17} \quad (3.8)$$

(3.1–3.2) и (3.4–3.5) уравнения являются начальными, (3.3) и (3.6) – конечными и (3.7–3.8) – фронтальными. Переменные α выражают неопределенные ресурсные коэффициенты.

Для решения полученной системы линейных уравнений методом линейного программирования, на первом этапе необходимо найти допустимое базисное решение. Базисное решение может быть получено, если приравнять нулю $n-m$ из переменных, где n это количество переменных, а m это количество уравнений, и решить m уравнений относительно оставшихся m переменных. Переменные, приравненные нулю, называются небазисными переменными или свободными, остальные называются базисными. Базисная переменная должна принимать положительное значение и входить только в одно уравнение. Для нашего примера, при поиске допустимого базисного решения, неопределенные ресурсные коэффициенты приравниваются нулю и образуют небазисные переменные. Это делается для того, чтобы не нарушать целочисленность расчетов. Для нахождения допустимого базисного решения необходимо ввести искусственные базисные переменные w_1 и w_4 в первое и четвертое уравнение соответственно, так как в этих уравнениях нет очевидных базисных переменных. При введении искусственного базиса уравнения принимают следующий вид:

$$w_1 = 32 - 13\alpha_1 - y_{11} - y_{14} - y_{15} \quad (3.9)$$

$$w_4 = 33 - 12\alpha_2 - y_{21} - y_{24} - y_{25} \quad (3.10)$$

Получаем следующую искусственную целевую функцию, которую необходимо минимизировать:

$$w = 65 - 13\alpha_1 - 12\alpha_2 - y_{11} - y_{14} - y_{15} - y_{21} - y_{24} - y_{25} \quad (3.11)$$

Симплекс-матрица исходных уравнений имеет вид, показанный в таблице 3.1. Допустимое базисное решение находится на втором шаге итерации, как показано в таблице 3.2.

По результатам расчета ресурсные связи Y_{15} и Y_{25} являются свободными переменными, а фронтальные связи Y_{16} и Y_{17} являются базисными переменными. Это означает, что фронтальные связи имеют определенное растяжение, а ресурсные связи, так как они являются свободными и равны нулю, имеют нулевое растяжение. Таким образом, была получена поточная организация строительства с НИР. При изменении условий ОТС строительства, в результате расчета может получиться любой другой метод организации строительства. Заранее предугадать, какой метод организации строительства будет получен без проведения расчетов затруднительно.

Таблица 3.1 – Исходные симплекс-уравнения (в прямоугольниках базисные переменные)

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y16	Y17	Y15	Y25
1	32	13		1			1							1	
2	37	8			1		1								
3	40	5		1		1									
4	33		12					1			1				1
5	37		8						1		1				
6	41		4					1		1					
7	28	5	12	1							1	1			1
8	24	13	8	1							1		1	1	
W	-65	-13	-12	-1			-1	-1			-1			-1	-1

Таблица 3.2 – Симплекс-уравнения после 2-й итерации (в прямоугольниках базисные переменные)

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y16	Y17	Y15	Y25
1	32	13		1			1							1	
2	5	-5		-1	1									-1	
3	40	5		1		1									
4	33		12					1			1				1
5	37		8						1		1				
6	8		-8							1	-1				-1
7	28	5	12	1							1	1			1
8	24	13	8	1							1		1	1	
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для того чтобы обеспечить заранее predeterminedный метод поточной организации работ, необходимо вводить определенные ограничения. Таким ограничением явля-

ется принудительный перевод переменных, обеспечивающих инвариантность predeterminedного метода поточной организации работ, в разряд свободных. При НИР такими переменными являются переменные, выражающие ресурсные связи, при НОФ – фронтальные. Чтобы это обеспечить, необходимо придерживаться определенного порядка при введении в базис множества свободных переменных.

Традиционно в линейном программировании принято, что в базис вводятся свободные переменные в порядке убывания их значений по модулю. Это правило разумно, но не существенно [183]. Также существует порядок, основанный на правиле Бленда [197] и гласящий, что должна выбираться первая подходящая переменная. Для обеспечения predeterminedного метода поточной организации работ используем порядок введения в базис множества свободных переменных, основанный на правиле Бленда. Также будет использована стратегия, известная в оптимизационных алгоритмах как «поиск с возвратом» [197–199]. Суть стратегии заключается в том, что после введения в базис очередной переменной поиск начинается с первой доступной к вводу в базис переменной, вплоть до нахождения допустимого базисного решения.

Продemonстрируем данное утверждение, найдя допустимое базисное решение для системы линейных уравнений (3.1–3.8) с обеспечением поточной организации работ по методу НОФ. Для этого, при решении примера ОТС строительства (см. рисунок 3.1), в таблице с исходными симплекс-уравнениями расположим переменные, выражающие фронтальные связи Y_{16} и Y_{17} , в самый конец. Так как в исходных фронтальных уравнениях очевидными базисными переменными являются переменные, выражающие фронтальные связи, необходимо ввести искусственные базисные переменные w_7 и w_8 в эти уравнения, как это сделано в формулах (3.12) и (3.13). Таким образом, переменные, выражающие фронтальные связи, не будут введены в базис.

$$w_7 = 28 - 5\alpha_1 - 12\alpha_2 - y_{11} - y_{24} - y_{25} - y_{16} \quad (3.12)$$

$$w_8 = 24 - 13\alpha_1 - 8\alpha_2 - y_{11} - y_{24} - y_{15} - y_{17} \quad (3.13)$$

Искусственная целевая функция, подлежащая минимизации, принимает следующий вид:

$$w = 117 - 31\alpha_1 - 32\alpha_2 - 3y_{11} - y_{14} - 2y_{15} - y_{21} - 3y_{24} - 2y_{25} - y_{16} - y_{17} \quad (3.14)$$

Исходные симплекс-уравнения показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Исходные симплекс-уравнения (в прямоугольниках базисные переменные)

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y15	Y25	Y16	Y17
1	32	13		1			1					1			
2	37	8			1		1								
3	40	5		1		1									
4	33		12					1			1		1		
5	37		8						1		1				
6	41		4					1		1					
7	28	5	12	1							1		1	1	
8	24	13	8	1*							1	1			1
W	-117	-31	-32	-3			-1	-1			-3	-2	-2	-1	-1

Таблица 3.4 – Симплекс-уравнения после 4-й итерации (в прямоугольниках базисные переменные)

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y15	Y25	Y16	Y17
1	8		-8				1				-1				-1
2	29	8	8		1						1				1
3	16	-8	-8			1					-1	-1			-1
4	29	8	8					1			1	1		-1	1
5	37		8						1		1				
6	12	-8	-4							1	-1	-1		1	-1
7	4	-8	4									-1	1	1	-1
8	24	13	8	1							1	1			1
W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы 3.4, переменные Y16 и Y17 являются свободными, а значит, равны нулю. Получено допустимое базисное решение при поточной организации

работ с НОФ. Таким образом, продемонстрирована методика, позволяющая находить допустимое базисное решение с заранее предопределенным методом поточной организации работ. Если же при обеспечении заранее предопределенного метода поточной организации работ допустимое базисное решение отсутствует, это говорит о недопустимости этого метода. В таком случае необходимо изменить метод организации работ, либо увеличить директивную продолжительность строительства.

При сравнении двух вариантов решения задачи линейного программирования – традиционным способом и с предопределенным методом поточной организации работ, видно, что последний вариант предполагает большее количество расчетных процедур. Для нашего примера получено соотношение итераций 2 к 4-м соответственно. Связано это с тем, что в ряде случаев для обеспечения заданного метода поточной организации работ необходимо вводить дополнительные искусственные базисные переменные. Традиционный способ ориентирован на нахождение глобального оптимума за минимальное количество расчетных процедур, но такой способ не обеспечивает необходимую организацию работ.

Совершенно очевидно, что благодаря методике введения ограничений на перевод переменных, выражающих связи между работами, в разряд свободных, можно создавать любые комбинации непрерывности выполнения работ.

3.2 Рейтинговый подход к ресурсной минимизации

При проведении оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства с минимизацией ресурсов типа «мощность» может возникнуть потребность в определении очередности оптимизации по видам работ. Добиться этого возможно введя рейтинговые коэффициенты, позволяющие расставлять приоритеты между работами. В таком случае оптимизация будет производиться в порядке убывания рейтингового коэффициента. Получаемые резервы времени, в первую очередь, будут распределяться между работами, обладающими большим рейтинговым коэффициентом.

В работе [136] предлагается следующий рейтинговый коэффициент:

$$\text{Rate} = -1/T_{\min} \quad (3.15)$$

где $T_{\min}$ – минимальная продолжительность строительства.

Коэффициент означает, что работы будут распределены в порядке увеличения их минимальной продолжительности. Применительно к уникальным объектам применение

такого коэффициента неэффективно. Связано это с тем, что для уникальных объектов характерно большое количество видов работ и частных фронтов. Таким образом, может возникнуть ситуация, когда одинаковой продолжительностью обладает значительное количество видов работ. В таком случае все эти работы будут обладать равным приоритетом. В работе [200] предлагается расставлять приоритеты в зависимости от стоимости работ. Но такая расстановка приоритетов невозможна в проектах, где в исходных данных отсутствует стоимость работ, что довольно часто случается при проектировании коммерческих объектов. Разработка сметной документации на коммерческие проекты не является обязательной согласно [140].

Разработка универсального рейтингового коэффициента строительно-монтажных работ при возведении уникальных объектов является достаточно сложной задачей. Связано это с тем, что спектр факторов, определяющих порядок оптимизации работ, достаточно велик и в конечном итоге конкретные критерии отбора определяет сам заказчик исходя из своих личных приоритетов. При этом факторы, определяющие порядок оптимизации, могут и не относиться к технико-экономическим показателям. Такими факторами, например, могут быть сезонность работ, доступность строительных материалов, особая топология работ.

Нами предлагается введение следующего рейтингового коэффициента:

$$\text{Rate} = R_{\text{макс}} / T_{\text{мин}} \quad (3.16)$$

где $R_{\text{макс}}$ – максимальное количество ресурсов.

Согласно предложенному коэффициенту, очередность оптимизации работ зависит от количества используемых ресурсов типа «мощность» в единицу времени. Эффективность данного коэффициента обусловлена большим потенциалом в оптимизации тех работ, в которых задействовано большее количество рабочих. При одинаковом проценте сокращения трудовых ресурсов, большего сокращения можно добиться в тех работах, где больше плотность использования этих ресурсов. При этом $R_{\text{макс}}$ и $T_{\text{мин}}$ являются известными величинами на этапе оптимизационного уменьшения трудовых ресурсов.

Продemonстрируем влияние введенного нами рейтингового коэффициента на процесс оптимизации. Для этого проведем оптимизационное уменьшение трудовых ресурсов на примере ОТС, представленной выше на рисунке 3.1. Примем допустимое базисное решение, обеспечивающее выполнение работ методом НОФ. Оно приведено выше в таблице 3.4. Максимальное количество трудовых ресурсов для первого вида работ

примем равным 14, для второго вида равным 21. Для наглядности проведем оптимизационное уменьшение вначале без учета рейтингового коэффициента, а затем с учетом этого коэффициента.

Начнем оптимизацию ресурсных коэффициентов в порядке очередности выполнения видов работ. Допустимая величина ресурсного коэффициента определяется из отношений резервов времени каждого уравнения к продолжительности работы, при этом определяется минимальное соотношение. Это необходимо для того, чтобы выбранная величина ресурсного коэффициента не приводила к появлению отрицательного резерва времени в системе уравнений. Для первого вида работ максимальный ресурсный коэффициент составляет:

$$\alpha_1(\text{макс}) = \min(29/8; 29/8; 24/13) = 1,85 \quad (3.17)$$

Отрицательные и нулевые продолжительности работ не учитываются, так как их увеличение не приведет к уменьшению резервов времени. В случае с отрицательной продолжительностью, при ее увеличении резервы времени будут также возрастать.

Зная ресурсный коэффициент, можем выразить из формулы (2.5) оптимизируемое количество трудовых ресурсов для первого вида работ.

$$R_1 = R_{1,\text{макс}} / (1 + \alpha_1) = 14 / (1 + 1,85) = 4,9 \quad (3.18)$$

Далее определяется оптимальная продолжительность с учетом оптимизированного количества трудовых ресурсов.

$$T_{\text{нов}} = T * \frac{R_{\text{макс}}}{R_{\text{опт}}} \quad (3.19)$$

Новый резерв времени будет определен следующим образом:

$$PEZ_{\text{нов}} = PEZ - (T_{\text{нов}} - T) \quad (3.20)$$

Симплекс-матрица первого этапа оптимизации показана в таблице 3.5.

В 8-м уравнении (таблица 3.5) получен нулевой резерв времени. Это говорит о том, что исчерпан лимит оптимизации для всех работ, у которых в уравнении с нулевым резервом положительная продолжительность. Таким образом, найдено оптимальное количество трудовых ресурсов при заданном ограничении продолжительности строительства 45 недель и выполнении работ методом НОФ.

Таблица 3.5 – Симплекс матрица первого этапа

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y15	Y25	Y16	Y17
1	8		-8				1				-1				-1
2	14,14	22,86	8		1						1				1
3	30,86	-22,86	-8			1					-1	-1			-1
4	14,14	22,86	8					1			1	1		-1	1
5	37		8						1		1				
6	26,86	-22,86	-4							1	-1	-1		1	-1
7	18,86	-22,86	4									-1	1	1	-1
8	0	37,14	8	1							1	1			1

Теперь проведем оптимизационный расчет с учетом рейтингового коэффициента. Рейтинговый коэффициент для первого и второго вида работ составит:

$$\text{Rate1} = 14 / 13 = 1,08 \quad (3.21)$$

$$\text{Rate2} = 21 / 12 = 1,75 \quad (3.22)$$

Коэффициент работы второго вида больше, поэтому начнем оптимизацию с нее, и найдем максимально допустимый ресурсный коэффициент для второго вида работ:

$$\alpha_2(\text{макс}) = \min(29/8; 29/8; 37/8; 4/4; 24/8) = 1 \quad (3.23)$$

Оптимизируемое количество трудовых ресурсов второго вида равно:

$$R_2 = R_{2,\max} / (1 + \alpha_1) = 21 / (1 + 1) = 10,5 \quad (3.24)$$

Симплекс-матрица после первого этапа оптимизации показана в таблице 3.6. Аналогичным образом найдем оптимальное количество трудовых ресурсов для первого вида работ. Симплекс-матрица после второго этапа показана в таблице 3.7.

Получен нулевой резерв времени в 8-м уравнении (таблица 3.7). Продолжительности обоих видов работ в этом уравнении положительные, что говорит об исчерпании оптимизационного потенциала. Графическая интерпретация восьмого уравнения с оптимальной продолжительностью изображена на рисунке 3.2.

Таблица 3.6 – Симплекс матрица после первого этапа

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y15	Y25	Y16	Y17
1	16		-16				1				-1				-1
2	21	8	16		1						1				1
3	24	-8	-16			1					-1	-1			-1
4	21	8	16					1			1	1		-1	1
5	29		16						1		1				
6	16	-8	-8							1	-1	-1		1	-1
7	0	-8	8									-1	1	1	-1
8	16	13	16		1						1	1			1

Таблица 3.7 – Симплекс матрица после второго этапа

№	Рез	α1	α2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y15	Y25	Y16	Y17
1	16		-16								-1				-1
							1								
2	11,2	17,8	16		1							1			
3	33,8	-17,8	-16			1		-1			-1	-1			
4	11,2	17,8	16					1	1		1	-1		1	
5	29		16						1	1					
6	25,8	-17,8	-8							1	-1	-1	1	-1	
7	9,8	-17,8	8									-1	1	1	-1
8	0	28,9	16	1						1	1			1	

	0 дней		j=1		j=2				45н
	i=1	Y11	11,1н	Y15	17,8н				
						Y17			
						j=2			
	i=2					16н	Y24		

Рисунок 3.2 – Графическая интерпретация восьмого уравнения в системе линейных уравнений

Если сравнить два варианта оптимизационного расчета, видно, что в первом варианте, без учета рейтингового коэффициента, оптимизационный потенциал был полностью исчерпан работой первого вида. При этом количество трудовых ресурсов первого вида было сокращено в 2,85 раза и составило $R_1=4,9$. Трудовые ресурсы работы второго вида сокращены не были. При учете рейтингового коэффициента, оптимизационный потенциал распределился между всеми работами. При этом количество трудовых ресурсов первого вида было сокращено в 2,23 раза и составило $R_1=6,3$. А количество трудовых ресурсов работы второго вида было сокращено в 2 раза и составило $R_2=10,5$. Таким образом, можно сделать следующий вывод: предлагаемый нами рейтинговый подход к оптимизации позволяет ранжировать работы по порядку распределения оптимизационных резервов времени. Благодаря такому подходу достигается большая оптимизация в наиболее приоритетных видах работ. При этом, предлагаемый нами ресурсный коэффициент, позволяет распределить работы в порядке сокращения использования ресурсов в единицу времени.

3.3 Учет временных ограничений и различных связей между работами

На качество выполнения и стоимость строительно-монтажных работ оказывают влияние различные факторы: природно-климатические, человеческий, материалы и механизмы, технология производства работ и др. [201–204]. Особо следует отметить природно-климатический фактор, который не поддается долгосрочному прогнозированию и регулированию. В связи с тем, что строительные работы производятся в естественных природно-климатических условиях, полностью исключить их влияние на технологию,

качество и стоимость выполняемых работ невозможно. Удастся лишь снизить негативное влияние природно-климатических условий. Одним из способов снижения такого влияния является рациональное проектирование календарного плана, а именно организация производства работ наиболее зависимых от природно-климатических условий в благоприятное время. С этой целью в календарный план могут вводиться ограничения на начало и окончание производства работ, а также лаги времени между смежными работами. При планировании работ по возведению уникальных объектов потребность в введении таких ограничений особенно велика. Связано это с тем, что уникальные объекты характеризуются повышенной степенью ответственности и надежности здания, что приводит и к повышению требований к качеству промежуточной и готовой строительной продукции. Выполнение строительных работ в неблагоприятный природный период повышает риски возникновения брака, а также ведет к дополнительным издержкам. Большое количество видов работ характерное для уникальных объектов только усиливает суммарное негативное влияние неблагоприятных природно-климатических условий на качество промежуточной и готовой строительной продукции.

В методе неопределенных ресурсных коэффициентов, предложенном в [136], производилось оптимизационное уменьшение трудовых ресурсов для ОТС строительства без учета вышеизложенных ограничений.

Вводимые ограничения на начало и окончание работ, а также лаги времени оказывают влияние на процедуру проведения оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов. Влияние выражается в сокращении резервов времени, используемых для оптимизационного уменьшения трудовых ресурсов.

Рассмотрим влияние этих ограничений на примере ОТС, изображенной на рисунке 3.3. В качестве основы ОТС взят ранее приведенный пример, позволяющий выявить отличительные особенности составления системы линейных уравнений с учетом ограничений на начало и окончание работ.

Как показано на рисунке 3.3, введены ограничения на окончание первого вида работ на первом частном фронте и начало второго вида работ на втором частном фронте. Работа первого вида на первом частном фронте не может окончиться позднее 9 недель, а работа второго вида на втором фронте не может начаться раньше, чем через 15 недель после начала строительства.

						Минимальная продолжительность	Директивная продолжительность
	Y12	j=1	9н	j=2		21н	45н
0 дней							
i=1	Y11	5н	Y15	8н		Y14	
						Y13	
			Y16		Y17		
	Y22			15н			
		j=1		j=2			
i=2	Y21	4н	Y25	8н		Y24	
						Y23	

Рисунок 3.3 – Пример организационно-технологической схемы строительства с введенными ограничениями на начало и окончание работ

Описание ОТС строительства, показанной на рисунке 3.3, производится той же системой линейных уравнений, что и описание ОТС на рисунке 3.1. Исключение составляет конечное уравнение для первого вида работ на первом фронте и начальное уравнение для второго вида работ на втором фронте. Это связано с тем, что данные ограничения будут учтены только этими уравнениями.

Конечное уравнение для первого вида работ на первом фронте:

$$9-5=5\alpha_1 + y_{11} + y_{13} \quad (3.25)$$

При сравнении аналогичного конечного уравнения для ОТС строительства без учета ограничения на окончание работы первого вида на первом частном фронте с полученным уравнением видно, что резерв времени сократился с 40 до 4.

Начальное уравнение для второго вида работ на втором фронте:

$$45-15-8=8\alpha_2 + y_{22} + y_{24} \quad (3.26)$$

Видно, что резерв времени сократился с 37 до 22.

Введение лагов времени между смежными работами также приводит к сокращению резервов времени. Введем лаг времени для фронтальной связи Y17 равный 3 недели в ОТС, показанную на рисунке 3.3. Лаг времени будет учтен во втором фронтальном уравнении второго вида работ:

$$24=13\alpha_1 + 8\alpha_2 + y_{11} + y_{24} + y_{15} + 3y_{17} \quad (3.27)$$

После введения в базис фронтальной связи Y17 фронтальное уравнение примет следующий вид:

$$8=(13/3)\alpha_1 + (8/3)\alpha_2 + (1/3)y_{11} + (1/3)y_{24} + (1/3)y_{15} + y_{17} \quad (3.28)$$

Резерв времени сократился с 24 до 8.

Симплекс-матрица исходных уравнений для организационно-технологической схемы строительства, представленной на рисунке 3.3, с лагом времени фронтальной связи Y17 показана в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Исходные симплекс-уравнения

№	Рез	α_1	α_2	Y11	Y12	Y13	Y14	Y21	Y22	Y23	Y24	Y16	Y17	Y15	Y25
1	32	13		1			1*							1	
2	37	8			1		1								
3	4	5		1		1									
4	33		12					1			1				1
5	22		8						1		1				
6	41		4					1		1					
7	28	5	12	1							1	1			1
8	24	13	8	1							1		3	1	
W	-65	-13	-12	-1			-1	-1			-1			-1	-1

В ОТС, изображенных на рисунках 3.1, 3.2 и 3.3, фронтальные связи относятся к группе конечно-начальных связей. Система линейных уравнений этих ОТС составлялась с учетом фронтальных конечно-начальных связей. Всего же связи, по характеру связываемых событий, делятся на 4 группы: конечно-начальные, начально-начальные, конечно-конечные, начально-конечные [194].

ОТС с начально-начальной фронтальной связью показана на рисунке 3.4.

						Минимальная продолжительность	Директивная продолжительность
0 дней		j=1		j=2		21н	45н
i=1	Y11	5н		8н			
		Y16		Y17			
		j=1		j=2			
i=2		4н	Y25	8н	Y24		

Рисунок 3.4 – Организационно-технологическая схема с начально-начальными фронтальными связями

В работе [136] в МНРК учитывались конечно-начальные связи между смежными работами. В предлагаемом нами оптимизационном расчете директивной продолжительности строительства уникальных объектов учитываются все выше перечисленные типы связей. Учет конкретного типа связи производится при формировании фронтальных уравнений. Проиллюстрируем формирование фронтальных уравнений для рассмотренной выше ОТС (рисунок 3.3) при каждом типе связей.

Связь Y16 является начально-начальной. Фронтальное уравнение при таком типе связи примет следующий вид:

$$33=12\alpha_2+y_{11}+y_{24}+y_{16}+y_{25} \quad (3.29)$$

В связи с тем, что фронтальная связь Y16 является начально-начальной, учет продолжительностей работ первого вида не производится. ОТС с конечно-конечными и начально-конечными фронтальными связями показана на рисунке 3.5.

						Минимальная продолжительность		Директивная продолжительность
0 дней		j=1			j=2	21н		45н
i=1	Y11	5н	Y15		8н			
			Y16		Y17			
i=2		j=1		j=2		Y24		
		4н	Y25	8н				

Рисунок 3.5 – Организационно-технологическая схема с конечно-конечными и начально-конечными фронтальными связями

Фронтальная связь Y16 является конечно-конечной, Y17 является начально-конечной. Фронтальные уравнения будут иметь следующий вид:

$$32=5\alpha_1+8\alpha_2+y_{11}+y_{24}+y_{16}+y_{25} \quad (3.30)$$

$$40=5\alpha_1+y_{11}+y_{24}+y_{17}+y_{15} \quad (3.31)$$

Как видно, получаемые фронтальные уравнения изменяются при изменении типа связей. Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод. Предлагаемый нами оптимизационный расчет директивной продолжительности строительства уникальных объектов позволяет учитывать ограничения на начало и окончание работ, лаги времени и различные типы связей между смежными работами. Это достигается за счет системного описания ОТС строительства линейными уравнениями, позволяющими учесть топологические, временные и ресурсные ограничения.

Продemonстрируем условия возникновения неполной минимизации ресурсов типа «мощность» на примере ОТС строительства, изображенной на рисунке 3.6.

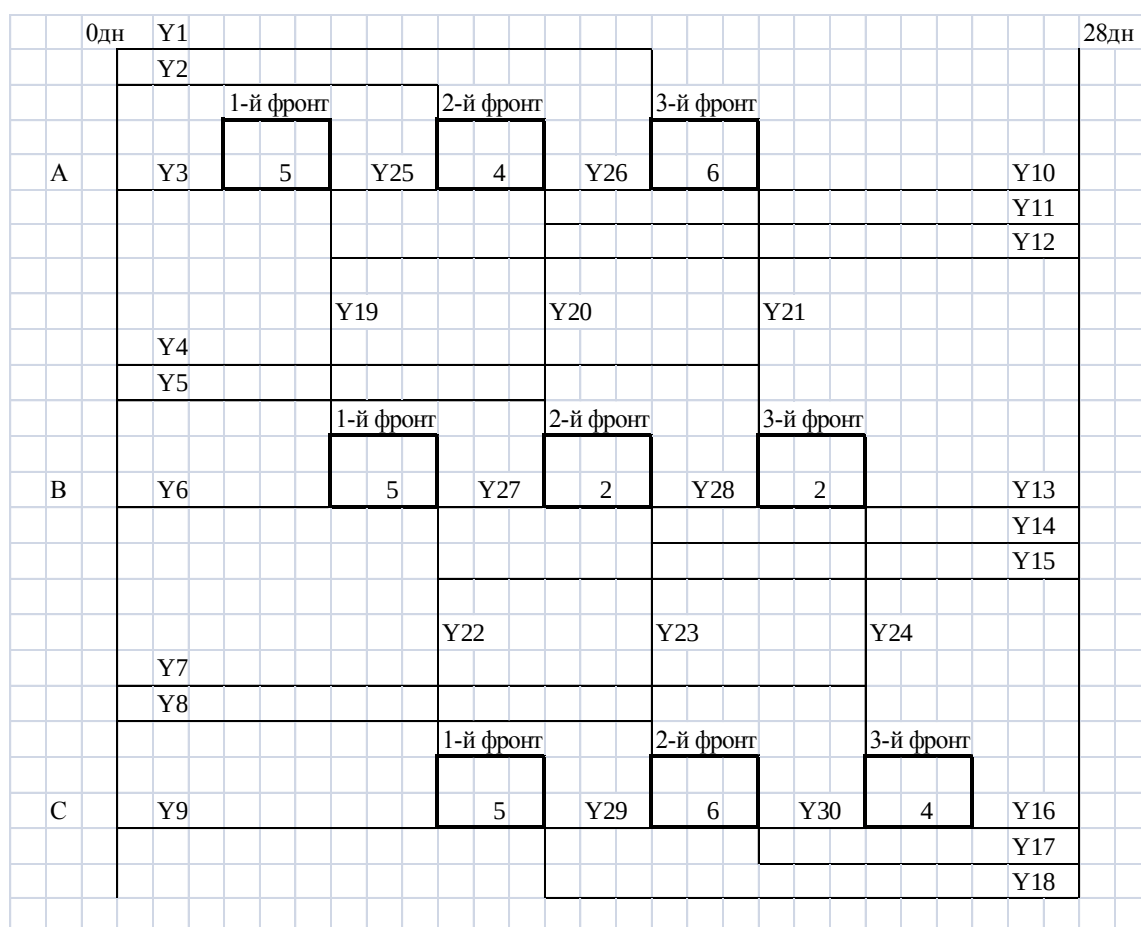


Рисунок 3.6 – Организационно-технологическая схема строительства

Работы выполняются методом НИР. Расписание работ рассчитано в матрице на рисунке 3.7. Стрелками показано направление критического пути. По результатам расчета минимальная продолжительность строительства составит 28 дней. Максимальное количество трудовых ресурсов примем равным 5 в каждом виде работ. При анализе полученной матрицы расписания работ (рисунок 3.7) видно, что критический путь, проходя через второй частный фронт работы вида «В» начинается с ее конца. Такое явление назовем «обратным обобщенным критическим путем». При построении циклограммы ОТС, изображенной на рисунке 3.8, отчетливо виден «обратный обобщенный критический путь». Жирными линиями на циклограмме выделено направление критического пути.

ОФР	А		В		С		Макс. R
1	0	5	8	13	13	18	5
2	5	9	13	15	18	24	5
3	9	15	15	17	24	28	5

Рисунок 3.7 – Расчет расписания работ методом НИР

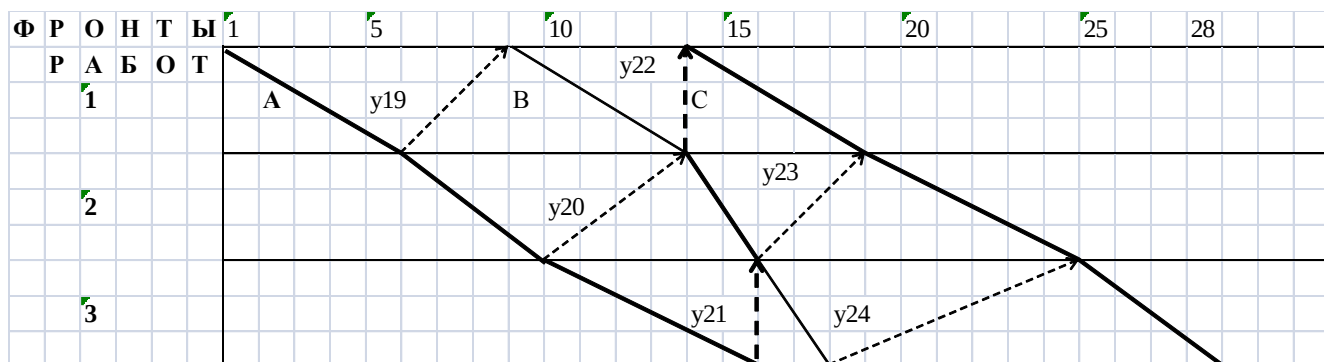


Рисунок 3.8 – Циклограмма исходного расписания работ

На циклограмме (рисунок 3.8) видно, что работа вида «В» обладает резервами времени для проведения оптимизации. Продолжительность выполнения работы вида «В» можно продлить на всех частных фронтах, и при этом сохранить нулевое растяжение фронтальной связи y_{22} . Выполним оптимизационное уменьшение трудовых ресурсов при помощи предлагаемого нами метода. Симплекс-матрица допустимого базисного решения приведена в таблице 3.9.

Прямоугольниками выделены базисные переменные. Уравнение под номером 18 (таблица 3.9) описывает наличие «обратного обобщенного критического пути». Отрицательные коэффициенты при переменных говорят об изменении направления работ и связей относительно направлений, показанных в ОТС на рис. 3.6, на противоположные.

На основании полученного базисного решения проводим оптимизацию трудовых ресурсов и получаем симплекс-матрицу, показанную в таблице 3.10. Получен ресурсный коэффициент равный $\alpha_B=0,43$. Оптимизированное число трудовых ресурсов работы «В» соответственно равно $R_B=3,5$. Таким образом, продолжительность выполнения работы вида «В» будет увеличена в 1,43 раза. Полученный нулевой резерв времени в 16-м уравнении (таблица 3.10) говорит о невозможности дальнейшей оптимизации трудовых ресурсов работы вида «В». Но при анализе циклограммы, описывающей полученное решение, выявлен неиспользованный резерв времени. Соответствующая циклограмма показана на рисунке 3.9.

На циклограмме видно, что начало работы «А» выполняется с определенным лагом времени. Лаг времени учтен в уравнении 18 (таблица 3.10), где начальная связь «у3» работы вида «А» на первом частном фронте равна 0,9 дн.

Уравнение 16 (таблица 3.10), в котором получен нулевой резерв времени, не позволяющий провести дальнейшую оптимизацию работы вида «В», состоит только из переменных, описывающих продолжительности работ, фронтальные и ресурсные связи. Такое уравнение относится к уравнению «внутреннего» характера. Соответственно уравнения «внешнего» характера будут включать начальные и/или конечные связи [136]. Особенность уравнений «внутреннего» характера заключается в том, что наличие

нулевого резерва в них означает лишь исчерпание резервов времени внутри конкретного уравнения. При этом в ОТС строительства резервы времени для дальнейшей оптимизации могут присутствовать. Только исчерпание резервов времени во «внешних» уравнениях фиксирует полную минимизацию трудовых ресурсов.

Преодоление ресурсного замка возможно тремя способами: изменение метода поточной организации работ, введение фронтальных ресурсных коэффициентов и инверсия базисной переменной, приводящей к неполной оптимизации.

3.5 Преодоление «ресурсного замка»

В работе [136] предложен способ преодоления «ресурсного замка» путем изменения метода поточной организации работ. При использовании этого способа, как следует из работы [136], происходила трансформация предопределенного метода поточной организации работ в МКП. Демонстрация применения этого способа для решения «ресурсного замка» со всеми сопутствующими расчетами в работе [136] отсутствовала.

Нами предлагается способ преодоления «ресурсного замка» путем перебора методов поточной организации работ. При этом возможна трансформация предопределенного метода поточной организации работ в любой другой. Продемонстрируем применение этого способа на примере ОТС с рисунка 3.6. Для преодоления «ресурсного замка» заменим исходно принятый метод НИР на НОФ, исходная матрица которого показана на рисунке 3.10.

ОВР	1	2	3
А	0 5 5	9 13 4	13 19 6
В	5 10 5	13 15 2	19 21 2
С	10 15 5	15 21 6	21 25 4

Рисунок 3.10 – Исходная матрица расписаний работ по методу НОФ

Как видно из матрицы расписаний работ прослеживается наличие как «обратного обобщенного критического пути», так и «прямого обобщенного критического пути». Под «прямым обобщенным критическим путем» понимается направление критического пути, совпадающее с очередностью выполнения работ и направлением освоения част-

ных фронтов. Более наглядно это продемонстрировано на циклограмме исходного расписания работ по методу НОФ (рисунок 3.11).

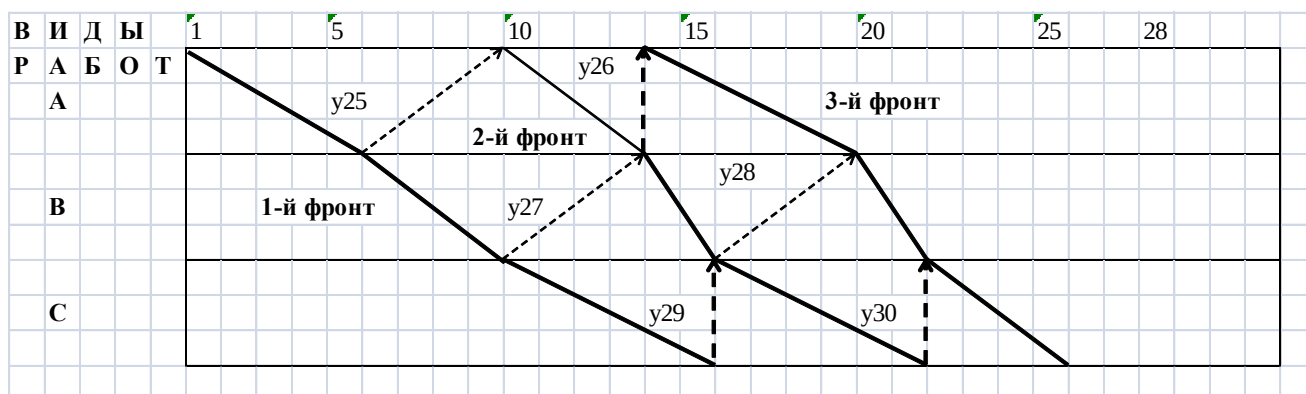


Рисунок 3.11 – Циклограмма исходного расписания работ методом НОФ

Жирными линиями выделено направление критического пути. Наличие «прямого обобщенного критического пути», независимо от наличия «обратного», обуславливает возможность проведения полной оптимизации трудовых ресурсов без возникновения «ресурсного замка» выбранным методом поточной организации работ. В противном случае возникнет эффект «ресурсного замка». Таким образом, по направлению критического пути можно заранее предугадать возникновение эффекта «ресурсного замка» в том или ином методе поточной организации работ. В нашем случае замена метода НИР на метод НОФ для преодоления «ресурсного замка» допустима. Допустимое базисное решение для метода НОФ находится за 9 шагов итераций. Для обеспечения предопределенного метода поточной организации работ с НОФ используется методика, описанная ранее, а допустимое базисное решение показано в таблице 3.11.

Для сопоставимости с предыдущим примером проведем минимизацию трудовых ресурсов работы вида «В». В результате проведенной минимизации получено сокращение трудовых ресурсов в 1,6 раз. Ресурсный коэффициент равен $\alpha_B = 0,6$. Оптимизированное число трудовых ресурсов работы «В», соответственно, равно $R_B = 3,1$. Нулевой резерв времени получен в уравнении 18 и 21 (см. таблицу 3.12). Уравнение 18 является уравнением «внешнего» характера. Нулевой резерв и положительные ресурсные коэффициенты всех видов работ в уравнении 18 фиксирует полное исчерпание резервов времени для дальнейшей минимизации трудовых ресурсов. В предыдущем примере, при возникновении «ресурсного замка», ресурсный коэффициент работы «В» был равен $\alpha_B = 0,43$, оптимизированное число трудовых ресурсов составило $R_B = 3,5$.

Таблица 3.11 – Симплекс-матрица исходного базисного решения

№	Резерв	Ресурс. коэф			Связи																													
					Начальные									Конечные									Ресурсные						Фронтальные					
		α A	α B	α C	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5	Y 6	Y 7	Y 8	Y 9	Y 10	Y 11	Y 12	Y 13	Y 14	Y 15	Y 16	Y 17	Y 18	Y 25	Y 26	Y 27	Y 28	Y 29	Y 30	Y 19	Y 20	Y 21	Y 22	Y 23	Y 24
1	6	-2	-4										1						-1													-1		-1
2	12	4	2	10		1													1									1		1		1		
3	16	6	2	4	1														1												1		1	
4	4			-4													1		-1														-1	
5	16		2	10					1										1									1				1		
6	22		2	4			1												1														1	
7	13			15									1						1								1	1						
8	18			10								1							1									1						
9	24			4							1								1															
10	20	-5	-15													1			-1								-1	-1	-1			-1		
11	12		-2	-10											1				-1									-1			-1		-1	
12	15			-15														1	-1								-1	-1			-1			
13	10			-10														1		-1							-1	-1				-1		
14	10			-10															-1			1					-1	-1						
15	4			-4															-1		1						-1	-1						
16	3		2	-5																					1		-1					-1	1	
17	4		2	-6																						1		-1				-1	1	
18	3	5	5	15		1													1								1	1	1			1		
19	8		5	15					1										1								1	1				1		
20	4	4	-3	-5																			1				-1		-1	1		-1	1	
21	0	6		-6																				1				-1	-1	1		-1	1	

Таблица 3.12 – Симплекс-матрица после оптимизации

№	Резерв	Ресурс. коэф			Связи																														
					Начальные									Конечные									Ресурсные						Фронтальные						
		α A	α B	α C	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5	Y 6	Y 7	Y 8	Y 9	Y 10	Y 11	Y 12	Y 13	Y 14	Y 15	Y 16	Y 17	Y 18	Y 25	Y 26	Y 27	Y 28	Y 29	Y 30	Y 19	Y 20	Y 21	Y 22	Y 23	Y 24	
1	7,2	-3,2	-4										1						-1													-1		-1	
2	10,8	4	3,2	10		1													1									1		1		1			
3	14,8	6	3,2	4	1														1												1		1		
4	4			-4													1		-1														-1		
5	14,8		3,2	10					1										1								1					1			
6	20,8		3,2	4			1												1														1		
7	13			15									1						1								1	1							
8	18			10								1							1								1								
9	24			4							1								1																
10	23		-8	-15												1			-1								-1	-1	-1			-1			
11	13,2		-3,2	-10										1					-1									-1	-1		-1		-1		
12	15			-15															1								-1	-1				-1			
13	10			-10														1		-1							-1	-1				-1			
14	10			-10															-1		1						-1	-1							
15	4			-4															-1		1						-1	-1							
16	1,8		3,2	-5																						1		-1					-1	1	
17	2,8		3,2	-6																						1		-1					-1	1	
18	0	5	8	15		1														1							1	1	1			1			
19	5		8	15					1											1							1	1				1			
20	5,8	4	-4,8	-5																			1				-1			-1	1		-1	1	
21	0	6		-6																				1				-1			-1	1		-1	1

Отсутствие резервов времени наглядно демонстрирует и циклограмма, отображающая полную минимизацию трудовых ресурсов (см. рисунок 3.12).

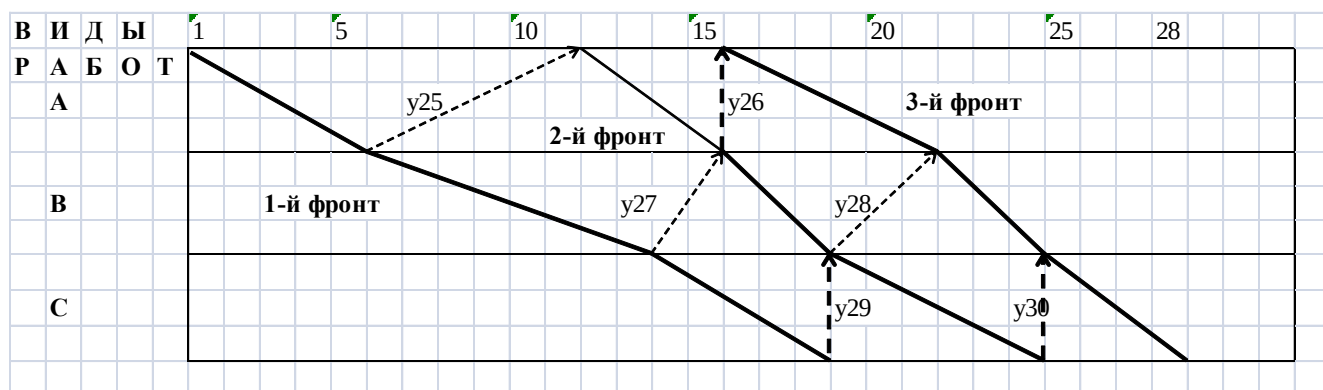


Рисунок 3.12 – Циклограмма после полной минимизации трудовых ресурсов

Таким образом, мы преодолели «ресурсный замок», добившись полной минимизации трудовых ресурсов благодаря замене метода поточной организации работ с НИР на НОФ. При этом удалось сократить трудовые ресурсы работы «В» в 1,6 раз, в сравнении с величиной 1,43 при возникновении эффекта «ресурсного замка». Длительность строительства осталась неизменной и равнялась 28 дням.

Еще одним способом преодоления «ресурсного замка» является введение индивидуальных ресурсных коэффициентов для каждого частного фронта. Назовем такие коэффициенты «фронтальными». Как было сказано ранее «ресурсный замок» образуется во «внутренних» уравнениях с нулевым резервом времени.

Введение «фронтальных» ресурсных коэффициентов в работу, для которой исчерпан резерв времени «внутреннего» уравнения, позволит провести оптимизацию трудовых ресурсов отдельно для каждого частного фронта. Продолжительности работ и соответственно оптимизированное количество трудовых ресурсов для тех фронтов, которые входят в «ресурсный замок» фиксируются и остаются неизменными. Оставшиеся резервы времени используются для оптимизации трудовых ресурсов частных фронтов, не попавших в «ресурсный замок».

Для «фронтальных» ресурсных коэффициентов получение нулевого резерва времени во «внутреннем», либо «внешнем» уравнении будет свидетельствовать о достижении полной оптимизации. Для остальных ресурсных коэффициентов завершение оптимизации будет фиксироваться только при получении нулевого резерва времени во внешнем уравнении.

Рассмотрим применение данного способа на примере ОТС строительства, представленной ранее (см. рисунок 3.6). На первом шаге оптимизации в 16-м уравнении (см. таблицу 3.10) возник «ресурсный замок». Рассмотрим графическую интерпретацию этого уравнения (см. рисунок 3.13). Как видно из рисунка 3.13 нулевой резерв времени получен для работы «В» на первом и втором частном фронте. Так как работа «В» выполняется на трех частных фронтах, разделим единый ресурсный коэффициент α_B на три «фронтальных»: α_{B1} , α_{B2} и α_{B3} . Индекс при коэффициентах характеризует вид работы и номер частного фронта.

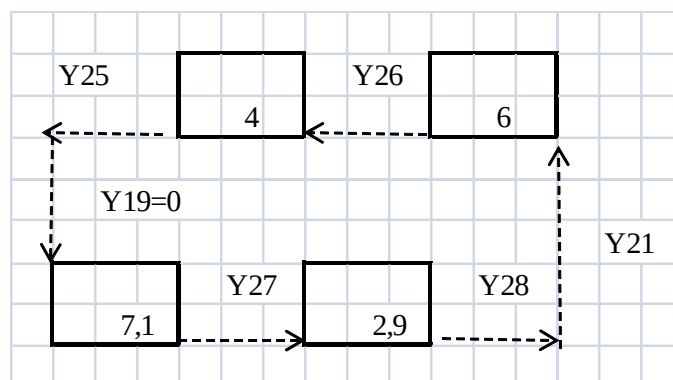


Рисунок 3.13 – Графическая интерпретация 16-го уравнения

В «ресурсный замок» попал первый и второй фронт работы вида «В», а значит, ресурсные коэффициенты для этих фронтов фиксируются, и оптимизация проводится для ресурсного коэффициента третьего фронта.

В результате проведенной оптимизации трудовых ресурсов работы «В» на третьем частном фронте удалось сократить их количество с 3,5 (величина при «ресурсном замке») до 1,25. Продолжительность увеличилась с 2,9 (величина при «ресурсном замке») до 8,1. Результаты второго шага оптимизации (на первом шаге был получен ресурсный замок) показаны в таблице 3.13. Связи в таблице не приведены, так как в процессе оптимизации они остаются неизменны. После второго шага оптимизации получены нулевые резервы времени для всех «фронтальных» ресурсных коэффициентов.

Для работ «А» и «С» резервы времени не исчерпаны. Оптимизируем работу «А». Результаты оптимизации приведены в таблице 3.13 (3-й шаг оптимизации). В уравнении 16 после 3-го шага оптимизации появился резерв времени 0,6 для фронтальных ресурсных коэффициентов α_{B1} и α_{B2} . Можно провести оптимизацию для любого из этих коэффициентов. Результаты оптимизации коэффициента α_{B1} приведены в таблице 3.13 (4-й шаг оптимизации). Количество трудовых ресурсов для работы «В» на первом фронте

удалось сократить с 3,5 (величина при «ресурсном замке») до 3,2. После 4-го шага оптимизации получены нулевые резервы для всех ресурсных коэффициентов.

Таблица 3.13 – Симплекс-матрица после полной оптимизации

2-й шаг оптимизации							3-й шаг оптимизации							4-й шаг оптимизации						
№	Резерв	Ресурс. коэф					Резерв	Ресурс. коэф					Резерв	Ресурс. коэф						
		α_A	α_{B1}	α_{B2}	α_{B3}	α_C		α_A	α_{B1}	α_{B2}	α_{B3}	α_C		α_A	α_{B1}	α_{B2}	α_{B3}	α_C		
1	12,1			2,9		-15	12,1			2,9		-15	12,1			2,9		-15		
2	5,9	10		-2,9		15	5,3	10,6		-2,9		15	5,3	10,6		-2,9		15		
3	9,9	6		-2,9		15	9,5	6,4		-2,9		15	9,5	6,4		-2,9		15		
4	4			2,9	8,1	-15	4			2,9	8,1	-15	4			2,9	8,1	-15		
5	13					15	13					15	13					15		
6	15,9			-2,9		15	15,9			-2,9		15	15,9			-2,9		15		
7	13					15	13					15	13					15		
8	18					10	18					10	18					10		
9	24					4	24					4	24					4		
10	22,1	-10		2,9		-15	22,6	-10,6		2,9		-15	22,6	-10,6		2,9		-15		
11	18,1	-6		2,9		-15	18,4	-6,4		2,9		-15	18,4	-6,4		2,9		-15		
12	15					-15	15					-15	15					-15		
13	12,1			2,9		-15	12,1			2,9		-15	12,1			2,9		-15		
14	10					-10	10					-10	10					-10		
15	4					-4	4					-4	4					-4		
16	0	-10	7,1	2,9			0,6	-10,6	7,1	2,9			0	-10,6	7,7	2,9				
17	3,1	-6		2,9			3,5	-6,4		2,9			3,5	-6,4		2,9				
18	0,9	15		-2,9		15	0	15,9		-2,9		15	0	15,9		-2,9		15		
19	5,9		7,1			15	5,9		7,1			15	5,3		7,7			15		
20	2,1			2,9		-5	2,1			2,9		-5	2,1			2,9		-5		
21	0			2,9	8,1	-11	12,1			2,9		-15	0			2,9	8,1	-11		

Несмотря на то, что для фронтальных коэффициентов нулевые резервы времени получены во «внутренних» уравнениях, дальнейшая их оптимизация невозможна. Наглядно это демонстрирует циклограмма после полной минимизации трудовых ресурсов (рисунок 3.14).

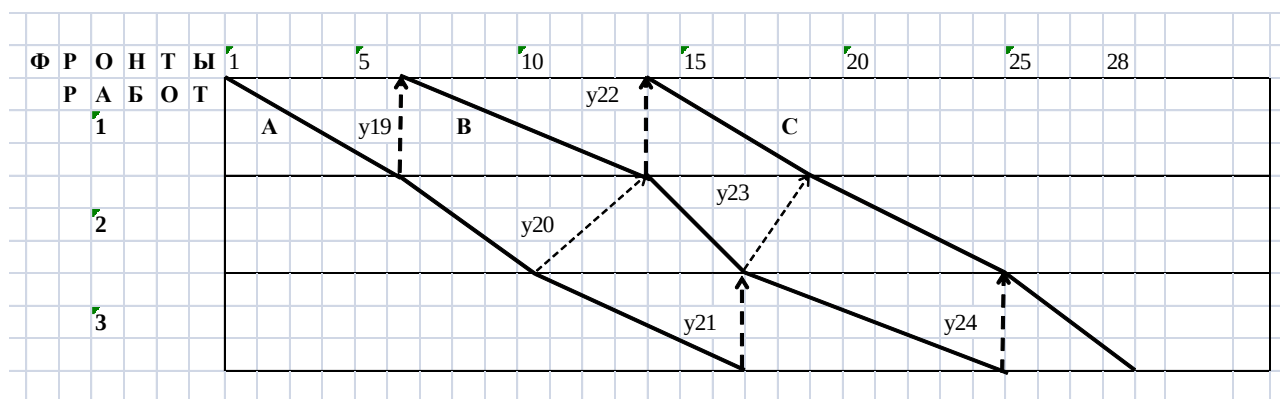


Рисунок 3.14 – Циклограмма после полной минимизации трудовых ресурсов

В результате разделения единого для всех частных фронтов работы вида «В» ресурсного коэффициента на «фронтальные» удалось добиться полной минимизации. При этом, количество трудовых ресурсов для первого фронта удалось сократить с 3,5 (величина при «ресурсном замке») до 3,2, для третьего фронта с 3,5 до 1,25. Необходимо подчеркнуть особенность «фронтальных» коэффициентов, заключающуюся в фиксировании окончания оптимизации при достижении нулевого резерва во «внутреннем», либо «внешнем» уравнении.

В работе [136] действие эффекта «ресурсного замка», приводящего к неполной оптимизации, предлагалось снимать при помощи инверсии базисной переменной. Суть этого подхода заключается в замене базисной переменной, приводящей к нулевому резерву времени во внутреннем уравнении. Такой прием позволял снять действие эффекта «ресурсного замка» и провести полную оптимизацию. Необходимо заметить, что в МНРК [136] описание ОТС строительства системой линейных уравнений производилось при помощи «балансовых» и «разностных» уравнений. «Разностные» уравнения представляют собой равенство, где одна часть уравнения состоит из суммы продолжительностей всех работ исполнителя плюс растяжения связей между работами, а во второй части разность между ограничением на окончание и начало работы. В разностные уравнения все переменные входят с одним знаком. «Балансовые» уравнения представляют собой разность продолжительностей двух ветвей, исходящих из общего события, определяемого началом фронтальной связи. В балансовые уравнения входят переменные с разными знаками. В адаптированном нами методе НРК описание ОТС строительства производится только с помощью уравнений «разностного» типа. Использование только разностных уравнений в описании ОТС строительства ведет к увеличению количества уравнений и переменных. Количество переменных увеличивается за счет введения дополнительных начальных и конечных связей каждого частного фронта. Благодаря этому появляется дополнительная возможность МНРК, заключающаяся в учете ограничений на начало и окончание работ.

В связи с тем, что используемая в [136] методика описания ОТС строительства системой линейных уравнений отличается от адаптированного нами МНРК, необходимо обосновать эффективность применения инверсии базисной переменной как инструмента для преодоления эффекта «ресурсного замка».

Обоснование эффективности приведем на примере ОТС строительства, представленной на рисунке 3.6. Как было сказано выше, в рассматриваемой нами ОТС строительства при оптимизации обнаружен эффект «ресурсного замка». После первого этапа оптимизации в уравнении 16 (см. таблицу 3.10) были исчерпаны все резервы времени для оптимизации работы вида «В». Но так как нулевой резерв получен во внутреннем уравнении, оптимизация произведена не полностью. Если рассмотреть графическую интерпретацию 16-го уравнения (рисунок 3.15), то видно, что работу вида «В» можно продлить только благодаря сдвигу вправо.

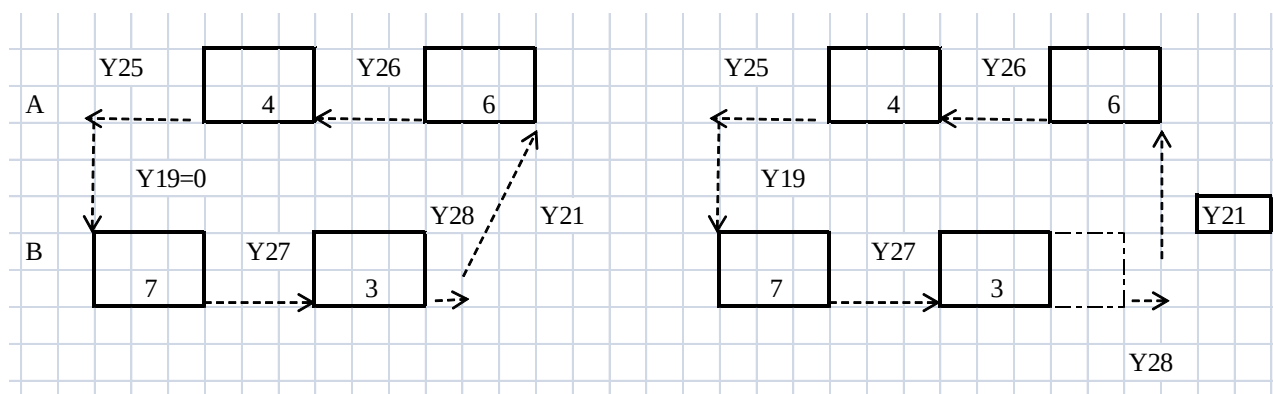


Рисунок 3.15 – Графическая интерпретация 16-го уравнения

Сдвиг работы влево невозможен в виду того, что базисная переменная y_{19} равна нулю. Для того чтобы сдвинуть работу «В» вправо необходимо перевести в базис переменную y_{21} , так как она является свободной, а значит равна нулю. Умножив 16-е уравнение на «-1», мы сможем ввести в базис переменную y_{21} и провести дальнейшую оптимизацию.

Результатом инверсии базисной переменной послужило сокращение трудовых ресурсов работы «В» с 3,5 (величина при «ресурсном замке») до 3,1. Нулевой резерв времени получен в уравнении (18), являющемся «внешним» уравнением, что фиксирует полную оптимизацию трудовых ресурсов (см. таблицу 3.14). Таким образом, можно утверждать, что для преодоления неполной оптимизации в адаптированном нами МНРК инверсия базисной переменной является эффективным инструментом.

Более наглядно результаты оптимизации изображены на циклограмме (рисунок 3.16). Как видно из циклограммы имеется «прямой обобщенный критический путь», что также свидетельствует об отсутствии признаков наличия «ресурсного замка».

Таблица 3.14 – Симплекс-матрица после полной минимизации

№	Резерв	Ресурс. коэф		
		αA	αB	αC
1	13	10	-8	-15
2	5		8	15
3	9	-4	8	15
4	8,6		6,4	-15
5	13			15
6	16,2		-3,2	15
7	13			15
8	18			10
9	24			4
10	23		-8	-15
11	19	4	-8	-15
12	15			-15
13	11,8		3,2	-15
14	10			-10
15	4			-4
16	1,2	10	-11,2	
17	4	4	-8	
18	0	5	8	15
19	5		8	15
20	1,8		3,2	-5
21	4,6		6,4	-11

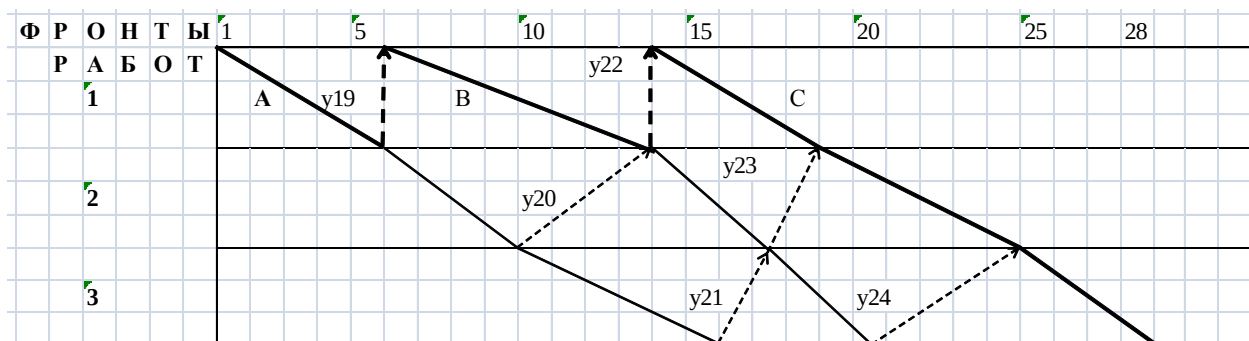


Рисунок 3.16 – Циклограмма после полной оптимизации

При проведении сравнительного анализа всех вышеизложенных способов преодоления не полной оптимизации было установлено, что наиболее эффективным является способ, основанный на введении «фронтальных» ресурсных коэффициентов. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Результаты сравнительного анализа

Название способа преодоления не полной минимизации	Величина ресурсного коэффициента αB
Перебор методов поточной организации работ	0,6
Введение «фронтальных» коэффициентов	1,08
Инверсия базисной переменной	0,6

Критерием эффективности являлось значение ресурсного коэффициента. Для «фронтальных» коэффициентов был выведен средневзвешенный ресурсный коэффициент, позволяющий сопоставить его с ресурсными коэффициентами, полученными при применении других способов преодоления неполной минимизации.

Выводы по третьей главе

1. Установлено, что применение классического метода линейного программирования для оптимизации трудовых ресурсов не предусматривает возможность целенаправленного выбора метода поточной организации строительства. Для устранения данного ограничения разработана методика, позволяющая создавать любые комбинации непрерывности выполнения работ.
2. Предложен рейтинговый подход к оптимизации, который позволяет ранжировать работы в порядке сокращения использования ресурсов в единицу времени.
3. Выявлены дополнительные возможности МНРК, заключающиеся в учете ограничений на начало и окончание работ, лагов времени и различных типов связей между смежными работами. Это достигается за счет системного описания организационно-технологической схемы строительства линейными уравнениями, позволяющими учесть топологические, временные и ресурсные ограничения.
4. Предложены новые подходы к решению проблемы неполной оптимизации, имевшей место в МНРК, и доказана эффективность применения в адаптированном нами МНРК подхода, основанного на инверсии базисной переменной.

ГЛАВА 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА РАСЧЕТА ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННОГО НА МИНИМИЗАЦИИ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ

4.1 Практическая методика реализации оптимизационного расчета в программах управления проектами

Как было отмечено в первой главе, реализация оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства будет производиться в программе управления проектами Microsoft Project. В эту программу встроен язык программирования Visual Basic for Application, с помощью которого нами разработан оптимизационный макрос. На рис. 4.1 показана общая блок-схема адаптированного и усовершенствованного нами МНРК.

Прежде чем начать оптимизационный расчет необходимо подготовить электронную таблицу МР с целью организации входящих, рассчитанных и отображаемых информационных потоков. Для этого нам понадобится функция МР, позволяющая создавать пользовательские столбцы и вносить в них различные данные, в том числе расчетные формулы. При перечислении необходимых столбцов, в квадратных скобках будут указаны их оригинальные названия, задаваемые программой.

Создавая новый файл в МР, по умолчанию в нем содержатся следующие столбцы: [индикаторы], [название], [длительность], [начало], [окончание], [предшественники], [названия ресурсов]. В столбец [название] вносятся работы календарного графика, составляющие весь комплекс организации строительства объекта. В [длительность], [начало] и [окончание] вносятся минимальная длительность работы и соответствующие ей начало и окончание. Отметим, что все длительности в календарном плане необходимо вводить в неделях. Это сделано для того, чтобы добиться соответствия между длительностью, указанной в электронной таблице, и длительностью, отражаемой в графической части рабочего экрана МР. Дело в том, что длительность, вводимая в днях в электронной таблице МР, показывает количество рабочих дней, за которое работа должна быть выполнена. В графической же части отражается общая длительность этой работы с учетом выходных и праздников.

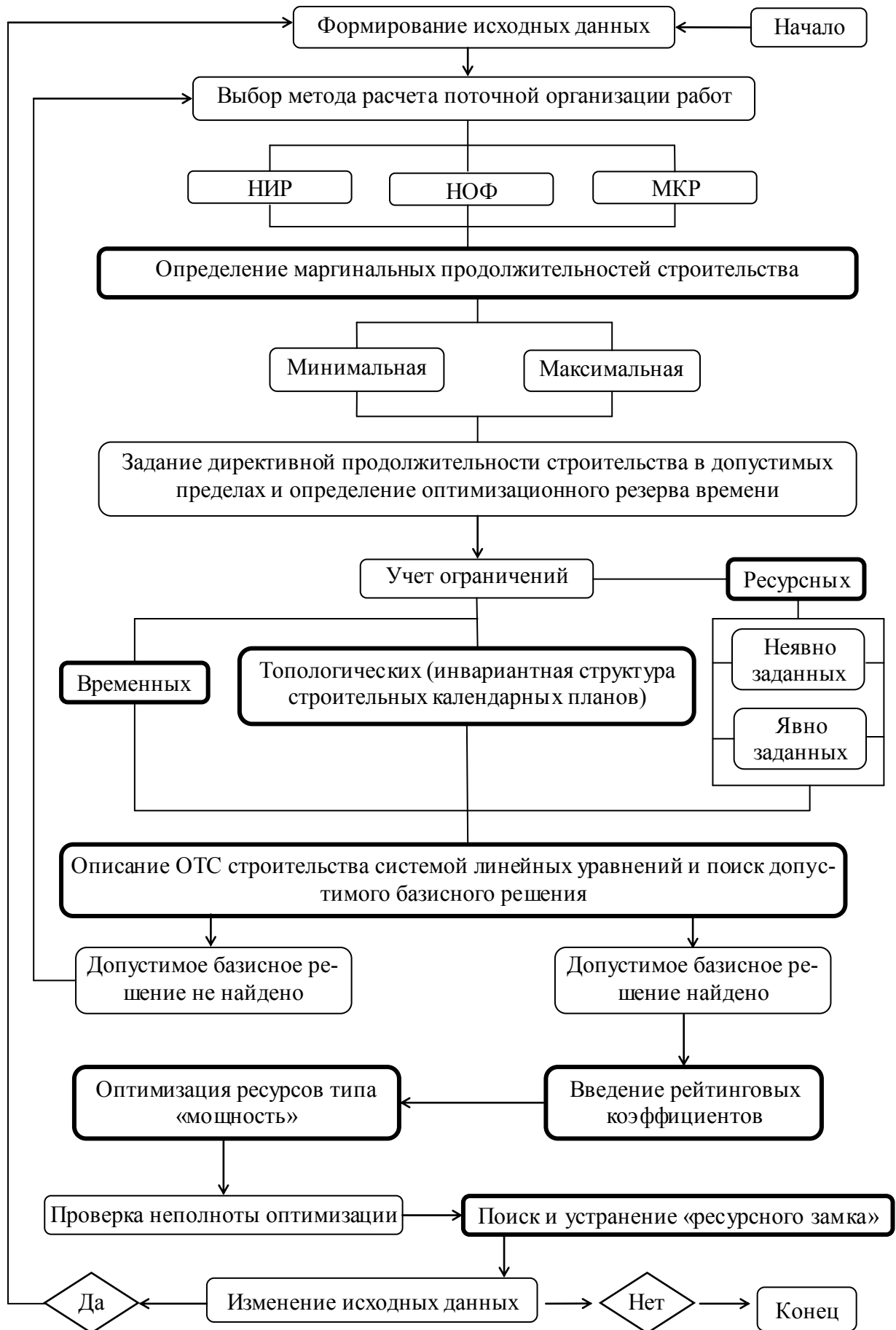


Рисунок 4.1 – Блок-схема адаптированного и усовершенствованного МНРК
(жирными линиями выделены элементы научных результатов)

Так при пятидневной рабочей неделе, если в электронной таблице будет введена длительность работы равная 15 дням, то в графической части ей будет соответствовать длительность равная 3-м неделям, т.е. 21-му календарному дню с учетом выходных дней. Данный эффект отражен на рис. 4.2.

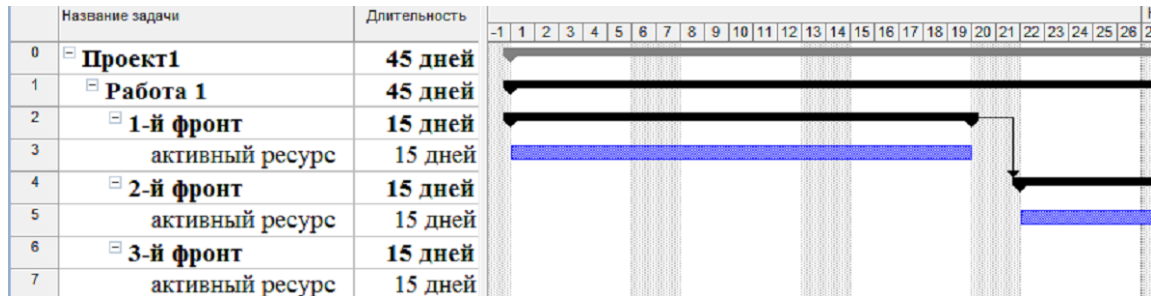


Рисунок 4.2 – Скриншот программы МР

Если же в электронной таблице МР длительность работы будет введена в неделях, то продолжительность этой работы в электронной таблице и графической части будут соответствовать. В любом случае, оптимизационная программа-макрос может быть откорректирована под потребности пользователя. Однако, одновременный учет длительности работ, как в днях, так и в неделях приведет к усложнению программы-макроса. А это в свою очередь потребует большей мощности компьютера и соответственно большего времени на проведение оптимизационного расчета при помощи программы-макроса.

В столбце [предшественники] устанавливаются связи между работами. В оптимизационном макросе реализована возможность учета положительных и отрицательных лагов времени в связях, о которых речь шла в третьей главе. При этом отрицательный знак лага времени будет свидетельствовать о смещении работы в сторону начала проекта, положительный же будет свидетельствовать о смещении работы к окончанию проекта. Таким образом, отрицательный знак лага времени задает величину совмещения работы, а положительный знак величину запаздывания работы на частном фронте, относительно предшествующей. Рассмотрим правила наложения связей между работами. При этом необходимо обратить внимание на требования к структуре разрабатываемого для оптимизационного расчета календарного графика. На рисунке 4.3 показана принципиальная схема требуемой иерархической структуры календарного графика и наложения связей между работами. Иерархическая структура соответствует структуре инвариантного календарного графика, предложенного во второй главе. Все работы второго уровня иерархии должны быть связаны друг с другом фронтальными и ресурсными связями, устанавливающими порядок освоения частных фронтов. За исключением работ, выпол-

няемых на первом частном фронте. В таких работах ресурсные связи будут отсутствовать.

Столбец [названия ресурсов] отражает используемые работой трудовые и материальные ресурсы. В [индикаторы] отображаются различные типы сведений о работе. Столбец [индикаторы] и [названия ресурсов] в оптимизационном макросе не используются, поэтому по усмотрению пользователя могут быть скрыты.

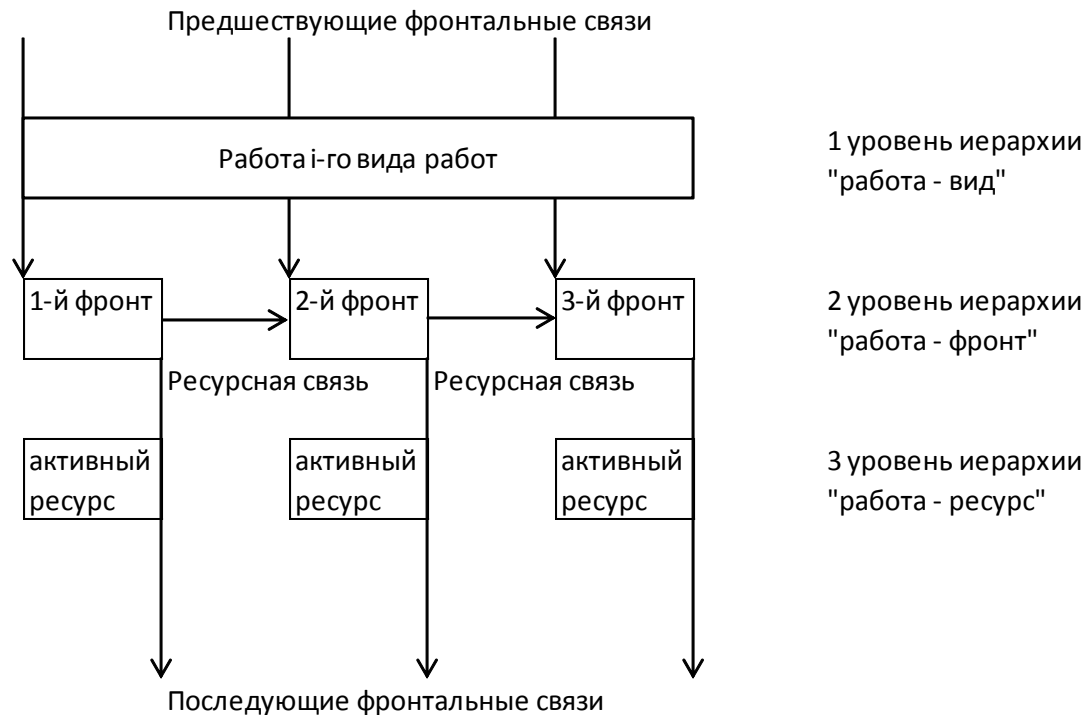


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема иерархической структуры календарного графика и наложения связей между работами

Помимо содержащихся по умолчанию в новых файлах МР пользовательских столбцов, для оптимизационного расчета необходимо создать следующие дополнительные столбцы. «Начальные затраты» [затраты], в этот столбец вносится максимальное количество трудовых ресурсов, соответствующее минимальной продолжительности работы. В столбце «% от $R_{\text{макс}}$ » [% завершения] по завершении оптимизационного расчета будут автоматически заноситься данные, соответствующие отношению минимальной продолжительности работы к оптимальной в процентах:

$$\frac{T_{ij_{\text{мин}}}}{T_{ij_{\text{опт}}}} * 100\% \quad (4.1)$$

Где: $T_{ij_{\text{мин}}}$ – минимальная продолжительность i-го вида работ на j-м фронте;

$T_{ij_{\text{опт}}}$ – оптимальная продолжительность i-го вида работ на j-м фронте;

В столбец «Оптимальные затраты» [Затраты 10] вносится следующая формула: [Затраты] x [% завершения] / 100. В этом столбце, по окончании оптимизационного расчета, будет отражено оптимальное количество трудовых ресурсов по каждому виду работ на каждом частном фронте.

Для реализации рейтингового подхода, о котором речь шла в третьей главе, предназначен столбец «Рейтинговый коэффициент» [Число 20]. В этот столбец вносится следующая формула: [Затраты] x $\sum n_{\text{мин}}$ / [Длительность]. Вносимая формула соответствует формуле (3.16) рекомендуемого нами рейтингового коэффициента (глава 3). Величина $\sum n_{\text{мин}}$ представляет собой суммарное количество рабочих минут в рабочей неделе для одной смены и находится по следующей формуле:

$$\sum n_{\text{мин}} = n_{\text{дн}} \times n_{\text{ч}} \times n_{\text{мин}} \quad (4.2)$$

Где: $\sum n_{\text{мин}}$ – суммарное количество рабочих минут в рабочей неделе для одной смены;

$n_{\text{дн}}$ – количество рабочих дней в неделе;

$n_{\text{ч}}$ – количество часов в смене;

$n_{\text{мин}}$ – количество рабочих минут в часе.

В проекте МФК «Лахта Центр», на котором проведен оптимизационный расчет, принята 7-ми дневная рабочая неделя, для которой величина $\sum n_{\text{мин}} = 3360$.

Суммарные задачи столбца «Рейтинговый коэффициент» рассчитывают суммарный рейтинговый коэффициент по всем фронтам i -го вида работ.

Столбцы «Тип ограничения» [Тип ограничения] и «Дата ограничения» [Дата ограничения] позволяют ввести ограничения на начало/окончание какой-либо работы. В предлагаемом нами оптимизационном макросе реализована возможность учета таких ограничений, речь о которых также шла в главе 3.

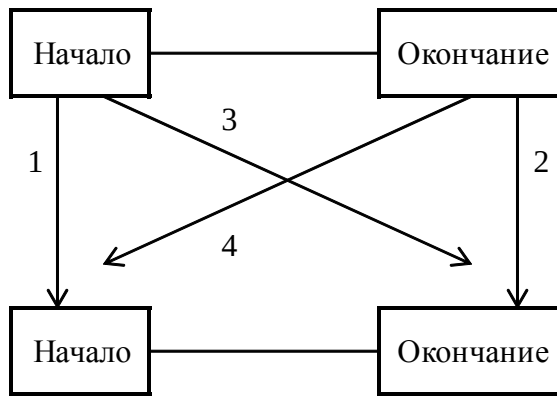
Для реализации оптимизационного алгоритма необходимо накладывать ограничения на работы второго уровня иерархии, которые являются составными работами. В Microsoft Project для составных работ предусмотрена возможность использования лишь трех типов ограничений:

1. как можно раньше;
2. начало не ранее;
3. окончание не позднее.

Всего же в программе имеется 8 типов ограничений, доступных для простых несоставных работ. Но даже сокращенного набора ограничений в расписании составных работ достаточно для установления полноценных требований к срокам выполнения работ. Так установив тип ограничения составной работы «начало не ранее» и задав максимальное количество трудовых ресурсов, мы получим одновременно и ограничение типа «окончание не ранее». А установив тип ограничения составной работы «окончание не позднее» и задав максимальное количество трудовых ресурсов, мы получим одновременно и ограничение типа «начало не позднее». Таким образом, ограничения могут дублировать друг друга, что говорит об избыточности системы ограничений в Microsoft Project для простых работ [136].

Как было сказано ранее, в программе МР расчет календарных графиков производится МКП. Как известно, при этом методе допускается растяжение фронтальных и ресурсных связей. В случае же когда работы выполняются по методу НИР или НОФ ресурсные и фронтальные связи соответственно должны иметь нулевое растяжение. Связи с нулевым растяжением представляют собой «фиктивные» работы с нулевой продолжительностью и называются «жесткими» [205]. Дело в том, что в Microsoft Project устанавливаемые связи не являются «жесткими». Наложение связей между работами допускает смещение связываемых работ относительно друг друга. Тем самым, существующая система связей МР не позволяет организовать работы по методу НИР и НОФ. Графическая интерпретация системы связей в МР показана на рис. 4.4.

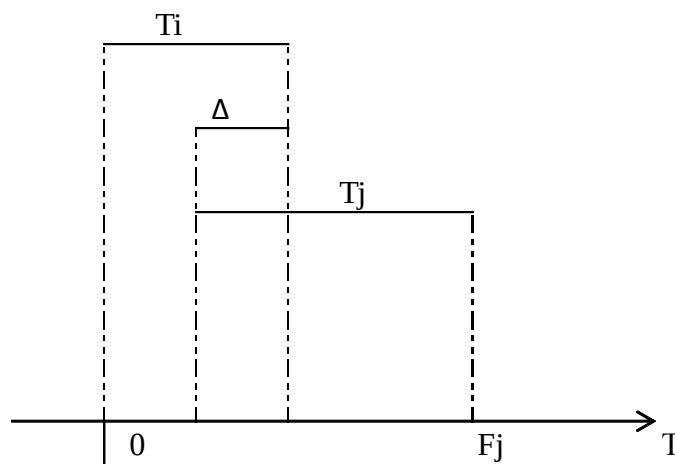
Но в адаптированном и усовершенствованном нами МНРК такая функция реализована. Для этого, при поиске допустимого базисного решения, связи, предопределяющие метод организации работ, принудительно переводятся в разряд свободных, т.е. равных нулю. Идентификация этих связей производится путем создания столбцов, выражающих фиксацию фронтальных и ресурсных связей. Такими столбцами являются «Фиксирование FC» [Флаг №2] и «Фиксирование RC» [Флаг №3] соответственно. Тип данных столбцов «флаг №» позволяет осуществлять выбор между «Да» или «Нет». Смена поточной организации работ также позволяет нам преодолевать эффект «ресурсного замка», речь о котором шла в третьей главе. В оптимизационном макросе допускается установить как ручную фиксацию связей пользователем, так и автоматическую, при которой программа сама будет спрашивать пользователя через диалоговое окно о необходимости фиксации той или иной связи, как это показано на рис. 4.5.



Работа i

- 1 начало-начало
- 2 окончание-окончание
- 3 начало-окончание
- 4 окончание-начало

Работа j



Нежесткая связь

$$F_j \geq T_i + T_j \pm \Delta$$

Жесткая связь

$$F_j = T_i + T_j \pm \Delta$$

Рисунок 4.4 – Графическая интерпретация системы связей в Microsoft Project

 F_j – окончание последующей работы; T_i – продолжительность выполнения предыдущей работы; T_j – продолжительность выполнения последующей работы; $\pm \Delta$ – величина лага времени.

Нет группировки										
Задачи Ресурсы Отслеживание Отчет Следующие шаги и связанные действия										
	% от Rмакс	Оптим. Затраты	Начало	Прод.	Конец	Тип Огранич	Дата огранич.	Фикс задач	Фикс FC	Фикс RC
0	0%	Ораб.	01.09.12	278,29 нед?	31.12.17	с можно раньше	НД	Нет	Нет	Нет
1			01.09.12	51 нед	23.08.13	Как можно раньше	НД	Нет	Нет	Нет
2	0%		01.09.12	4 нед	28.09.12	Как можно раньше	НД	Да	Нет	Нет
3	0%	Ораб.	01.09.12				НД	Нет	Нет	Нет
4	0%	Ораб.	01.06.13				НД	Да	Нет	Нет
5	0%	Ораб.	01.06.13				НД	Нет	Нет	Нет
6	0%	Ораб.	29.06.13				НД	Нет	Нет	Нет
7	0%	Ораб.	29.06.13				НД	Нет	Нет	Нет
8	0%	Ораб.	27.07.13				НД	Нет	Нет	Нет
9	0%	Ораб.	27.07.13				НД	Нет	Нет	Нет
10	0%	Ораб.	29.09.12				НД	Нет	Нет	Нет
11	0%	Ораб.	29.09.12	2 нед	12.10.12	чание не позднее	26.02.14	Нет	Нет	Нет
12	0%	Ораб.	29.09.12	2 нед	12.10.12	Как можно раньше	НД	Нет	Нет	Нет

Рисунок 4.5 – Реализация автоматической фиксации связей

В случае, когда в календарном плане множество видов и фронтов работ, использование автоматической фиксации связей является неоправданным в виду большого количества времени, необходимого на обработку всех связей.

Как было сказано ранее, «ресурсный замок» также может быть преодолен при помощи введения и фиксации неопределенного фронтального коэффициента. Фиксация неопределенного фронтального коэффициента в оптимизационном макросе реализуется при помощи выбора в столбце «Фиксирование задач» [Флаг №1] значения «Да». При установлении в этом столбце, напротив составной работы второго уровня иерархии, «Да», работу на этом фронте не затронет оптимизация, т.е. ее продолжительность и количество трудовых ресурсов останутся постоянными.

Столбец «Базовое начало» [Длительность 1] показывает дату начала работы в неделях относительно начала проекта, соответствующую минимальной продолжительности работы. В этом столбце необходимо ввести следующую формулу: $\sum N_q * ([\text{Начало}] - [\text{Начало проекта}])$. Величина $\sum N_q$ представляет собой суммарное количество рабочих часов в двух месяцах для одной смены и находится по следующей формуле:

$$\sum N_q = n_{\text{дн}} \times n_q \quad (4.3)$$

Где: $\sum N_q$ – суммарное количество рабочих часов в двух месяцах для одной смены;

$n_{\text{дн}}$ – количество рабочих дней в двух месяцах для одной смены;

n_q – количество рабочих часов в дне для одной смены.

Для проекта МФК «Лахта Центр», в котором принята 7-ми дневная рабочая неделя, величина $\sum N_q = 480$.

Столбец «Базовое окончание» [Длительность 2] показывает дату окончания работы в неделях относительно начала проекта, соответствующую минимальной продолжительности работы. В этом столбце необходимо ввести следующую формулу: [Длительность1] + [Длительность].

В столбцах «ДБР начала работы» [Длительность 3] и «ДБР окончание работы» [Длительность 4] показаны даты начала и окончания работы в неделях относительно начала проекта, соответствующие допустимому базисному решению.

В столбцах «Оптимальное начало работы» [Длительность 5] и «Оптимальное окончание работы» [Длительность 6] показаны даты начала и окончания работы в неделях относительно начала проекта, соответствующие оптимальному решению.

В столбцах [Текст 1] - [Текст 16] программа-макрос отображает обработанный ею массив исходных данных. Среди этих данных: количество ресурсных и фронтальных связей, номер работы по порядку, лаги времени каждой связи, номер первого и последнего фронта по порядку, свободные переменные и др.

В столбцах [Число 1] - [Число 18] программа-макрос отображает данные, получаемые ею в ходе составления и решения системы линейных уравнений. К этим данным относятся номера конечных, начальных, фронтальных и ресурсных связей в составляемых уравнениях, ресурсные коэффициенты, резервы времени, базисные переменные и др.

После построения календарного плана с минимальными сроками при максимальном количестве трудовых ресурсов резерв времени в МР задается при помощи вехи. Веха представляет собой работу, имеющую нулевую продолжительность. При помощи вехи можно фиксировать окончание выполнения различных этапов работ [206]. В оптимизационном расчете веха фиксирует окончание проекта, соответствующее директивной продолжительности. В процессе проведения оптимизационного расчета резерв времени оптимально распределяется между всеми частными (специализированными) потоками.

Рассмотрим блоки, из которых состоит предлагаемая нами оптимизационная программа-макрос. Всего 7 блоков. Первый блок предваряет оператор Option Explicit, позволяющий объявить все используемые в макросе переменные и задать соответствующие им типы данных [207]. Тип данных переменной будет определять величину, выделяемой на эту переменную, оперативной памяти компьютера.

В первом блоке производится настройка параметров МР. К настраиваемым параметрам относятся: формат дат, добавление суммарной задачи, отключение помощи мастера планирования, отключение автоматического добавления новых ресурсов и задач, форма графического отображения длительностей работ и др.

Во втором блоке выполняется анализ соответствия исходных данных, внесенных в электронную таблицу МР, требованиям программы-макроса. К таким требованиям относятся:

- структура календарного плана должен соответствовать инвариантной структуре, предложенной во второй главе;
- число видов работ календарного плана должно быть не более 20-ти;
- число частных фронтов работ должно быть не более 10-ти;

- связи между работами, а также ограничения на начала и окончания работ должны проставляться напротив работ-фронтов, соответствующих второму уровню иерархии в инвариантной структуре календарного плана.

Как было сказано ранее, иерархическая структура предлагаемого нами инвариантного календарного плана позволяет применять «вложенность» работ, и рассматривать эти работы как отдельные проекты. В связи с этим ограничение на количество видов работ календарного плана не является столь критичным, так как в случае превышения количества видов работ, установленного в программе-макросе максимума, можно укрупнить некоторые работы. Так было сделано и при разработке календарного плана МФК «Лахта Центр». Были укрупнены земляные и бетонные работы в одну группу – «возведение подземной части». Полученный оптимизационный потенциал укрупненной работы был равномерно распределен между бригадами двух видов. В случае, если пользователя не устраивает равномерное распределение оптимизационного потенциала укрупненной работы между составляющими ее бригадами, он может повторить оптимизационную процедуру для этой работы с целью нахождения оптимального распределения трудовых ресурсов по каждой бригаде. Фрагмент календарного плана МФК «Лахта Центр» с укрупненной работой по возведению подземной части изображен на рис. 4.6.

Диаграмма Ганта	Названия задач	Рейт.коэф.	Начал. Затрат	% от Rмакс	Оптим. Затраты
	37 ☐ Устройство подземной части	475,67	1 253раб.	31%	0раб.
	38 ☐ Здание Башня	69,83	419раб.	31%	0раб.
	39 Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	69,83	419раб.	31%	130раб.
	40 ☐ МФЗ Захватка 2	165	330раб.	31%	0раб.
	41 Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	165	330раб.	31%	102раб.
	42 ☐ МФХ Захватка 2	127,5	255раб.	31%	0раб.
	43 Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	127,5	255раб.	31%	79раб.
	44 ☐ Стилибатная часть захватка 2	22,33	67раб.	31%	0раб.
	45 Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	22,33	67раб.	31%	21раб.
	46 ☐ Стилибатная часть захватка 1	23,5	47раб.	31%	0раб.
	47 Землекопы, плотники, арматурщики, бетонщики	23,5	47раб.	31%	15раб.
	48 ☐ Стилибатная часть захватка 3	33,5	67раб.	31%	0раб.
	49				

Рисунок 4.6 – Фрагмент календарного плана МФК «Лахта Центр» с укрупненной работой по возведению подземной части

Фрагмент календарного плана с реализацией вложенности укрупненных работ как отдельных проектов изображен на рис. 4.7.

	Названия задач	Рейт. коэф.	Начал. Затрат	% от Rмакс	Оптим. Затраты
Диаграмма Ганта	1 ☐ Земляные работы	111,75	117раб.	0%	0раб.
	2 ☐ Здание Башня	1,75	7раб.	0%	0раб.
	3 Землекопы	1,75	7раб.	0%	0раб.
	4 ☐ МФЗ захватка 2	19	19раб.	0%	0раб.
	5 Землекопы	19	19раб.	0%	0раб.
	6 ☐ МФЗ захватка 2`	15	15раб.	0%	0раб.
	7 Землекопы	15	15раб.	0%	0раб.
	8 ☐ Стилибатная часть захватка 2	33	33раб.	0%	0раб.
	9 Землекопы	33	33раб.	0%	0раб.
	10 ☐ Стилибатная часть захватка 1	11	11раб.	0%	0раб.
	11 Землекопы	11	11раб.	0%	0раб.
	12 ☐ Стилибатная часть захватка 3	17	17раб.	0%	0раб.
	13 Землекопы	17	17раб.	0%	0раб.
	14 ☐ Арка	15	15раб.	0%	0раб.
	15 Землекопы	15	15раб.	0%	0раб.
	16 ☐ Устройство подземной части	1005,8	1 474раб.	0%	0раб.
	17 ☐ Здание Башня	69,83	419раб.	0%	0раб.
	18 Плотники, арматурщики, бетонщики	69,83	419раб.	0%	0раб.

Рисунок 4.7 – Фрагмент календарного плана с реализацией вложенности укрупненных работ как отдельных проектов

В третьем блоке осуществляется анализ связей между работами с последующим формированием массива исходных данных для проведения оптимизационного расчета и занесением этих данных в соответствующие столбцы.

В четвертом блоке составляется система линейных уравнений, состоящая из начальных, конечных и фронтальных уравнений.

В пятом блоке производится поиск допустимого базисного решения для заданных исходных данных и занесение данных о начале и окончании работ в столбы «ДБР начала работы» [Длительность 3] и «ДБР окончание работы» [Длительность 4] соответственно.

В шестом блоке производится корректировка целевой функции и допустимого базисного решения с учетом фиксированности связей.

В седьмом завершающем блоке производится минимизация трудовых ресурсов путем использования резервов времени для максимизации ресурсных коэффициентов.

Полную логику ввода, обработки и расчета всех данных можно найти в листинге предлагаемой нами программы-макроса. Листинг представлен в приложении к диссертации.

Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод. Метод оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов

успешно интегрируется в программу управления проектами МР. Функции последней позволяют в полной мере использовать возможности оптимизационного метода.

4.2 Техничко-экономический эффект от реализации метода оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов

Основной задачей организации строительства является достижение лучших результатов в создании строительной продукции при минимальных издержках производства с соблюдением требований техники безопасности и охраны окружающей среды [208].

Реализация разработанного нами метода оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов позволяет сократить ресурсные издержки на строительство объекта, что является положительным экономическим эффектом для подрядчика. Для заказчика же положительный экономический эффект от реализации метода оптимизационного расчета заключается в следующем. При проектировании календарных графиков методом критического пути, в них могут присутствовать «внутренние» и «внешние» резервы времени. «Внутренними» или «квазирезервами» назовем резервы времени работ, не лежащих на критическом пути [209]. Как известно, при использовании этих резервов общая продолжительность строительства остается неизменной. «Внешними» резервами назовем резервы времени между минимальной и директивной продолжительностью строительства. Календарный график с «внутренними» резервами времени изображен на рис. 4.8, с «внешними» на рис. 4.9.

Дело в том, что применение оптимизационного метода при проектировании календарных планов позволяет использовать «внутренние» и «внешние» резервы времени для сокращения трудовых ресурсов и соответственно увеличения длительности работ, имеющих оптимизационный потенциал. Процедура оптимизационного расчета идентична, как для календарных графиков с «внутренними» резервами, так и с «внешними», с одной лишь разницей. Для использования в целях оптимизации «внутренних» резервов времени при отсутствии в календарном графике «внешних» резервов необходимо зафиксировать ресурсные коэффициенты тех фронтов работ, которые лежат на критическом пути. Как было сказано в предыдущем параграфе, такая фиксация позволит сохра-

нить без изменения исходную длительность зафиксированной работы в процессе оптимизации.

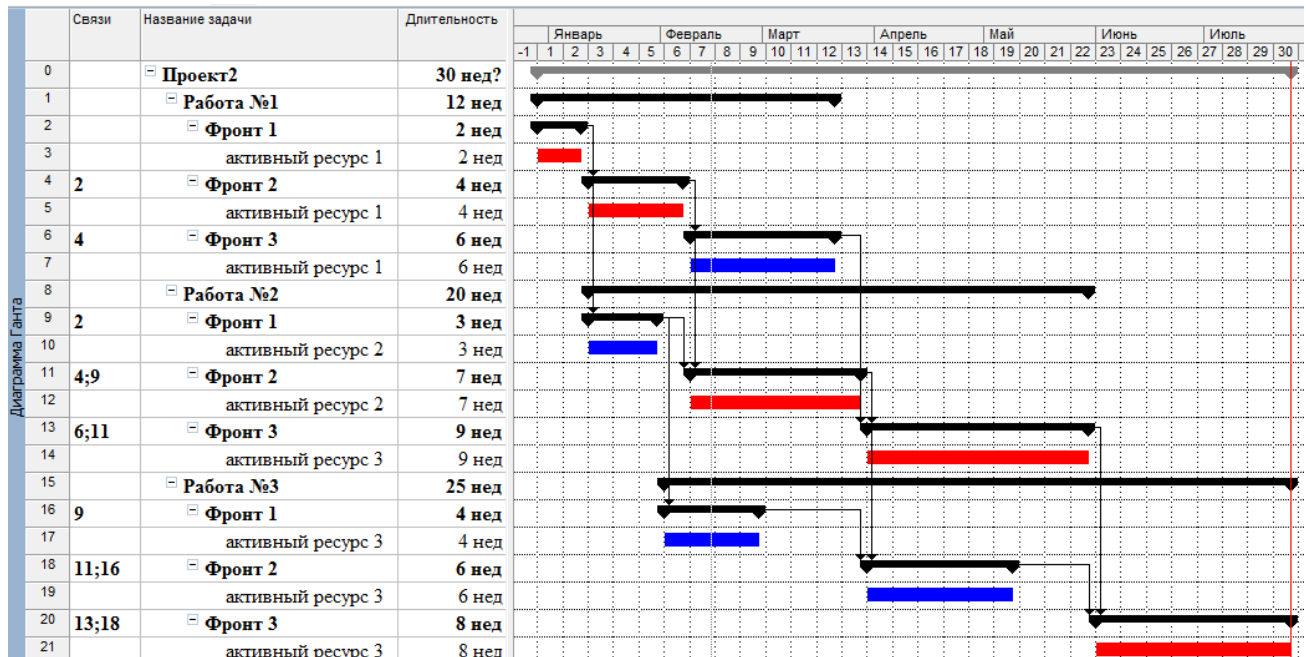


Рисунок 4.8– Календарный график с «внутренними» резервами времени

Примечания к рисунку:

Красным цветом отмечены работы, лежащие на критическом пути;
Синим цветом – работы, имеющие «внутренние» резервы времени.

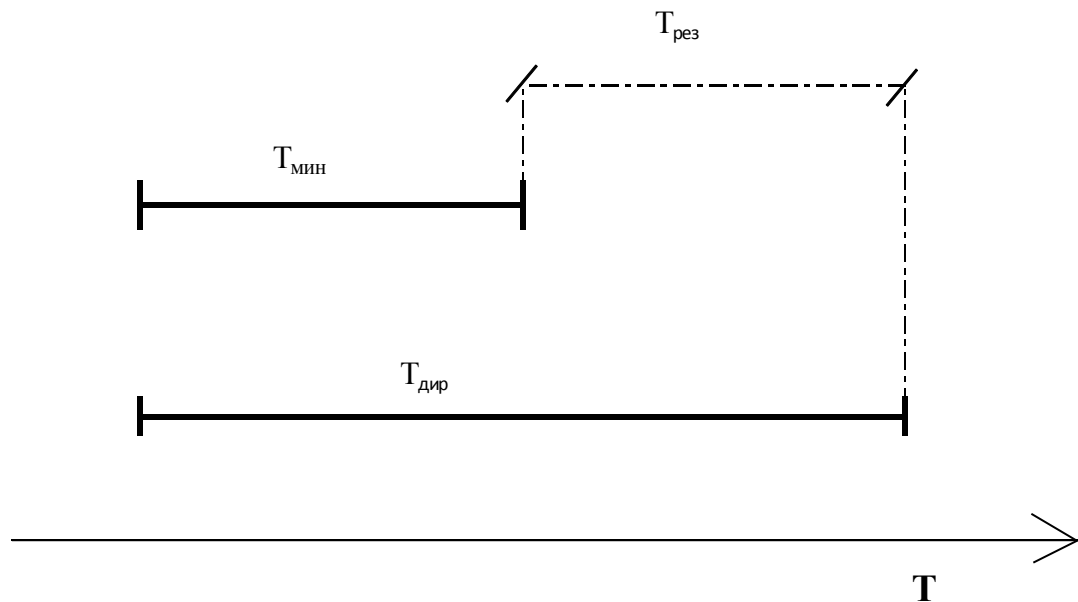


Рисунок 4.9 – Календарный график с «внешними» резервами времени

$T_{мин}$ – минимальная продолжительность строительства;

$T_{дир}$ – директивная продолжительность строительства;

$T_{рез}$ – «внешний» резерв времени.

Исчерпание резервов времени календарного плана приведет к увеличению длительности работ. На рис. 4.10 показан календарный график, в котором исчерпаны «внут-

рение» резервы времени. При сравнении его с графиком, изображенным на рис. 4.8 видно, что длительность всех работ, имевших «внутренние» резервы времени была увеличена.

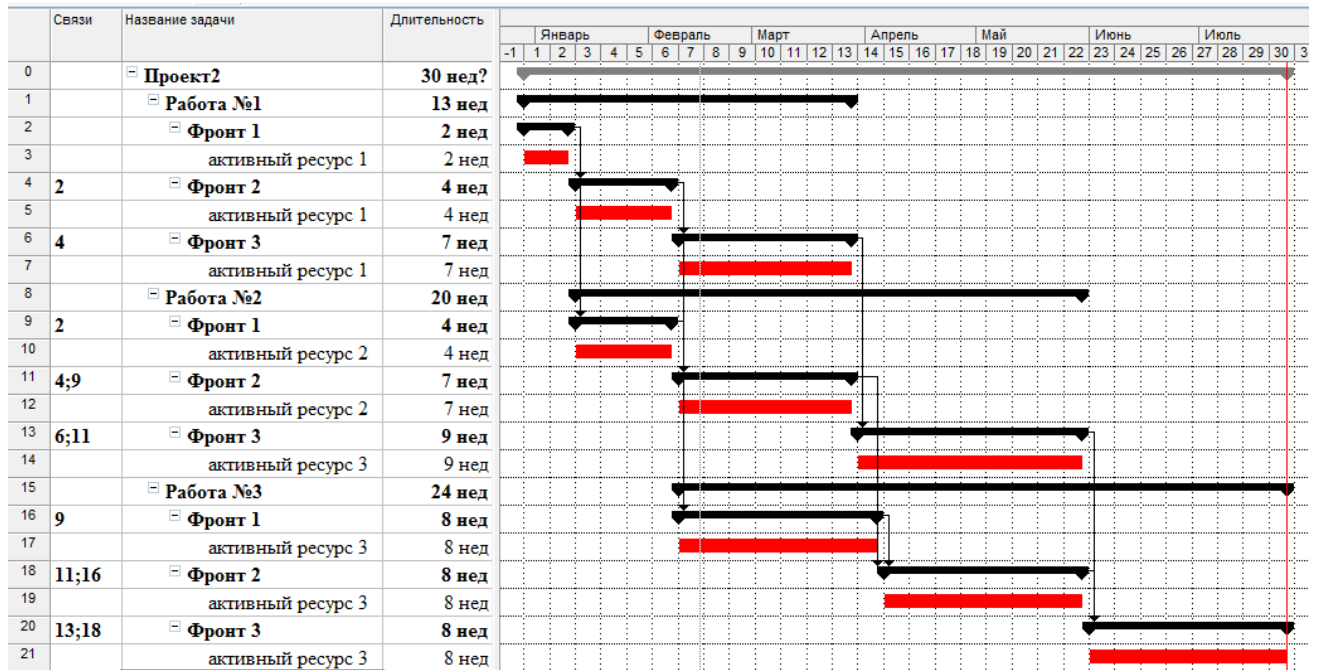


Рисунок 4.10 – Календарный график без «внутренних» резервов времени

Таким образом, оплата заказчиком, освоенных подрядчиком объемов работ, будет сдвинута на более поздний срок. В соответствии с формулой 4.4, отражающей зависимость стоимости денег во времени, предпочтительнее с экономической точки зрения является сдвиг затрат на более поздние сроки [210, 211].

$$C_0 = \frac{C_T}{(1+E)^T} \quad (4.4)$$

Где: C_0 – сумма, инвестированная в нулевой момент времени (современная стоимость затрат);

C_T – сумма, в момент времени T ;

E – норма дисконта.

Исходя из формулы (4.4), при увеличении величины (T) и неизменной норме дисконта (E) и затрат финансовых ресурсов (C_T) современная стоимость затрат (C_0) будет уменьшаться. Сдвиг затрат на более поздние сроки позволит заказчику использовать высвобожденные финансовые средства в других инвестиционных проектах.

Также положительный эффект для заказчика заключается в следующем. Как было сказано в первой главе, задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов административным способом без использования научно обоснованно-

го метода ведет к определению неоптимальной длительности строительства, а также к определению такой длительности строительства, которая выходит за рамки допустимых пределов. В этом случае определяемые затраты на строительство не будут соответствовать действительности. При использовании заемных средств это вызовет неэффективное их расходование. Так ошибочное завышение затрат на строительство, станет следствием неоправданно завышенных долговых обязательств перед заемщиками и соответственно увеличению эффекта дисконтирования. В формуле 4.5 подтверждается данная зависимость [208].

$$C_T = C_0 \times (1 + E)^T \quad (4.5)$$

Где: C_T – сумма, в момент времени T ;

C_0 – сумма, инвестированная в нулевой момент времени (современная стоимость затрат);

E – норма дисконта.

Для определения сумма финансовых средств (C_T), которые необходимо вернуть заемщику в момент времени T , в качестве нормы дисконта можно взять годовую процентную ставку по долговым обязательствам. Для одного и того же периода T и годовой процентной ставки E увеличение суммы, взятой в долг (C_0) приведет к большему дисконтированию денежных средств.

Ошибочное занижение затрат на строительство может привести к увеличению рисков несвоевременности выполнения работ, из-за отсутствия средств на финансирование строительства.

Для дальнейшего обоснования экономической эффективности разработанного нами метода рассмотрим основные статьи затрат и зависимость изменения ресурсных издержек от сроков строительства.

В строительной отрасли наблюдается обратная зависимость изменения величины ресурсных издержек от сроков строительства. Связано это с тем, что сокращение сроков строительства при фиксированных трудозатратах происходит за счет увеличения количества используемых ресурсов типа «мощность». Это в свою очередь и приводит к увеличению издержек на обеспечение используемых трудовых ресурсов необходимыми временными зданиями и сооружениями, а также производственной базой.

Условно ресурсные издержки можно разделить на три основные группы [46]:

- Фонд оплаты труда рабочих;

- Затраты на временные сооружения;
- Затраты на производственную базу строительства.

К затратам на временные сооружения можно отнести: устройство административно-бытовых помещений рабочих, организация инвентарно-складского хозяйства, обеспечение необходимой пропускной способности временных строительных дорог, временных инженерных сетей, обеспечение необходимых для заданных темпов строительства технических условий на подключение временного электро-, водо-, теплоснабжения и водоотведения и т.п. К затратам на производственную базу можно отнести: организация доставки строительной техники, механизмов, инструментов и приспособлений, монтаж и демонтаж строительной техники, обеспечение рабочих необходимым количеством машин, механизмов, инструментов, приспособлений, средств индивидуальной защиты и т.п.

Все перечисленные затраты, за исключением повременной оплаты ресурсов, увеличиваются с увеличением количества ресурсов типа «мощность». Это подтверждает наличие обратной зависимости между величиной ресурсных издержек и сроков строительства объекта. Следует отметить, что при использовании пассивных ресурсов в СМР ресурсные издержки в определенный момент времени могут начать увеличиваться с увеличением сроков строительства. Этот эффект вызван следующими особенностями использования пассивных ресурсов.

По влиянию на длительность производства работ ресурсы делятся на активные и пассивные. Активные ресурсы оказывают прямое влияние на сроки производства работ, а пассивные лишь обслуживают активные ресурсы и напрямую не влияют на длительность работ. Примером активного ресурса при бетонных работах является бригада бетонщиков, а пассивного ресурса – монтажный кран, осуществляющий доставку материала на монтажный горизонт.

Дело в том, что повременная оплата активных ресурсов при изменении длительности работ, но фиксированной трудоемкости остается постоянной. Оплата же пассивных ресурсов зависит от общей продолжительности частного потока. Связано это с тем, что их трудоемкость изменяется с изменением длительности работы. Ситуация с оплатой пассивных ресурсов усугубляется в случае появления простоев при переходе бригады с одного фронта на другой. В первую очередь это касается ресурсов, имеющих значительную стоимость монтажа и демонтажа, например башенных кранов. Иначе пас-

сивный ресурс на время простоев можно было бы сдать обратно арендодателю. При максимальном значении коэффициента непрерывности работ и минимальной общей длительности потока, в котором задействован пассивный ресурс, величина повременной оплаты работы такого ресурса стремится к минимуму. На основе выше сказанного, можно заключить, что оплата времени работы пассивных ресурсов будет минимальна при непрерывном использовании ресурсов и минимальной общей длительности потока. Таким образом, мы получаем две диаметрально противоположные зависимости изменения ресурсных издержек во времени. Графики изменения величины единовременных затрат на ресурсы и повременных оплат труда пассивных ресурсов в зависимости от длительности строительства изображены на рисунках 4.11 и 4.12 соответственно.

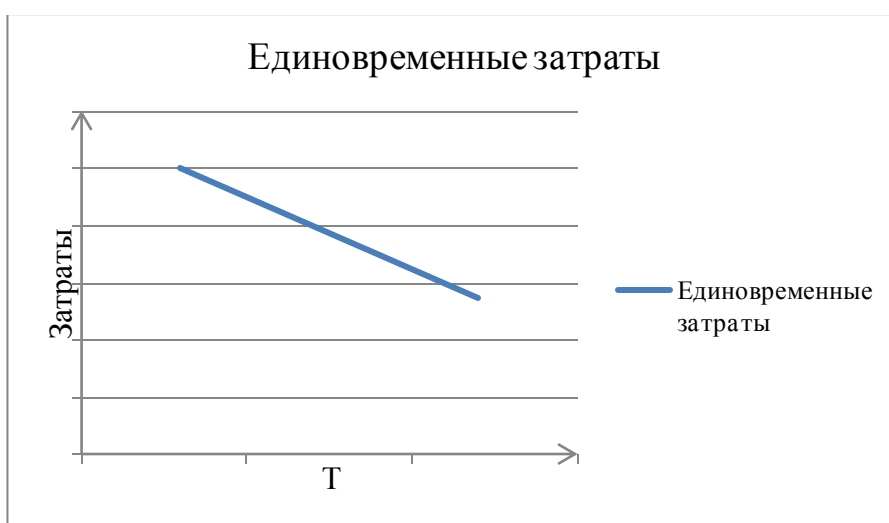


Рисунок 4.11 – График зависимости изменения единовременных затрат на ресурсы от длительности строительства

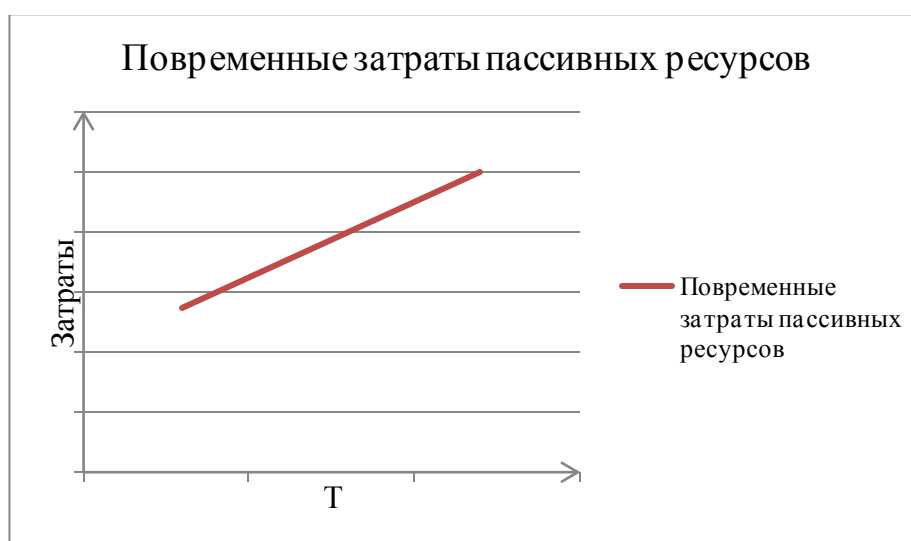


Рисунок 4.12 – График зависимости изменения повременных затрат на пассивные ресурсы от длительности строительства

С одной стороны, при увеличении сроков строительства наблюдается обратная зависимость сокращение ресурсных издержек за счет сокращения затрат на временные сооружения и на производственную базу строительства, а с другой увеличение издержек за счет повременной оплаты пассивных ресурсов. В связи с этим в определенный момент времени эти два графика пересекутся, что будет означивать начало прироста ресурсных издержек с увеличением сроков строительства. Место пересечения этих графиков будет соответствовать минимальным ресурсным издержкам.

Разработанный нами метод оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов был применен на конкретном примере, а именно МФК «Лахта Центр», строящемся в Санкт-Петербурге. Применение этого метода к МФК «Лахта Центр» было описано в параграфе 2.3. В связи с этим целесообразно провести дальнейшее технико-экономическое обоснование разработанного нами метода для МФК «Лахта Центр». Рассчитаем экономический эффект генеральной подрядной организации от реализации данного метода. Как было сказано ранее, экономический эффект для генподрядчика будет заключаться в сокращении ресурсных издержек.

Общие ресурсные издержки на строительство могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$C = \sum_{i=1}^I C_{ri} \times R_i + \sum_{i=1}^I C_{qi} \times Q_i \quad (4.6)$$

Где: C – общие ресурсные издержки;

C_{ri} – единовременные затраты на трудовой ресурс i -го вида работ, руб/ед. ресурса;

R_i – количество ресурсов типа «мощность» i -го вида работ, ед. ресурса;

C_{qi} – повременные затраты ресурсов типа «мощность» i -го вида работ, руб/чел-см;

Q_i – трудозатраты ресурсов типа «мощность» i -го вида работ, чел-см.

I – количество видов работ.

Рассчитаем отдельно ресурсные издержки при минимальной продолжительности строительства, директивной и максимальной. В таблице 4.1 приведены данные о количестве ресурсов типа «мощность» при минимальной, директивной и максимальной длительности строительства, а также приведена их стоимость.

Таблица 4.1 – Данные о количестве и стоимости трудовых ресурсов

№ п/п	Название ресурса	Диапазон ресур- сов			Стоимость		Актив- ность ре- сурсов	% ре- сурсов от R _{макс}
		R _{макс}	R _{опт}	R _{мин}	C _q	C _r		
		чел.	чел.	чел.	руб/смен а	руб/че л		
1	бетонщики (устройство стены в грунте)	164	15	9	2413	26060	активный	9%
2	грейферная установка	10	1	1	16152	88000	активный	9%
3	бетонщики (устройство свай)	405	405	30	2528	27302	активный	100%
4	буровая установка	21	21	1	14594	88000	активный	100%
5	землекопы	33	11	2	2050	17528	активный	31%
6	экскаватор	27	9	1	14168	44000	активный	31%
7	бульдозер	9	3	1	10668	44000	активный	31%
8	бетонщики (удерж. сист.)	145	119	19	1755	18954	активный	82%
9	башенный кран	1	1	1	22620	177320	пассивный	82%
10	автобетононасос	3	3	1	7737	8800	активный	82%
11	монтажники (удерж. сист.)	159	131	8	1400	11344	активный	82%
12	бетонщики (фундаменты)	422	131	17	1755	18954	активный	31%
13	автобетононасос	16	5	1	7737	8800	активный	31%
14	бетонщики (каркас)	565	565	16	1755	15795	активный	100%
15	монтажники (каркас)	661	661	16	1625	13162	активный	100%
16	башенный кран	10	10	1	22620	177320	пассивный	100%
17	стац. бетононасос	11	11	1	8500	44000	активный	100%
18	автокран	5	5	2	30671	8800	активный	100%
19	кровельщики	258	111	12	2423	26168	активный	43%
20	монтажники (шпиль башни)	97	42	19	1625	13163	активный	43%
21	монтажники (фасады)	478	268	12	1895	15350	активный	56%
22	монтажники инж.систем	1283	873	25	1930	22234	активный	68%
23	отделочники	2133	1643	27	1990	18806	активный	77%
24	монтажники нар.инж.систем	28	16	6	1840	21528	активный	56%
25	трубоукладчик	1	1	1	15000	44000	активный	56%
26	разнорабочие (благоустройст- во)	1848	278	22	1980	20493	активный	15%
27	рабочий зеленого строительст- ва	674	88	10	1980	20493	активный	13%

В таблице 4.2 приведены объемы работ и распределение трудозатрат по частным фронтам работ.

Таблица 4.2 – Распределение трудозатрат по фронтам

№ п/п	Вид работ	Ед. изм.	Объем	Чел-см					Маш-см
				Итого	Башня	МФЗ	Стилобат	Арка	
1	устройство стены в грунте (грейфер)	м ³	10886	5400	5400	-	-	-	300
2	устройство свай (буров. устан)	м ³	102541	71812	5400	29016	26374	11022	54900
3	земл раб (экскав)	1000м ³	370,2	1272	412	318	439	103	583
4	земл. раб (бульд)	1000м ³							583
5	бет. уд сист (бкран)	100 м ³	58,95	5181	5181				по графику
6	бет. уд сист (автонасос)	100 м ³							11
7	мк уд. сист (бкран)	т	755	3306	3306				по графику
8	фундаменты (автонасос)	100м ³	2457,8	75345	52631	13419	7626	1669	473
9	бет. каркас (стацнасос)	100м ³	2223,4	296017	169406	71001	46333	9277	428
10	мк. каркас (автокран)	т	93608	353297	166376	179988		6933	833
11	кровля	100м ²	119,6	4873		4873			
12	кровля мк	т	1535	5793	5793				
13	фасады	100м ²	1500,5	130824	64287	64832		1705	
14	внутр. инжсистемы	100м ²	3771,3	229954	105775	72714	44434	7031	
15	внутр. инжсистемы (отопление)	100м ³	20489	21445	9890	7707	3009	839	
16	отделка	100м ²	3771,3	1950		969	747	234	
17	отделка	100м ³	20489	150243	142499	2576	3594	1574	
18	нар.инж.системы (трубоукладчик)	100 м.п.	201	1224					88
19	благоустройство	100м ²	987,6	25865					
20	озеленение	100м ²	1035,2	2450					

Полученные ресурсные издержки при минимальной, директивной и максимальной длительности строительства отражены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Ресурсные издержки при минимальной, директивной и максимальной длительности строительства

Расчетный период	Ресурсные издержки, тыс. руб	Абсолютная величина сокр. ресурс. издержек, тыс. руб
T _{мин} =198 недель	3665771,75	0,00
T _{дир} =278 недель	3583396,35	82375,41
T _{макс} =2467 недель	4298128,08	-632356,32

Как видно из таблицы 4.3 при директивной продолжительности строительства удалось сократить ресурсные издержки на 82375,41 тыс. руб. за счет использования резерва времени в 80 недель между минимальной продолжительностью и директивной. Однако при максимальной продолжительности строительства ресурсные издержки наоборот возрастут до 632356,32 тыс. руб. в сравнении с ресурсными издержками при минимальной продолжительности. Связано это с тем, что при возведении МФК «Лахта Центр» используются пассивные ресурсы (грузоподъемные краны), стоимость которых увеличивается при увеличении длительности частного потока, в котором эти ресурсы задействованы.

Все выше сказанное подтверждает наличие положительного экономического эффекта при реализации метода оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов, как для подрядчика, так и для заказчика.

4.3 Анализ чувствительности оптимальной продолжительности строительства уникальных объектов к рискам несвоевременности выполнения работ

Определяемая величина директивной продолжительности строительства имеет вероятностный характер. Связано это с большим количеством рисков несвоевременности выполнения работ в запланированные сроки. На величину продолжительности строительства уникальных объектов оказывает влияние большее количество рисков, нежели на величину продолжительности типовых и других не уникальных объектов. Для подтверждения данного утверждения проанализируем причины возникновения рисков.

В работе [212] говорится о причинах рисков несвоевременности выполнения работ, связанных с такими понятиями как пространственная перспектива и горизонт. Эти два понятия широко используются в переносном смысле для целей планирования. Например, в работе [213] понятие горизонт планирования представляется как категория времени, адаптированная к области финансового права.

В работе [214] приводятся методические аспекты перспективного планирования развития сельских территорий, при этом под перспективой планирования подразумевается, прежде всего, ее временной аспект. Также данное понятие в качестве временного аспекта рассматривается и в работах [215-217].

Чем ближе рассматриваемая работа к горизонту планирования, тем больше будет величина риска несвоевременности выполнения работ. Связано это с тем, что прибли-

жение работы к горизонту планирования удаляет ее от момента времени завершения планирования. Соответственно, чем удаленнее объект от момента завершения проектирования календарного плана, тем больше искажение продолжительности строительства. В подтверждение этому утверждению в работе [212] выведена формула, определяющая относительное уменьшение продолжительности строительства в зависимости от ее удаленности от горизонта планирования. Формула приводится ниже.

$$Z_i = \left(1 - \frac{L + S + 0.5 \times D}{H}\right) \quad (4.7)$$

Где: Z_i – относительное уменьшение продолжительности строительства;

L – лаг времени между окончанием ПОС и началом строительства;

S – начало работы;

D – продолжительность работы;

H – период окупаемости проекта.

В данной формуле в качестве временной характеристики горизонта планирования использовано значение периода окупаемости. Так как продолжительность возведения уникальных объектов в большинстве случаев превышает продолжительность возведения типовых объектов, то возможное искажение этой продолжительности для уникальных объектов выше.

В работе С. А. Болотина и М. А. Котовской [218] приводится обоснование причин несвоевременности выполнения работ вызванных количественным разбросом между системами нормирования трудозатрат. Трудозатраты в РФ нормируются следующими документами: ЕНиР, ГЭСН, ФЕР, ТЕР и т.д. Во многих странах выпускаются свои сборники нормирования трудозатрат, аналогичные ЕНиР, с периодичностью не реже раза в год. Так в Великобритании это компании BSIS (сборник Comprehensive Building Price Book и др.) и Davis Langdon an AECOM Company (сборники Spon's Price Books); США – Compass International (сборник Global Construction Costs Yearbook и др.) и т.д. [219].

При привлечении к СМР зарубежного подрядчика, использующего при проектировании календарных планов систему нормирования труда той страны, представителем которой он является, риск несвоевременного выполнения работ повышается. Связано это с тем, что планирование ведется по зарубежным нормам, которые могут не учитывать условия строительства другой страны [220, 221]. Подтверждение этому приводится в работе [218], где в результате сравнительного анализа выявлены отличия величин норм труда ряда зарубежных нормативных баз от отечественных. Так как при возведе-

нии уникальных объектов используются передовые технологии, и внедряется множество инноваций, повышаются требования к опыту и квалификации будущего подрядчика.

В связи с этим поиск потенциального подрядчика, как правило, производится среди строительно-монтажных организаций мирового уровня, что только увеличивает риски несвоевременности выполнения работ.

Также риски несвоевременности выполнения работы вызваны следующими причинами [222-227]:

- Принципиально статистическое определение норм трудовых затрат.
- Непредвиденные перерывы в выполнении работ.
- Неопределенность состава работ, возникающая от планирования по укрупненным показателям.
- Принятие гипотезы о равномерном выполнении работ во времени.
- Несоответствие между планируемой нормативной базой и фактически используемой базой при производстве работ.
- Погодные условия на строительной площадке.
- Латентная неопределенность объемов работ.

Необходимо раскрыть смысл таких причин как: «принципиально статистическое определение норм трудовых затрат», «принятие гипотезы о равномерном выполнении работ во времени» и «латентная неопределенность объемов работ», так как остальные источники не вызывают вопросов.

Принципиально статистическое определение норм трудовых затрат означает, что нормы труда являются результатом статистической обработки наблюдений за выработкой рабочими. Данный способ определения норм труда может иметь погрешность, причем допустимой является погрешность до 30 %, согласно [228], что является, весьма значительной величиной. Статистическая обработка наблюдений за выработкой должна выполняться в соответствии с установленными методами технического нормирования. Так, например, нормы, входящие в ЕНиР, описывались и закреплялись в «Руководстве по техническому нормированию труда рабочих в строительстве», выпущенном ВНИПИ труда в строительстве Госстроя СССР в 1977 г. [228]. Согласно общей теории нормирования «объектами наблюдений, проводимых с целью нормирования, не могут быть процессы, выполняемые передовиками и новаторами, достигшими рекордных показателей» [229]. Другими словами наблюдение должно вестись за среднестатистическими рабочи-

ми, чтобы нормы являлись выполнимыми. Но существует вероятность возникновения такой ситуации, когда отобранные для наблюдений рабочие не способны выполнить запроjected норму [227]. Отсюда и возникает погрешность, которая, как было сказано выше, является допустимой в пределах 30 % [228]. Также ситуация усугубляется тем, что время на технологические перерывы, отдых и личные надобности рабочих, а также подготовительно-заключительные мероприятия, принимается относительно, в процентах от нормы времени на оперативную работу [228]. При возведении уникальных объектов, в особенности высотных, объемы работ значительны. В связи с этим один и тот же процент погрешности в нормах труда вызовет большую погрешность в определении сроков возведения уникальных высотных объектов, нежели объектов с незначительными объемами работ.

Принятие гипотезы о равномерном выполнении работ во времени выражается в том, что в существующей практике планирования принято равномерное распределение объемов работ во времени. На практике же это не всегда соответствует действительности, в результате чего и появляются определенные отклонения от среднего времени выполнения работ. Подробнее данная причина рассмотрена в [226]. Влияние данного типа рисков особенно велико для высотных уникальных объектов, а также протяженных зданий и сооружения, состоящих из однотипных секций. Связано это с эффектом «кривой опыта» [54, 65]. Эффект заключается в том, что работа бригады продолжительное время на одном объекте и выполнение ею одних и тех же работ ведет к увеличению ее производительности. Согласно этой теории, при возведении высотных объектов бригада, переходя с этажа на этаж, должна увеличивать свою производительность, что приведет к неравномерности выполнения работ во времени.

Латентная неопределенность объемов работ выражается в том, что количественные значения объемов работ до их освоения являются частично неизвестными величинами, т.е. латентными. В связи с этим, на стадии планирования возможно лишь строить прогнозы относительно уровня латентной неопределенности объемов работ, оказывающих прямое воздействие на продолжительность строительства. Негативное воздействие данного риска на плановые сроки выполнения работ уникальных объектов велико. Связано это с тем, что возведение уникальных объектов, как правило, сопряжено с выполнением большого количества видов и объемов СМР. Риск латентной неопределенности объемов работ при этом возрастает.

Учесть вышеперечисленные дестабилизирующие факторы, приводящие к срыву запланированных сроков, можно путем использования вероятностных оценок продолжительности работ [230].

Вопросам учетов рисков несвоевременности выполнения работ при стохастическом календарном планировании уделяется значительное внимание в научно-технической литературе, в том числе зарубежной [231-236].

Одним из предлагаемых подходов к учету этих рисков является моделирование случайных продолжительностей с использованием математической статистики [237]. Определить отдельно вероятность возникновения каждой из изложенных выше причин несвоевременного выполнения работ является довольно сложной задачей. В связи с этим принято определять случайные продолжительности при помощи интегрированных моделей математической статистики.

Наиболее распространенные методы стохастического календарного планирования были описаны в первой главе. Из всех существующих методов стохастического календарного планирования мы обратили внимание на метод PERT. Для анализа чувствительности календарного плана МФК «Лахта Центр» был использован именно этот метод. Данный выбор обусловлен реализацией оптимизационного расчета директивных сроков строительства МФК «Лахта Центр» в программе управления проектами МР, в которую интегрированы инструменты, позволяющие учесть риски несвоевременности выполнения работ методом PERT. Таким образом, была проведена автоматизация учета рисков несвоевременности выполнения работ МФК «Лахта Центр».

Как известно, в основе метода PERT лежит трехпараметрическая функция бета распределения случайных продолжительностей. В качестве параметров выступают продолжительности «оптимистическая», «пессимистическая» и «ожидаемая». Все эти параметры, как правило, определяются экспертно.

Однако отсутствие достаточного количества экспертов для определения этих продолжительностей может вызвать трудности в использовании экспертного метода. В качестве альтернативы, оптимистические продолжительности работ могут быть определены в результате оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов. Получаемые в результате оптимизационного расчета продолжительности и будут являться оптимистическими продолжительностями выполнения СМР.

Пессимистические продолжительности работ могут быть получены в результате преобразования формулы 4.7. Относительное максимальное увеличение оптимистической продолжительности работы является величиной обратно пропорциональной относительному уменьшению продолжительности работы в зависимости от ее удаленности от горизонта планирования. Преобразованная формула приобретает следующий вид:

$$t_i^{\text{пес}} = \frac{t_i^{\text{опт}}}{Z_i} = \frac{H \times t_i^{\text{опт}}}{H - (L + S + 0.5 \times t_i^{\text{опт}})} \quad (4.8)$$

Где: Z_i – относительное уменьшение продолжительности строительства;

$t_i^{\text{пес}}$ – пессимистическая продолжительность i -го вида работ;

$t_i^{\text{опт}}$ – оптимистическая продолжительность i -го вида работ.

В соответствии с формулой 4.8 чем больше величина горизонта планирования и меньше оптимистическая продолжительность строительства тем меньше превышение пессимистической продолжительности строительства над оптимистической. Из этого следует, что объекты с меньшей продолжительностью строительства менее чувствительны к рискам несвоевременности выполнения работ.

Как было сказано выше, в работе [212] в качестве величины горизонта планирования используется период окупаемости проекта. Период окупаемости проекта зависит от величины нормы дисконта или нормы доходности (E), что тоже самое, задаваемой экзогенно инвесторами при оценке экономической эффективности проекта. В частном случае для определения горизонта планирования (H) можно представить норму доходности в виде величины обратно пропорциональной периоду окупаемости [209]. Так при $E=20\%$ в год горизонт планирования составит 5 лет.

Для МФК «Лахта Центр» норма дисконта была задана равной 17%, что соответствует горизонту планирования в 5,88 лет. Лаг времени между окончанием проектирования ПОС и началом строительства отсутствовал.

Ожидаемая продолжительность СМР может быть найдена посредством определения среднеарифметической величины между пессимистической и оптимистической продолжительностью.

При проектировании стохастического календарного плана МФК «Лахта Центр» были получены следующие продолжительности:

- Оптимистическая – 278 недель;
- Ожидаемая – 593 недель;

- Пессимистическая – 910 недель.

Продолжительностям были установлены следующие весовые коэффициенты:

- Оптимистическая – 1;
- Ожидаемая – 4;
- Пессимистическая – 1.

Результаты расчета стохастической продолжительности строительства МФК «Лахта Центр» методом PERT в программе управления проектами MP отражены на рис. 4.13.

	Название задачи	Длительность	Оптимистическая длительность	Ожидаемая длительность	Пессимистическая длительность
0	МФК "Лахта Центр"	593,32 нед	278 нед	593,32 нед	910,38 нед
1	Подготовительный период	52,21 нед	51 нед	52,21 нед	53,43 нед
10	Устройство стены в грунте	23,87 нед	23 нед	23,87 нед	24,74 нед
13	Устройство свайного основания	29,43 нед	27 нед	29,43 нед	31,87 нед
34	Устройство удерживающей системы	8,69 нед	8 нед	8,69 нед	9,38 нед
37	Устройство подземной части	65,62 нед	62 нед	65,62 нед	75,11 нед
52	Возведение каркаса надземной части	297,7 нед	157 нед	297,7 нед	438,41 нед
73	Устройство кровельной системы	94,1 нед	84 нед	94,1 нед	139,94 нед
84	Фасадные работы	264,45 нед	162 нед	264,45 нед	402,63 нед
99	Монтаж внутренних инженерных сетей	327,02 нед	166 нед	327,02 нед	523,77 нед
120	Отделочные работы	376,96 нед	171 нед	376,96 нед	620,66 нед
141	Устройство наружных инженерных сетей	93,69 нед	33 нед	93,69 нед	154,39 нед
144	Благоустройство	53,41 нед	13 нед	53,41 нед	93,82 нед
147	Озеленение территории	42,38 нед	8 нед	42,38 нед	76,75 нед
150	Веха окончания проекта	0 нед	0 нед	0 нед	0 нед

Рисунок 4.13 – Расчет стохастической продолжительности строительства МФК «Лахта Центр» методом PERT в MP

Несвоевременность выполнения СМР может привести к такому негативному эффекту как увеличение ресурсных издержек. Одной из причин тому является увеличение затрат на оплату пассивных ресурсов. Как было сказано ранее, трудозатраты пассивных ресурсов зависят от длительности частного потока, на котором они задействованы. Другими причинами повышения ресурсных издержек могут быть увеличение объема загрузки ресурсами типа «мощность» для выравнивания фактических сроков выполнения работ с оптимистическими.

Для МФК «Лахта Центр» рассчитаем увеличение ресурсных издержек за счет увеличения трудозатрат пассивных ресурсов и сравним их с издержками при оптимистической продолжительности. Рассчитать же увеличение ресурсных издержек от действий руководителя проекта, направленных на снижение отклонений фактической про-

должительности от оптимистической на данной стадии не представляется возможным. Результаты расчета приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Увеличение ресурсных издержек МФК «Лахта Центр» при стохастическом календарном планировании

Расчетный период	Ресурсные издержки, тыс. руб	Абсолютная величина увел. ресурс. издержек, тыс. руб
$T_{\text{опт}}=278$ недель	3583396,35	0,00
$T_{\text{ожд}}=593$ недель	3649775,45	66379,11
$T_{\text{песс}}=910$ недель	3701492,37	118096,03

В соответствии с результатами расчета, приведенными в таблице 4.4, можно сделать следующее заключение. При наиболее вероятной ($T_{\text{ожд}}$) продолжительности строительства, с учетом рисков несвоевременности выполнения работ, ресурсные издержки увеличатся на 66379,11 тыс. руб в сравнении с аналогичной величиной при оптимистической продолжительности. При пессимистической продолжительности строительства ресурсные издержки увеличатся на 118096 тыс. руб. в сравнении с аналогичной величиной при оптимистической продолжительности. Увеличение ресурсных издержек вызвано увеличением трудозатрат грузоподъемных башенных кранов, которые относятся к пассивным ресурсам.

Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод. Сроки строительства уникальных объектов имеют вероятностный характер в связи с влиянием на них большого количества факторов, вызывающих риски несвоевременности выполнения СМР. Для анализа чувствительности директивных сроков строительства уникальных объектов, рассчитанных при помощи предложенного нами оптимизационного расчета, был использован метод PERT на базе программы управления проектами МР.

Установлено, что отклонение фактических сроков выполнения работ от оптимистических может привести к увеличению ресурсных издержек на строительство. Построена модель анализа чувствительности директивных сроков строительства МФК «Лахта Центр» и определена величина увеличения ресурсных издержек в связи с влиянием рисков несвоевременности выполнения работ на директивные сроки строительства.

Выводы по четвертой главе

1. Разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяющие автоматизировать адаптированный нами МНРК.
2. Доказано наличие положительного экономического эффекта от реализации оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов на примере строительства МФК «Лахта Центр».
3. Проведен анализ чувствительности директивных сроков строительства уникальных объектов к рискам несвоевременности выполнения работ. Произведен учет влияния этих рисков на продолжительность строительства МФК «Лахта Центр» методом PERT в программе управления проектами Microsoft Project. Также на примере строительства МФК «Лахта Центр» продемонстрировано влияние на величину ресурсных издержек отклонений фактических сроков строительства от оптимистических.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы над диссертацией получены следующие выводы:

1. В результате анализа научно-технической литературы установлено, что продолжительность строительства уникальных объектов может быть задана только директивно, а ее определение возможно путем проведения оптимизационного расчета, при этом задание директивной продолжительности строительства уникальных объектов административным способом может приводить к неоптимальной длительности строительства, а также к определению такой длительности, которая выходит за рамки допустимых пределов.
2. Установлено, что для оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов наиболее адекватным является метод неопределенных ресурсных коэффициентов (МНРК), позволяющий решать поставленную задачу на основе минимизации количества ресурсов типа «мощность» при заданных временных, топологических и ресурсных ограничениях, а также в условиях неявно задаваемых трудовых ресурсов.
3. Приведено обоснование многовариантности организационно-технологических схем строительства уникальных объектов, что обуславливает необходимость индивидуального подхода к каждому уникальному объекту, и лишает возможности разработчика этой документации создать универсальную модель календарного графика на строительство объектов такого рода.
4. Проведена адаптация МНРК к проведению оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства уникальных объектов, в результате была разработана методика определения маргинальных продолжительностей строительства уникальных объектов, а также разработана инвариантная структура календарных графиков строительства, позволяющая свести к единой форме все виды календарных графиков строительства, разрабатываемых в процессе проектирования и строительства объектов.
5. Установлено, что применение классического метода линейного программирования для оптимизации трудовых ресурсов не предусматривает возможность целенаправленного выбора метода поточной организации строительства, а для устранения данного ограничения разработана методика, позволяющая создавать любые комбинации непрерывности выполнения работ.

6. Проведен ряд усовершенствований МНРК, в результате которых был предложен рейтинговый подход к оптимизации, позволяющий ранжировать работы в порядке сокращения использования ресурсов в единицу времени. Выявлены дополнительные возможности МНРК, заключающиеся в учете ограничений на начало и окончание работ, лагов времени и различных типов связей между смежными работами. Предложены новые подходы к решению проблемы неполной оптимизации, имевшей место в МНРК, и доказана эффективность применения в адаптированном нами МНРК подхода, основанного на инверсии базисной переменной.
7. Разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос на базе программы Microsoft Project), позволяющие автоматизировать оптимизационный расчет директивной продолжительности строительства уникальных объектов.
8. Экспериментально и теоретически доказано наличие положительного экономического эффекта от реализации МНРК на примере строительства МФК «Лахта Центр» и проведен анализ влияния рисков несвоевременного выполнения работ на продолжительность строительства МФК «Лахта Центр» в программе управления проектами Microsoft Project, а также установлены зависимости ресурсных издержек от отклонений фактических сроков строительных работ от соответствующих оптимальных сроков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон РФ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» №190-ФЗ от 29.12.2004.
2. ГОСТ 27751-88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. – введ. 1988.07.01. – М: Госстрой СССР, 1988. – 24с.
3. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
4. Диденко В. Г. Высотное строительство: проблемы и перспективы//Социология города. -2008. -№ 1. -С. 73-78.
5. Дуничкин И. В. Влияние аэродинамических параметров высотной застройки на микроклимат и аэрацию городской среды / И. В. Дуничкин, Д. А. Жуков, А. А. Золотарев // Труды Московского государственного строительного университета. – 2013. – № 9. – С. 39-41.
6. Третьякова Е. Г. Современный опыт высотного строительства: учеб. пособие для студентов специальности 2711001 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» / СПбГАСУ. – СПб., 2012. – 103 с.
7. Землянский А. А., Петров В. В., Мирошкин М. Ю. Применение современных свайных и анкерных фундаментов с управляемой эксплуатационной надежностью в строительстве и реконструкции уникальных зданий и сооружений // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сборник трудов научно-технической конференции / СПбГАСУ. – СПб., 2010. – С 158-160.
8. Бесекерский В. А. Руководство по проектированию систем автоматического управления / В. А. Бесекерский. – М.: Высшая школа, 1983. – 293с.
9. Землянский А. А. Мониторинг напряженно-деформируемого состояния нефтеналивных резервуаров / А. А. Землянский // Современные аспекты организации неразрушающего контроля качества продукции на промышленном предприятии: II науч.-прокт. Конф., Турция: Сиде, 2004. – С. 12-15.
10. ГОСТ Р 54257-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – введ. 2010-12-23. – М.: Росстандарт, 2010. – 12 с.

11. Дуванова И. А., Сальманов И. Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – №6. – С. 89-103.
12. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Трулль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
13. Engineering News-Record, 1989, vol. 222, N 7, 44-52.
14. Пухаренко Ю. В., Голубев В. Ю. О вязкости разрушения фибробетона // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – №3. – С. 80-83.
15. Вавренюк С. В. Научное сопровождение уникальных объектов Саммита АТЭС // Жилищное строительство. – 2013. – №5. – С. 14-18.
16. Масленников В. М. Организация геодезического мониторинга деформации возводимых уникальных высотных зданий // Доклад 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета: в 3ч.; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – Ч. II. – С. 145-148.
17. СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. – введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 85 с.
18. СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве. – введ. 1985-07-01. – М.:Госстрой РФ, 1985. – 31 с.
19. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – введ. 1998-01-01. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 76 с.
20. Фомин И. Н. Погрешности угловых измерений, возникающие при строительстве уникальных зданий и сооружений / И. Н. Фомин, А. В. Пономарева // Актуальные проблемы науки о земле: Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – СПб., 2012. – С. 59-62.
21. Фомин И. Н. Оценка точности геодезических работ при строительстве уникальных зданий и сооружений / И. Н. Фомин, В. И. Клеван // Актуальные проблемы науки о земле: Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – СПб., 2013. – С. 30-31.
22. Фомин И. Н. Оценка точности при работе с числовым и графическим материалом при проектировании уникальных зданий и сооружений / И. Н. Фомин, Е. О. Боговая // Актуальные проблемы науки о земле: Международная научно-практическая

конференция студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – СПб., 2013. – С. 35-37.

23. МДС 11-19.2009 Временные рекомендации по организации технологии геодезического обеспечения качества строительства многофункциональных высотных зданий // ООО "ТЕКТОПЛАН" – введ. 2009-01-01. – М.: ОАО "ЦПП", 2009 г.

24. Третьякова Е. Г. Архитектурно-конструктивные и градостроительные проблемы проектирования высотных зданий: учеб. пособие для студентов специальности 2711001 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализации «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» / СПбГАСУ. – СПб., 2012. – 61 с.

25. МГСН 4.19-2005 Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве / Правительство Москвы. – введ. 2005-12-28. – М., 2005. – 126 с.

26. Якубсон В. Первый опыт: высотное строительство в Санкт-Петербурге // Инженерно-строительный журнал. – 2008. – №2. – С. 4.

27. Concrete International, 1991, vol. 13, N 4, 41-50.

28. Хайдуков Г. К., Богданова Е. Н. Строительство и архитектура. Железобетонные конструкции высотных зданий: обзорно-аналитический доклад // ВНИИТПИ. – М. : [Б. и.], 2004. – 112 с.

29. Потапова Ю. И. Высотное строительство в России - проблемы, задачи и способы их решения // Успехи современного естествознания. – 2012. – №6. – С. 14-16.

30. Progressive Architecture, 1980, vol. 61, N 12, 50-57.

31. Engineering News-Record, 1989, vol. 222, N 22, 10-11.

32. BFT, 1993, N 5, 38-39.

33. Civil Engineering, 1999, N 8, 12.

34. Engineering News-Record, 1988, vol. 220, N 5, 42-47.

35. Cement, 1988, N 4, 13-20.

36. Щерба В. Г. Строительство многоэтажных монолитных жилых зданий по новым технологиям // Жилищное строительство. – 2006. № 4. – С. 2-5.

37. Фиделев А. С. Подъемно-транспортные машины. – К: «Вища школа». – 1976. – 220с.

38. Строительные краны: Справочник / В. П. Станевский, В. Г. Моисеенко, Н. П. Колесник, В. В. Кожушко; Под общ. ред. к.т. н. В. П. Станевского — К.: Будівельник, 1984 — 240с.
39. Казаков Ю. Н., Рафальский Ю. Е. Новые зарубежные строительные технологии. New building technologies in abroad. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2007. — 176 с.
40. Особенности проектирования и возведения. Высотные зданий и другие уникальные сооружения Китая. // Перевод с китайского языка. — М.: Издательство АСВ, 2013. — 808 с.
41. Building Design and Construction, 1991, vol. 32, N 1, 64-67.
42. Колчеданцев Л. М., Осипенкова И. Г. Особенности организационно-технологических решений при возведении высотных зданий // Жилищное строительство. — 2013. — №11. — С. 17-19.
43. СанПиН 2.2.3.1384-03 Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ. — введ. 2003-06-30. — Российская газета, N 119/1, 20.06.2003. — 57 с.
44. Косенков Е. Д. Строительство инженерных высотных сооружений из монолитного железобетона. — Киев: Будивельник, 1977. — 184 с.
45. Сбощикова М. Н., Гребенщиков В. С. Монолитное строительство. Мировое применение // Бюллетень иностранной научно-технической информации (БИНТИ). — 2007. — №5. — С. 2-6.
46. Шишкин А. А., Шишкин А. И. Организация, планирование и управление строительным производством: Учеб. пособие / А. А. Шишкин, А. И. Шишкин. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. — 220 с.
47. Дикман Л. Г. Организация строительного производства. М., АСВ, 2003.
48. Фомин В.Н. Организация строительного производства [текст]: учебное пособие. Ч. I / В.Н. Фомин, Д.В. Хавин; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. — Н.Новгород: ННГАСУ, 2008. — 115 с.
49. Афанасьев В. А. Алгоритмы формирования и расчета поточной организации работ. — Л. : ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1972, 114 с.
50. Афанасьев В. А. Классификация методов организации работ. — Экономика строительства, 1975, № 8, с. 32.

51. Афанасьев В. А., Афанасьев А. В. Связи между работами и методы организации работ. – В кн. : Организация, планирование и управление строительством: Межвуз. темат. сб. Л. : ЛИСИ, 1981, с. 9-15.
52. Рекомендации к расчету поточной организации сложных комплексов работ. Путинцева В. М. – В кн. : Организация, планирование и управление строительством: Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1981, с. 109-112.
53. Аленичева Е. В. Организация строительства поточным методом: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. 80 с.
54. Birrell, G. S. Construction planning— Beyond the critical path / J. Constr. Div., ASCE, 106(3), 1980. – 389–407 с.
55. Selinger, S. Construction planning for linear projects / J. Constr. Div., ASCE, 106(2), 1980. – 195–205 с.
56. Kavanagh, D. P. SIREN: A repetitive construction simulation model / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 111(3), 1985. – 308–323 с.
57. Reda, R. M. RPM: Repetitive project modeling / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 116(2), 1990. – 316–330 с.
58. Russell, A. D., and Wong, W. C. M. New generation of planning structures / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 119(2), 1993. – 196–214 с.
59. Johnston, D. W. Linear scheduling method for highway construction / J. Constr. Div., ASCE, 107(2), 1981. – 247–261 с.
60. Arditi, D., and Albulak, M. Z. Line-of-balance scheduling in pavement construction / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 112(3), 1986. – 411–424 с.
61. Chrzanowski, E. N. Jr., and Johnston, D. W. Application of linear scheduling / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 112(4), 1986. – 476–491 с.
62. Russell, A. D., and Caselton, W. F. Extensions to linear scheduling optimization / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 114(1), 1988. – 36–52 с.
63. Al Sarraj, Z. M. Formal development of line-of-balance technique / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 116(4), 1990. – 689–704 с.
64. El-Rayes, K., and Moselhi, O. Resource-driven scheduling of repetitive activities on construction projects / J. Constr. Mgmt. and Economics, 16(4), 1998. – 433–446 с.
65. Ashley, D. B. Simulation of repetitive-unit construction / J. Constr. Div., ASCE, 106(2), 1980. – 185–194 с.

66. Khaled El-Rayes, and Osama Moselhi. Optimizing resource utilization for repetitive construction projects / J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 127, 2001. – 18–27 с.
67. Неритмичные потоки с непрерывным выполнением одноранговых работ. Афанасьев А. В. – В кн. : Совершенствование организации и управления строительством: Межвуз. темат. сб. Л. : ЛИСИ, 1982, с. 13-22.
68. Особенности формарования параллельно-поточных методов организации работ. Драпенко В. Г. – В кн. : Совершенствование организации и управления строительством: Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1982, с. 22-32.
69. Об одной модели оптимизации потоков с критическими работами, выявленными при учете ресурсных и фронтальных связей. Драчев Е. А., Крылов Г. В. – В кн. : Совершенствование организации и управления строительством: Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1982, с. 32-35.
70. Расчет потоков с одномоментным выполнением некоторых видов работ на одних и тех же фронтах. Воронина Е. Р. – В кн. : Совершенствование организации и управления строительством: Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1982, с. 45-48.
71. МДС 12-46.2008 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ. – введ. 2009.01.01. – М: ЦНИИОМТП, 2009. – 38с.
72. СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений». Официальное переиздание с изменениями на 1 июля 1990 г.
73. МДС 12-43.2008 Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений. – введ. 2008.01.01. – М: ЦНИИОМТП, 2008. – 36с.
74. О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий. Постановление правительства РФ от 5 марта 2007 г. № 145
75. Александрова, В. Ф. Проектирование календарных планов и строительных генеральных планов строительства объектов: учеб. пособие / В. Ф. Александрова, Ч. О. Бахтинова; СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 159 с. + вклейка.
76. Бовтеев С.В. и др. Управление инвестиционными строительными проектами на основе PRIMAVERA. М. – СПб.: «СПбГАСУ – ПМСОФТ», 2008. – 456 с.

77. Форум по управлению проектами. URL: <http://www.pmonline.ru/software/openp/> (Дата обращения: 14.03.2014).
78. Куперштейн В.И. Microsoft Project 2010 в управлении проектами. М.: ООО «ЛитРес», 2010.
79. Методы контроля реализации строительных проектов на основе современных программных средств / С. В. Бовтеев, Ю. О. Чайка // Технология и организация строительного производства. Межвуз. темат. сб. тр. / СПбГАСУ. СПб., 2005. С. 128-135.
80. Управление проектами: Справ. Пособие / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, И. М. Каролинский и др.; Под ред. И. И. Мазура, В. Д. Шапиро. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.: с ил.
81. Рациональная адаптация программы Microsoft Project для цели статистического моделирования несвоевременного выполнения работ / С. А. Болотин, С. Э. Климов // Технология и организация строительного производства. Межвуз. темат. сб. тр. / СПбГАСУ. СПб., 2005. С. 109-113.
82. Х. Ахьюджа. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. Пер. с англ. /Под. ред. В. Н. Калашникова. М.: Наука, 1979.
83. Антонова А.С., Аксенов К.А. Генетическая оптимизация при решении задачи планирования проектных работ // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7409 (дата обращения: 03.12.2014).
84. Bojeiko, W.; Hejducki Z.; Wodecki M.; (2012) "Applying metaheuristic strategies in construction projects management." Journal of Civil Engineering and Management, 2012, 18 (5), 621-630; URL: doi:10.3846/13923730.2012.719837 (дата обращения: 03.12.2014).
85. Lenstra, J. K.; Rinnoy Kann, A. H. G.; Brucker, P. 1977. Complexity of machine scheduling problems, Annals of Discrete Mathematics 1: 343–362.
86. Bulfin, R. L.; M'Hallah, R. 2003. Minimizing the weighted number of tardy jobs on two-machine flow shop, Computers & Operations Research 30(12): 1887–1900.
87. Vallada, E.; Ruiz, R.; Minella, G. 2008. Minimizing total tardiness in the m-machine flowshop problem: A review and evaluation of heuristics and metaheuristics, Computers & Operations Research 35(4): 1350–1373.
88. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. – Ленинград, Стройиздат, 1990. 160с.

89. Хибухин В.П., Величкин В.З., Втюрин В.И. Математические методы планирования и управления строительством. Л.: Стройиздат, 1990. — 184 с.
90. Handa, M., and Barcia, R. M. (1986). "Linear scheduling using optimal control theory." J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE, 112(3), 387-393.
91. Grabowski, J.; Wodecki, M. 2004. A very fast tabu search algorithm for the permutation flow shop problem with makespan criterion, Computers & Operations Research 31(11): 1891–1909.
92. Hariri, A. M. A.; Potts, C. N. 1989. A branch and bound algorithm to minimize the number of late jobs in a permutation flow-shop, European Journal of Operational Research 38(2): 227.
93. Hasija, S.; Rajendran, C. 2004. Scheduling in flowshops to minimize total tardiness of jobs, International Journal of Production Research 42(11): 2289–2301.
94. Grabowski J. On two-machine scheduling with release and due dates to minimize maximum lateness. Opsearch 1980;17:133–54.
95. Chung, C.-S.; Flynn, J.; Kirca, Ö. 2006. A branch and bound algorithm to minimize the total tardiness for m-machine permutation flowshop problems, European Journal of Operational Research 174(1): 1–10.
96. Schaller, J. 2005. Note on minimizing total tardiness in a two-machine flowshop, Computers & Operations Research 32(12): 3273–3281.
97. Sen T, Dileepan P, Gupta JND. The two-machine flowshop scheduling problem with total tardiness. Computers & Operations Research 1989; (16):333–40.
98. Kim Y. A new branch and bound algorithm for minimizing mean tardiness in two-machine flowshops. Computers & Operations Research 1993;20:391–401.
99. Pan JC, Fan ET. Two-machine flow-shop scheduling to minimize total tardiness. International Journal of Systems Science 1997;28:405–14.
100. Pan JC, Chen J, Chao C. Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop. Computers & Operations Research 2002;29: 869–85.
101. Ucar, H.; Tasgetiren, M. F. 2006. A particle swarm optimization algorithm for permutation flow shop sequencing problem with the number of tardy jobs criterion, in Proc. of the 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems IMS'2006, Sakarya, Turkey, 1100–1120.

102. Grabowski J, Pempera J. New block properties for the permutation flow-shop problem with application in TS. *Journal of the Operational Research Society* 2001;52:210–20.
103. Ishubuchi M, Masaki S, Tanaka H. ModiGed simulated annealing for the flow shop sequencing problems. *European Journal of Operational Research* 1995;81:388–98.
104. Nowicki E, Smutnicki C. A fast tabu search algorithm for the permutation flow-shop problem. *European Journal of Operational Research* 1996;91:160–75.
105. Ogbu FA, Smith DK. The application of the simulated annealing algorithm to the solution $n/m/P=C$ max flow-shop problem. *Computers and Operations Research* 1990;17:243–53.
106. Osman IH, Potts CN. Simulated annealing for permutation flow shop scheduling. *OMEGA* 1989;17:551–7.
107. Reeves CR, Yamada T. Genetic algorithms, path relinking and the flowshop sequencing problem. *Evolutionary Computation* 1998;6:45–60.
108. Taillard E. Some efficient heuristic methods for flow-shop sequencing. *European Journal of Operational Research* 1990;47:65–74.
109. Taillard E. Benchmarks for basic scheduling problems. *European Journal of Operational Research* 1993;64:278–85.
110. Werner F. On the heuristic solution of the permutation flow shop problem. *Computers and Operations Research* 1993;20:707–22.
111. Widmer M, Hertz A. A new heuristic method for the flow-shop sequencing problem. *European Journal of Operational Research* 1989;42:186–93.
112. Grabowski J, Wodecki M. A very fast tabu search algorithm for the job shop problem. Technical Report 21/2001, Institute of Engineering Cybernetics, Wroclaw University of Technology. In: Rego C, Alidaee B, editors. *Adaptive memory and evolution; tabu search and scatter search*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, in print.
113. Grabowski J. A new algorithm of solving flow-shop the problem. In: Feichtinger G, Kall P, editors. *Operations research in progress*. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1982. p. 57–75.
114. Glover F. Tabu search. Part I. *ORSA Journal of Computing* 1989;1:190–206.
115. Glover F. Tabu search. Part II. *ORSA Journal of Computing* 1990;2:4–32.
116. Grabowski J, Nowicki E, Zdrzalka S. A block approach for single machine scheduling with release dates and due dates. *European Journal of Operational Research* 1986;26:278–85.

117. Grabowski J, Skubalska E, Smutnicki C. On flow-shop scheduling with release and due dates to minimize maximum lateness. *Journal of the Operational Research Society* 1983;34:615–20.
118. Nowicki E, Smutnicki C. Permutation flow-shop scheduling. Benchmarks results, Technical Report PRE 15/96, 1996, Technical University of Wroclaw.
119. Eldin, N. N., and Senouci, A. B. Scheduling and control of linear projects / *Can. J. Civ. Engrg.*, Ottawa, 21, 1994. – 219–230 с.
120. Спектор М.Д. Ориентация строительного производства на конечные цели. М.: Стройиздат, 1989. - 138 с.
121. Adeli H. and Karim A. Scheduling/cost optimization and neural dynamics model for construction / *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, ASCE, 123, 1997, 450-458.
122. Adeli, H., and Park, H. S. (1995a). "A neural dynamics model for structural optimization-Theory." *Compo and Struct.*, 57(1), 383-390.
123. Liang, L., Burns, S. A., and Feng, C.-W. (1995). "Construction time-cost trade-off analysis using LP/IP hybrid method." *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, ASCE, 121(4), 446-454.
124. Mohammed, H. A., Abd EI Halim, A. O., and Razaqpur, A. G. (1995). "Use of neural networks in bridge management systems." *Transp. Res. Rec'Jrd No.* 1490, 1-8.
125. Rogalska, M., Bojeiko, W., Hejducki Z (2008) "Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling." *Automation in Construction*, 18 (2008), 24-31.
126. A.P. Chassiakos, S.P. Sakellaropoulos, Time–cost optimization of construction projects with generalized activity constraints, *J. Constr. Eng. Manag.*, ASCE 131 (10) (2005) 1115–1124.
127. Jiang, A.; Issa, R. R. A.; Malek, M. 2011. Construction project cash flow planning using the Pareto optimality efficiency network model, *Journal of Civil Engineering and Management* 17(4): 510–519.
128. Moselhi, O., and El-Rayes, K. (1993). "Scheduling of repetitive projects with cost optimization." *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, ASCE, 119(4), 681–697.
129. Adeli, H., and Yeh, C. (1989). "Perceptron learning in engineering design." *Microcomputers in Civ. Engrg.*, 4(4), 247-256.
130. Adeli, H., and Zhang, J. (1993). "An improved perceptron learning algorithm." *Neural. Parallel, and Scientific Computations*, 1(2), 141-152.

131. Adeli, H., and Hung, S. L. (1995). Machine learning-Neural networks, genetic algorithms, and fuzzy systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.
132. Adeli, H., and Park, H. S. (1995a). "A neural dynamics model for structural optimization-Theory." *Comp. and Struct.*, 57(1), 383-390.
133. Adeli, H., and Park, H. S. (1996). "Hybrid CPN-neural dynamics model for discrete optimization of steel structures." *Microcomputers in Civ. Engrg.*, 11(5), 355-366.
134. Планирование капитальных и текущих ремонтно-строительных работ с использованием методов динамического программирования / О. Н. Попова, А. Ю. Лукин // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. № 12. – С. 32-34.
135. Sarker, B. R.; Egbelu, P. J.; Liao, T. W.; Yu, J. 2012. Planning and design models for construction industry: A critical survey, *Automation in Construction* 22: 123–134.
136. Болотин С.А. Методология оптимального ресурсораспределения в календарном планировании строительства объектов и их комплексов: Дисс. док. техн. наук. /СПбГАСУ С.-Пб., 1998. - 328с.
137. Обоснование целесообразности использования генетических алгоритмов при оптимизации распределения ресурсов в календарном планировании строительства / В. Я. Мищенко, Д. И. Емельянов, А. А. Тихоненко // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №10. С. 69-71.
138. СП 48.13330.2011 Организация строительства [Текст]. – Введ. 2011-05-20. – М. : ОАО "ЦПП", 2010. – 23 с.
139. СТО НОСТРОЙ 2.33.14-2011 Организация строительного производства. Общие положения. – Введ. 2011-12-05. – М. : ООО "ЦНИОМТП", 2011. – 50 с.
140. Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02. 2008 года.
141. СНиП 12-01-2004 Организация строительства [Текст]. – Взамен СНиП 3.01.01-85*; введ. 2005-01-01. – М. : РОССТРОЙ, 2004. – 31 с.
142. Лим В.Г., Мужив С.А., Кузнецов П.А. Принятие управленческих решений по обеспечению экологической безопасности техногенных объектов [текст] // Материалы всероссийской научно-практической конференции "Техносферная безопасность. Надежность, качество, энергосбережение", 2003. - Ростов-на-Дону, РГСУ - С.279-284.
143. Лим В.Г., Шапиро В.Д., Эрнстов В.И. и др. Программный комплекс для ведения базы данных нормативных документов по проектированию, строительству и эксплуатации нефтегазопроводов [текст] // Научно-технический сборник

"Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт", 1997, Москва: ГАНГ им. И.М. Губкина, № 4 - С.6-18.

144. Цай Т. Н., Грабовый П. Г. Организация строительного производства: Учебник для вузов / Т. Н. Цай, П. Г. Грабовый, В. А. Большаков и др. – М. : Изд-во АСВ, 1999. – 432 стр. : ил.

145. Чередниченко Н. Д. Методы управления проектами при организационно-технологическом моделировании строительного производства: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.23.08 : защищена 05.06.2014 / Чередниченко Надежда Дмитриевна. – Ростов на Дону, 2014. – 148 с. – Библиогр.: с. 130-147.

146. Волков С. В. Техничко-экономические показатели оценки качества органиазционно-технологических решений строительства жилых объектов [Текст] / С. В. Волков, Л. В. Волкова, В. Н. Шведов // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 9. – С 34-42.

147. Соколов Г. К. Технология и организация строительства : учебник для студ. проф. Образования / Г. К. Соколов. – 6-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.

148. Болотин С. А. Организация строительного производства : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 208 с.

149. Климов С. Э. Особенности формирования и оптимизации календарных планов строительного производства в условиях крайнего севера / С. Э. Климов, А. И. Кычкин // Наука и образование. – 2005. – №1. – С. 57-60.

150. Никонов Н. Н. Еще раз об особенностях проектирования и строительства уникальных сооружений // Архитектура и строительство Москвы. – 2007, №1. – С. 35–40.

151. Небритов, Б. Н. Организационно-технологическое проектирование в строительстве [Текст] / Б. Н. Небритов. – М. : Вуз. кн., 2011. – 144 с.

152. Волков С. В. Особенности проектирования организационно-технологических схем строительства жилых зданий [Текст] / С. В. Волков, Л. В. Волкова, В. Н. Шведов // Известия вузов. Строительство / Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. – Новосибирск, 2013. – 2-3 (650-651). – С. 42-47.

153. П. С. Нанасов Управление проектно-строительным процессом (теория, правила, практика) : Учебное пособие. Издательство АСВ, – М : 2005, 160 стр.

154. Мангушев Р. А., Осокин А. И. Геотехника Санкт-Петербурга: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2010. 264 с.
155. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. 12 : Строительство подземных сооружений / [Абрамчук В. П. и др.]. – 2008. – 212, [1] с. : ил., цв. ил.
156. Верстов В. В., Гайдо А. Н., Иванов Я. В. Технология и комплексная механизация шпунтовых и свайных работ: Учебное пособие. 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 288 с.: ил.— (Учебники для вузов. Специальная литература).
157. Тетиор А. Н., Логинов В. Ф. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений. – К. : Будивэльник, 1990. – 168 с. : ил. – (Б-ка строителя).
158. Теличенко В. И. Технология строительных процессов : В 2 ч. Ч.1. Учеб. для строит. Вузов / В. И. Теличенко, О. М., Терентьев., А. А. Лapidус – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2005. – 392 с. : ил.
159. Соболев В. И. Методологические основы разработки организационно-технологической документации в условиях неопределенности информации [Текст] : специальность 05.23.08 "Технология и орг. стр-ва" : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Соболев Владимир Иванович ; [Рост. гос. строит. ун-т]. - Ростов н/Д, 2006. - 39 с. : ил.. - Библиогр.: с. 35-39.
160. Сандан Р. Н. Совершенствование методов календарного планирования строитель-но-монтажных работ на уровне простых технологических процессов : автореф. дис. на соиск. учен. степ. к. т. н. специальность 05.23.08 <Технология и организация строитель-ства> /Сандан Руслан Николаевич; [С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2011. - 21, [1] с. : ил. ; 21 см. - Библиогр.: с. 22 (8 назв.).
161. Калюжнюк М. М., Сандан Р. Н. Структурная классификация элементов строи-тельных процессов//Вестник гражданских инженеров. 2008. №1(14). С. 46-52.
162. Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Упорядочение рабочих операций простых те х-нологических процессов строительного производства//Инженерно-строительный жур-нал. №7(25). 2011. С. 87-99.
163. Колчеданцев Л. М. Методические указания по разработке календарных планов в составе курсовых и дипломных проектов: для студентов всех форм обучения специаль-ности «Промышленное и гражданское строи-тельство» (электронная версия) / Л. М. Колчеданцев, И. Г. Осипенкова.

164. Котовская, М.А. Оценка применимости норм ЕНиР к расчету трудозатрат при проектировании календарного плана [Текст] / М.А. Котовская // Актуальные проблемы строительства и архитектуры: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – В 2 ч. Ч. II. – СПб, 2012. – С.197-200.
165. Котовская, М.А. Оценка применимости норм ЕНиР к расчету проектных трудозатрат при определении продолжительности строительства [Текст] / М.А. Котовская // Актуальные проблемы современного строительства и пути их эффективного решения: материалы международной научно-практической конференции 10-12 октября 2012 г. / под общей редакцией А.Н. Егорова, А.Г. Черных / СПбГАСУ. – В 2 ч. Ч. II. – СПб, 2012. – С.153-156.
166. Рыбальский В.И. Автоматизированные системы управления строительством. Киев: Высшая школа, 1979. – 480 с.
167. Фрай К. Д. Microsoft Office Excel 2010 : [русская версия] / Кертис Д. Фрай; [пер. с англ. С. Чернятинского]. - Москва : Эком, 2011. - 511 с. : ил.
168. Руководство по высотным зданиям. Типология и дизайн, строительство и технология : пер. с англ. – М. : ООО «Атлант-Строй», 2006. – 228 с.
169. Батаев Д. К.-С. Организационно-технологические методы производства восстановительных работ // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. – 2002, №2. – С. 175–183.
170. Олейник П. П., Ширшиков Б. Ф. Проектирование организации строительства и производства строительно-монтажных работ: учеб. пособие. – Саратов: Электронно-библиотечная система IPRbooks, 2013. – 40 с.
171. Будников М.С., Недавий П.И., Рыбальский В.И. Основы поточного строительства. Киев: Госстройиздат, 1961.
172. Задриборода В.М., Нечитайло В.М. Определение размеров пространственного участка специализированного строительного потока // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1983. № 7.
173. Соболев В. И., Химишев З. К. Влияние разбивки общего фронта работ на число исполнителей и продолжительность потока // Вестник Адыгейского государственного университета. 2006. №2. С. 118–119.

174. Уськов В.В. Компьютерные технологии в подготовке и управлении строительных объектов [Электронный ресурс] / Уськов В.В.– Электрон. текстовые данные.– М.: Инфра-Инженерия, 2013.– 320 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13537>.– ЭБС «IPRbooks», по паролю.
175. Стаценко А.С. Технология бетонных работ [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Стаценко А.С.– Электрон. текстовые данные.– Минск: Вышэйшая школа, 2009.– 239 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20149>.– ЭБС «IPRbooks», по паролю.
176. Автоматизация организационно-технологического проектирования в строительстве [Электронный ресурс]: учебник / С.А. Синенко [и др.].– Электрон. текстовые данные.– Саратов: Вузовское образование, 2013.– 240 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12806>.– ЭБС «IPRbooks», по паролю.
177. Олейник П. П., Ширшиков Б. Ф. Проектирование организации строительства и производства строительно-монтажных работ: Учебн. пос. / Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2010. – 51 с.
178. Ульянов Ю. А. Технология создания 4-мерных пространственно-временных зон для оптимизации календарного графика строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. – 2009. – №16. – С. 130–135.
179. Болотин С.А., Рунковский О.Н. Максимизация продолжительностей работ всех исполнителей в расписаниях СМР // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1990, № 11. – С. 66–70.
180. Чахкиев И. М. Разработка методики минимизации трудовых ресурсов и расчета директивных сроков строительства уникальных объектов / И. М. Чахкиев // Исследования молодых ученых Евразии: успехи, проблемы, перспективы: Материалы научно-практической конференции 28–29 ноября 2013 года в рамках Евразийского научного форума / Под ред. М. Ю. Спириной, А. А. Торопыгиной. – СПб. : МИЭП при МПА ЕврАзЭС, 2013. – С. 243–249.
181. Чахкиев И. М. Постановка задачи минимизации трудовых ресурсов и расчета директивных сроков строительства уникальных объектов / И. М. Чахкиев // Петербургская школа поточной организации строительства: материалы Междунар. науч. конференции / под общей ред. Е.Б. Смирнова; СПбГАСУ. – СПб., 2014. –С. 94–96.

182. Болотин, С. А., Гуриева, М. А., Чахкиев, И. М. К вопросу обоснования директивной продолжительности строительства уникальных объектов / С. А. Болотин, М. А. Гуриева, И. М. Чахкиев // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – №1(42). – с. 61–65.
183. Банди Б. Основы линейного программирования. – М.: «Радио и связь», 1989. 176 с.
184. G. B. Dantzig. Linear Programming and Extensions. – Princeton University Press, 1963.
185. Еремеев П. Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. Т. 2. № 1. – С. 5–15.
186. Айрапетов А. Б. Новые аспекты аэродинамики ветрового нагружения высотных зданий в мегаполисе, новые подходы и методические принципы исследований как источник концепции формирования новых нормативов проектирования и строительства // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. № 3. – С. 582–584.
187. Речинский А. В., Стрелец К. И. Повышение квалификации по проектированию и строительству особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. № 1. – С. 73–75.
188. Рекомендации по определению норм продолжительности строительства зданий и сооружений, строительство которых осуществляется с привлечением средств бюджета города Москвы. Утв. приказом Москомэкспертизы от 12.09.2012 года №50.
189. Чахкиев И. М. Минимизация трудовых ресурсов при оптимизационном расчете директивных сроков строительства на примере МФК «Лахта Центр» // // Актуальные проблемы строительства: Межд. научно-практическая конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – В 5 ч. Ч. 1. – СПб., 2014. – С. 156-160.
190. Чахкиев И. М. Оптимизация директивной продолжительности строительства уникальных объектов (на примере МФК «Лахта Центр») // Недвижимость: экономика и управление / МГСУ, М. –2014, № 1-2. С. 20–25.
191. Kerzner H. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling / 8th ed. New York: JohnWiley&Sons. 2003. 891 p.
192. Paul E Harris. Planning and Control Using Microsoft Office Project and PMBOK Guide Fourth Edition : Including Microsoft Project 2000 to 2007 / Eastwood Harris Pty Ltd. 2010. – 334 p.

193. Чахкиев И.М. Укрупненный алгоритм решения ресурсных задач для уникальных объектов на примере МФК «Лахта-Центр» // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13199>.
194. Поточная организация работ в строительстве: учеб. пособие / В. А. Афанасьев, А. В. Афанасьев; СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2000. – 152 с.
195. Модели поточной организации работ: учеб. пособие / В. А. Афанасьев, Т. Ф. Морозова; СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2002. – 36 с.
196. Белецкий, Б. Ф. Организация строительных и монтажных работ: учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов». – М.: Высш. шк., 1989. – 311 с.
197. Ашманов С.А., Тимохов А.В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. – М.: Наука, 1991. – 448 с.
198. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 380 с.
199. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику. – М.: Наука, 1975. – 480 с.
200. Боброва Т. В., Шиковский В. С. Особенности управления производственной программой дорожной организации как «Портфелем проектов» // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2008. №10. С. 55–59.
201. Чахкиев, И. М. Определение и классификационное упорядочение показателей качества сварных соединений сборных железобетонных конструкций [Текст] / И. М. Чахкиев // 68-я научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов / СПбГАСУ. – В 5 ч. Ч. 1. – СПб., 2011. – С. 112-116.
202. Чахкиев И. М. Формирование нормативного уровня качества сборных железобетонных конструкций / И. М. Чахкиев // Научно-исследовательская работа студентов СПбГАСУ: Сб. научных трудов студентов – победителей конкурса грантов 2010–2011 гг. Вып. 6 / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2011. – с 116–124.
203. Калюжнюк, М. М., Чахкиев, И. М. О методическом обеспечении операционного контроля качества сварных соединений сборных железобетонных конструкций [Текст] / М. М. Калюжнюк, И. М. Чахкиев // Сборник научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых победителей конкурсов 2011 г. Вып. 7 / СПбГАСУ – СПб: Изд-во СПбГАСУ, 2012. – 52-61.

204. Моделирование сезонных колебаний при изучении производственной системы / С. А. Баркалов, В. Н. Колпачев, П. Н. Курочка, А. И. Половинкина // Управление большими системами: сборник трудов. – 2004. – №9. – С. 40-52.
205. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства в условиях автоматизированных систем проектирования. М.: Стройиздат, 1973. – 312 с.
206. TimeLine 5.0 User's Guide. Symantec Corporation, 1984-1991, 605 p.
207. Вильям Дж. Орвис Visual Basic for Applications на примерах: Пер. с англ. – М. : БИНОМ. – 512 с.: ил.
208. Болотин С. А. Теоретические и практические основы организации и управления в строительстве: учеб. пособие / С. А. Болотин, Н. В. Брайла, А. И. Гуринов, Т. Л. Симанкина, И. М. Шутова; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – 140 с.
209. S. Bolotin, M. Kotovskaya, I. Ptuhin, I. Ptuhina, I. Chahkiyev and Četković J "Quasi Float Time Revealing When Evaluating Construction Schedules Based On Discounting. " Applied Mechanics and Materials, Vol. 725 – 726, p. 1019-1024 (0,38 п.л. / 0,06 п.л.).
210. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – М.: Экономика, 2000. – 421 стр.
211. Cheng F. Lee, Jozeph E. Finnerty. Corporate finance: theory, method and applications. Harcourt Brace Jovanovich, Publisher, San Diego, New York, Chicago, Austin, Washington, 2000. – XVIII, 686 p.
212. Болотин, С.А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов [Текст] / С.А. Болотин, А.Х. Дадар, М.А. Котовская // Инженерно-строительный журнал. – 2013. - №7 (42). – С.51-57.
213. Кудряшова Е.В. Понятие «горизонт планирования» в финансовом праве // Финансовое право. 2013. №4. С. 5–8.
214. Аношкина Е.Л., Карпович Ю.В. Методические аспекты перспективного планирования развития сельских территорий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2010. №7. С. 78–86.
215. Харин А.А. Принцип неопределенного будущего, примеры его применения в экономической теории, возможности его применения в теориях сложных систем, в теории множеств, теории вероятностей и логике // Моделирование и анализ безопасности и

риска в сложных системах: труды международной научной школы МАБР. Санкт-Петербург, 2007.

216. Verderame P.M., Floudas C.A. Integration of Operational Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Scale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2010. No.10. Pp. 4948–4965.

217. Tang L., Meng Y., Liu J. An Improved Lagrangean Relaxation Algorithm for the Dynamic Batching Decision Problem // *International Journal of Production Research*. 2011. No.9. Pp. 2501–2517.

218. Болотин С. А., Котовская М. А. Анализ европейской и российской нормативных баз трудовых затрат применительно к календарному планированию строительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. №2 (37). С. 98-103.

219. Котовская, М.А. Российский и зарубежный опыт расчета трудозатрат при проектировании календарного плана [Текст] / М.А. Котовская // *Актуальные проблемы строительства: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов* / СПбГАСУ. – СПб, 2013. – С.92-94.

220. R.I. Carr, W.L. Meyer, Planning construction of repetitive building units, *J. Constr. Div., ASCE* 100 (3). 1974. Pp. 403–412.

221. Zhao R., Liu X., Study on multiple objective optimization method in construction project management, *Proceedings International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007*, 2007, pp. 5312–5315.

222. Болотин С.А. Управление проектом. -СПб.: СПбГАСУ, 2000. -96 с.

223. Тсадо Теофилус Йиса. Ограничение риска несвоевременного выполнения строительных работ при их поточной организации. Дисс. к.т.н., СПб.: СПбГАСУ, 2003.

224. Климов С. Э. Методология календарного планирования строительного производства в суровых условиях Крайнего Севера / С. Э. Климов. – СПб. : СПбГАСУ, 2005. – 167 с.

225. Болотин С.А., Вихров А.Н., Гладий Н.Я. Анализ скорости выполнения СМР как оптимизационного параметра календарного плана строительства. В кн.: «Качество. Инновации. Наука. Образование». Омск, СибАДИ, 2005.

226. Птухина, И.С. Распределение ответственности между контрагентами строительства / И.С. Птухина, С.А. Болотин, М.А. Котовская. – Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 95 с.

227. Котовская, М.А. Анализ латентных рисков применения производственных и сметных нормативов трудозатрат при проектировании календарного плана строительства [Текст] / М.А. Котовская // Петербургская школа поточной организации строительства: материалы международной научной конференции 20-21 февраля 2014 г. / под общей редакцией Е.Б. Смирнова / СПбГАСУ. – СПб, 2014. – С.44-47.
228. Руководство по техническому нормированию труда рабочих в строительстве. / ВНИПИ труда в строительстве Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1977. – 49 с.
229. Романова, К.Г. Нормирование труда и сметы. / К.Г. Романова, Е.П. Жарковская, Г.Л. Исаева и др. – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
230. Калугин Ю. Б. Календарное планирование работ с вероятностными временными параметрами в иерархических структурах // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – №10. – С. 30-39.
231. Sadi A., Sadiq A., 2006. Causes of delay in large construction projects. Journal Project Management, 24(4): 349-357.
232. Лич Л. Вовремя и в рамках бюджета. Управление проектами по методу критической цепи. Альпина Паблишер, 2010. – 354 с.
233. Кузнецов С. М. Обоснование риска продолжительности строительства объектов / С. М. Кузнецов, Н. В. Холомеева, С. Э. Ольховиков // Научно-исследовательские публикации. – 2014. – №3. – С. 23-31.
234. Гинзбург А. В., Жавнеров П. Б. Влияние мероприятий по повышению организационно-технологической надежности на функционирование строительной организации и планирование строительства // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №3. С. 94-96.
235. Климов С. Э. Развитие теории и совершенствование методологии календарного планирования строительства в суровых условиях Крайнего Севера: дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук : 05.23.08 / СПбГАСУ. – 2005. – 324 с.
236. Project Management Institute PMI. PMBOK (4th Edition). Standart of Project Management. Project Management Institute, Inc.
<http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=2831128>
237. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work / S. Bolotin, A. Birjukov // World Applied Sciences Journal = Всемирный журнал прикладных наук. Vol. 23 Issue (Problems of Architecture and Construction = Проблемы архитектуры и строительства). 2013. P. 1–4.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение 1 Листинг программы-макроса МНРК адаптированного к
оптимизационному расчету директивных сроков строительства уникальных
объектов**

```
'Macro MNRK(главная Ctrl+Q)
Option Explicit
Rem ПЕРЕУСТАНОВЛИВАЕМЫЕ значения констант
Public Const РАЗМЕР = 590 'ограничивает число УРАВНЕНИЙ
Rem МЕТКИ: СОВСЕМ_КОНЕС, КОНЕС, ВОЗВРАТ
Rem МЕТКИ: СНОВА, ОБРАТНО, НАЗАД эти метки не использованы
Dim NAMEPROJ As String 'имя файла проекта
Dim ДАНО(1 To 130, 1 To 12) As Single 'массив данных проекта
'1-работа 2-фронт 3-строка в МР 4-продолжительность 5-не раньше
'6-не позже 7-адрес ФС 8-смещение ФС 9-адрес РС 10- смещение РС
'11 - строка в МР первого фронта, 12 то же последенго фронта данного вида
Dim DATAT, PRIM, LAST As Single 'общ.продолж., первый и последний фронт
текущей работы
Dim NCTPOK, NTASK, NVID, YPAB As Integer 'число строк, задач, видов работ и
уравнений
Dim NHC, NKC, NFC, NPC, HOMEP As Integer 'последние индексы связей
(НС, КС, ФС, РС)
Dim МЕТКИ_РАБОТ(1 To 20, 1 To 3) As Integer 'метки фиксации (-1) вида работ
1, ФС 2, РС 3
Dim МЕТКА_FC, МЕТКА_PC, METHOD As Integer 'локальные фиксации каждого
фронта
Dim VID, FRN, FRN_VID, PROC, PRI As Integer 'вид, фронт, фронтов в виде, про-
цент и приоритет
Dim DATAFINISH, DATAS, DATAF As String 'даты начала и конца
Dim БЕКТОР1, БЕКТОР2, ХРОНОМ1, ХРОНОМ2 As String 'связи и ограниче-
ния
Dim REZ_WEEK, BED As Single 'резерв в неделях, ВЕДУщий элемент
Dim Т_PK, Т_PK_UP, Т_REZ, Т_REZ_UP As Single 'продолжительности низа и
верха
Dim ADR, VID_UP, FRN_UP, LAST_UP As Integer 'адрес и параметры верхней
ветви
Dim SIMPLEX(0 To РАЗМЕР, 0 To РАЗМЕР) As Single 'симплекс-матрица
'первый индекс=строка, второй=столбец, 0 строка=ЦФ (от 13 до РАЗМЕР для
доп.баз.плана)
'0-й столбец=резерв времени уравнения, последний столбец=НОМЕРу баз.перем.
'последняя строка=НОМЕРу базисного уравнения для этой переменной
Dim SIMPLEX1(0 To РАЗМЕР, 0 To РАЗМЕР) As Single 'симплекс-матрица1 для
анализа фиксирования
Dim PRIOR(0 To 4, 0 To 14) As Single 'матрица приоритетов
Dim KeyОТВЕТ As Integer 'флаг и код клавиши при ответе
```

```

Dim СТРОКА, СТРОКА2, ОКНО, НАЗВ As String 'СТРОКА, текст и НАЗВание
окна
Dim A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N As Integer 'целые от А до N
Dim P, Q, R, S, T, U As Single 'вещественные одинарной точности от Р до U
Dim V, W As Long 'длинное целое

Sub MNRK()
'1 блок. Установка необходимых для оптимизации параметров расписания
Tools/Options
Options View DateFormat:=1 ' выбор формата даты типа 31.01.96
Options View ProjectSummary:=True ' создать строку с суммарной задачей
CalculateProject 'расчет проекта для определения общей продолжительности
SelectRow Row:=0, RowRelative:=False ' выбор суммарной задачи всего ПРОЕК-
ТА
NAMEPROJ = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskName) 'имя файла ПРО-
ЕКТА
DATAT = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDuration)) 'длительность
If DATAT = 1 Then GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'очень короткая продолжительность
ПРОЕКТА
DATAS = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskStart) ' дата начало ПРОЕКТА
DATAF = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFinish) ' дата конца ПРОЕКТА
REZ_WEEK = DATAT 'начальный резерв равен продолжительности проекта
Options View DisplaySummaryTasks:=True ' отображать суммарные задачи
OptionsGeneral PlanningWizard:=False ' отключить планировщик ресурсов
OptionsGeneral AutoAddResources:=False ' автоматом ресурсы не добавлять
OptionsSchedule ScheduleMessages:=True ' показ сообщений при расчете
OptionsSchedule StartOnCurrentDate:=False 'начало с общего старта
OptionsSchedule AutoLink:=False ' без автоматической вставки связей
OptionsSchedule AutoSplit:=False ' работы выполняются без прерываний
OptionsSchedule CriticalSlack:=0 ' считать резервом, что меньше 0 дней
OptionsSchedule AutoTrack:=False ' ресурс не зависит от продолжительности
OptionsCalculation Automatic:=True ' автомат(True)ручной пересчет клавиша F9
'графика для составных задач 1-го и 2-го уровня (0-чер,1-кр,2-жел,3-зел,4-гол,5-
бел)
GanttBarStyleEdit Item:="4", StartShape:=2, StartType:=1, StartColor:=0
GanttBarStyleEdit Item:="4", MiddleShape:=2, MiddlePattern:=0, MiddleColor:=0
GanttBarStyleEdit Item:="4", EndShape:=2, EndType:=1, EndColor:=0
GanttBarStyleEdit Item:="4", RightText:="Name" 'имя работы или захватки
'графика для простых задач 3-го уровня (11-т.син)
GanttBarStyleEdit Item:="1", StartShape:=0, StartType:=0, StartColor:=5
GanttBarStyleEdit Item:="1", MiddleShape:=0, MiddlePattern:=1, MiddleColor:=7
GanttBarStyleEdit Item:="1", EndShape:=0, EndType:=0, EndColor:=5
GanttBarStyleEdit Item:="1", RightText:="" 'Подписи никакой нет
'графика для оптимальной продолжительности работ
CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskStart5,
Formula:="ProjDateAdd([Начало проекта];[Длительность5];[Календарь проекта])"
'Вставка формулы в поле "Начало5"

```


CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskStart6,
Formula:="ProjDateAdd([Начало проекта];[Длительность6];[Календарь проекта])"
'Вставка формулы в поле "Начало6"

CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskStart5,
Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcNone, GraphicalIndicators:=False,
Required:=False 'Установка необходимых настроек для поля "Начало5"

CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskStart6,
Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcNone, GraphicalIndicators:=False,
Required:=False 'Установка необходимых настроек для поля "Начало6"

'GanttBarStyleEdit Item:="7", Create:=True, Name:="Оптим. Длит." 'Создание новой шкалы с названием "Оптим. Длит."

GanttBarStyleEdit Item:="7", Create:=False, Name:="Оптим. Длит." 'Создание новой шкалы с названием "Оптим. Длит."

GanttBarStyleEdit Item:="7", StartShape:=0, StartType:=0, StartColor:=0

GanttBarStyleEdit Item:="7", MiddleShape:=1, MiddlePattern:=1, MiddleColor:=9

GanttBarStyleEdit Item:="7", EndShape:=0, EndType:=0, EndColor:=0

GanttBarStyleEdit Item:="7", ShowFor:="Обычная задача"

GanttBarStyleEdit Item:="7", From:="Начало5"

GanttBarStyleEdit Item:="7", To:="Начало6"

GanttBarStyleEdit Item:="7", RightText:="Название"

'2 блок. Анализ и корректировка всех задач

I = 0: J = 0 'I-счетчик строк в файле, J-счетчик задач 2-го уровня в массиве ДАНО ВОЗВРАТ:

I = I + 1: SelectRow Row:=1, RowRelative:=True 'относит. смещение вниз на одну строку

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskName) 'имя работы

If СТРОКА = "Веха окончания проекта" Then Go To КОНЕС 'переход на КОНЕЦ перебора задач

'Далее просматриваем связи и временные ограничения

ВЕКТОР1 = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskPredecessors)
'предшествующая

ВЕКТОР2 = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskSuccessors) 'последующая связь

ХРОНОМ1 = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskConstraintDate) 'дата ограничения

ХРОНОМ2 = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskConstraintType) 'тип ограничения

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskOutlineNumber) 'код иерархии задачи

VID = Int(Val(СТРОКА)) 'целая часть кода определяет порядковый индекс ВИДа работы

If VID > 20 Then 'здесь число видов работ должно быть не более 20!!!!

ОКНО = "Число видов работ больше 20,сократите их!"

ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Нажмите на <ОК>."

ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Расчет по клавише <Ctrl+Q>"

```

KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
End If
A = InStr(СТРОКА, ".") 'ищем позицию вхождение точки в код задачи
If A = 0 Then 'если точка не входит в код иерархии значит это просто ВИД рабо-
ты
    B = 0: FRN = 0 'и для него определяем рейтинговый коэффициент в массиве
PRIOR
    PRIOR(0, VID) = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskNumber20))
'Reйтинговый коэффициент
Else 'в противном случае это фронт работы и ищем 2-е вхождение точки
    B = InStr(A + 1, СТРОКА, ".") 'место вхождения 2-й точки после 1-й точки
    FRN = Int(Val(Mid(СТРОКА, A + 1))) 'находим значение фронта работы в ее ко-
де
End If
If FRN > 10 Then 'проверка на не превышение числа фронтов 10
    ОКНО = "Число фронтов не более 10.Нажмите <ОК>." + Chr(13) + "Расчет по
клавише <Ctrl+Q>"
    KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
End If
If B = 0 Then 'значит задача оказалась 1-го или 2-го уровня и далее следует обра-
ботка данных
    СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskSummary)
    If СТРОКА = "Да" Then 'задача составная 1-го или 2-го уровня
        If FRN = 0 Then 'то это задача 1-го уровня, т.е. РАБОТА-ВИД
            If (ВЕКТОР1 <> ВЕКТОР2) Then 'значит у ВИДа работы есть связи
                ОКНО = "Виды работ должны быть без связей." + Chr(13)
                ОКНО = ОКНО + "Нажмите на <ОК> и удалите их." + Chr(13) + "Расчет по
клавише <Ctrl+Q>"
                KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
            End If 'далее принудительная установка ограничения "Как можно раньше"
            SetTaskField Field:="Constraint Type", Value:="Как можно раньше"
            СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag1) 'смотрим фикса-
цию работы
            If СТРОКА = "Да" Then METKI_PA6OT(VID, 1) = -1 Else
METKI_PA6OT(VID, 1) = 0
            СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag2) 'фиксация ФС для
всех фронтов
            If СТРОКА = "Да" Then METKI_PA6OT(VID, 2) = -1 Else
METKI_PA6OT(VID, 2) = 0
            СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag3) 'фиксация РС для
всех фронтов
            If СТРОКА = "Да" Then METKI_PA6OT(VID, 3) = -1 Else
METKI_PA6OT(VID, 3) = 0
            СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFinish) 'дата конца Вида
            T = (Date Value(DATAF) - Date Value(СТРОКА)) / 7 'резерв конца Вида работы

```

```

    If T < REZ_WEEK Then REZ_WEEK = T 'поиск минимального резерва ко н-
цов РАБОТ_ВИДов
    Else 'это составная задача 2-го уровня, то есть это РАБОТА-ФРОНТ
        J = J + 1 'считаем задачи 2-го уровня
        ДАНО(J, 1) = VID: SetTaskField Field:="Text1", Value:=Str(VID) 'заноcим ин-
декс вида работы
        ДАНО(J, 2) = FRN: SetTaskField Field:="Text2", Value:=Str(FRN) 'заноcим но-
мер фронта работы
        ДАНО(J, 3) = I: SetTaskField Field:="Text3", Value:=Str(I) 'номер строки этого
фронта
        A      =      Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration))
'продолжительность фронта
        СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag1) 'столбец "Крайний
срок"
        If СТРОКА = "Да" Or МЕТКЛ_РАБОТ(ДАНО(J, 1), 1) = -1 Then 'учитываем
фиксацию продолжительностей
            ДАНО(J, 4) = -A: SetTaskField Field:="Text4", Value:=Str(-A) 'заноcим работу
со знаком минус
        Else 'в противном случае продолжительность работы - это положительное
число в неделях
            ДАНО(J, 4) = A: SetTaskField Field:="Text4", Value:=Str(A) 'т.е. ресурсы не
фиксированы
        End If
        If ХРОНОМ2 = "Начало не ранее" Then 'ограничение на НАЧАЛО
            ДАНО(J, 5) = (Date Value(ХРОНОМ1) - Date Value(DATAS)) / 7 'в неделях от
общего начала
            SetTaskField Field:="Text5", Value:=Str(ДАНО(J, 5)) 'принятого за ноль от-
счета
            ДАНО(J, 6) = DATAT: SetTaskField Field:="Text6", Value:=Str(DATAT)
'конец не позже DATAT
        ElseIf ХРОНОМ2 = "Окончание не позднее" Then 'ограничение КОНЦА
            ДАНО(J, 6) = (Date Value(ХРОНОМ1) - Date Value(DATAS)) / 7
            SetTaskField Field:="Text6", Value:=Str(ДАНО(J, 6)) 'в неделях от общего на-
чала
            ДАНО(J, 5) = 0: SetTaskField Field:="Text5", Value:=Str(0) 'начать не раньше
0 (нуля)
        Else
            ДАНО(J, 5) = 0: SetTaskField Field:="Text5", Value:=Str(0) 'по умолчанию
начать не раньше 0
            ДАНО(J, 6) = DATAT: SetTaskField Field:="Text6", Value:=Str(DATAT) 'а
кончить не позже DATAT
        End If
    End If
Else 'все простые задачи 1-го и 2-го уровня подлежат удалению
    ОКНО = "Задачи 1-2 уровня не могут быть простыми." + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "Сделайте их составными <ОК> ." + Chr(13) + "Расчет по
клавише <Ctrl+Q>"

```

```

        KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
    End If
    Else 'оказалось что эта задача 3-го уровня и она трактуется как РАБОТА-
РЕСУРС
        СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskSummary)
        If СТРОКА = "Да" Then 'удаление составных задач 3-го уровня
            ОКНО = "Составная задача 3-го уровня недопустима."
            ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Нажмите <ОК>." + Chr(13) + "Расчет по клавише
<Ctrl+Q>"
            KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
        Else 'допустимая простая задача 3-го уровня
            If ВЕКТОР1 <> ВЕКТОР2 Then
                ОКНО = "В задачах 3-го уровня не должно быть связей." + Chr(13)
                ОКНО = ОКНО + "Нажмите на <ОК> и удалите их." + Chr(13) + "Расчет по
клавише <Ctrl+Q>"
                KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
            End If
            SetTaskField Field:="Constraint Type", Value:="Как можно раньше"
        End If
    End If
    GoTo ВОЗВРАТ 'возврат к счетчику задач

КОНЕС:
    NCTPOK = I - 1 'общее число СТРОК в проекте в МР
    NTASK = J 'общее число ФРОНТОВ-РАБОТ в массиве ДАНО
    NVID = ДАНО(NTASK, 1) 'общее число ВИДов работ в проекте в МР
    For K = 0 To NCTPOK 'очистка 20-ти числовых и текстовых столбцов в проекте
        SelectRow Row:=K, RowRelative:=False 'абсолютно вниз на одну строку
        SetTaskField Field:="Number1", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number2", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number3", Value:=0
        SetTaskField Field:="Duration3", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number4", Value:=0
        SetTaskField Field:="Duration4", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number5", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number6", Value:=0
        SetTaskField Field:="Number7", Value:=0
        SetTaskField Field:="Text7", Value:=""
        SetTaskField Field:="Number8", Value:=0
        SetTaskField Field:="Text8", Value:=""
        SetTaskField Field:="Number9", Value:=0
        SetTaskField Field:="Text9", Value:=""
        SetTaskField Field:="Number10", Value:=0
        SetTaskField Field:="Text10", Value:=""
        SetTaskField Field:="Number11", Value:=0
    
```

```

SetTaskField Field:="Text11", Value:=""
SetTaskField Field:="Number12", Value:=0
SetTaskField Field:="Text12", Value:=""
SetTaskField Field:="Number13", Value:=0
SetTaskField Field:="Text13", Value:=""
SetTaskField Field:="Number14", Value:=0
SetTaskField Field:="Text14", Value:=""
SetTaskField Field:="Number15", Value:=0
SetTaskField Field:="Text15", Value:=""
SetTaskField Field:="Number16", Value:=0
SetTaskField Field:="Text16", Value:=""
SetTaskField Field:="Number17", Value:=0
SetTaskField Field:="Text17", Value:=""
SetTaskField Field:="Number18", Value:=0
SetTaskField Field:="Text18", Value:=""
SetTaskField Field:="Number19", Value:=0
SetTaskField Field:="Text19", Value:=""
SetTaskField Field:="Text20", Value:=""

```

Next K

'3 блок. Анализ связей между задачами и формирование массива ДАНО

For J = 1 To NTASK 'перебор всех ФРОНТОВ-РАБОТ в массиве ДАНО

I = ДАНО(J, 3) 'определяю номер строки в Проекте для задач 2-го уровня

SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'переходим на эту строку

SetTaskField Field:="Text13", Value:=Str(J) 'номер в массиве ДАНО

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag2) 'фиксация ФС

If СТРОКА = "Да" Or МЕТКИ_РАБОТ(ДАНО(J, 1), 2) = -1 Then 'знаком минус

МЕТКА_FC = -1

Else

МЕТКА_FC = 1

End If

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFlag3) 'фиксация РС знаком

минус

If СТРОКА = "Да" Or МЕТКИ_РАБОТ(ДАНО(J, 1), 3) = -1 Then МЕТКА_PC = -

1 Else МЕТКА_PC = 1

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskPredecessors)

If СТРОКА = "" Then 'у этого фронта связей нет

ДАНО(J, 7) = 0: SetTaskField Field:="Text7", Value:=Str(0) 'адрес ФС равен 0

ДАНО(J, 8) = 0: SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(0) 'лаг ФС равен 0

If ДАНО(J, 2) > 1 Then 'для первого фронта должна быть ресурсная связь

ДАНО(J, 9) = 0: SetTaskField Field:="Text9", Value:=Str(J - 1) 'адрес РС равен

пред.,

ДАНО(J, 10) = 0: SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(0) 'а лаг РС равен 0

End If

Else 'связи есть

A = InStr(СТРОКА, ";") 'определяем вхождение точки с запятой

If A = 0 Then 'значит связь только одна

B = Val(СТРОКА) 'адрес связи

```

K = 1: While ДАНО(K, 3) <> B: K = K + 1: Wend 'находим адрес связи
If ДАНО(K, 1) = ДАНО(J, 1) Then 'если один ВИД работы, то связь ресурсная
  If ДАНО(J, 2) - ДАНО(K, 2) = 1 Then 'если индекс послед. связи больше, то
    OK!
    ДАНО(J, 9) = K * МЕТКА_РС 'записываем адрес РС с учетом фиксации
    SetTaskField Field:="Text9", Value:=Str(ДАНО(J, 9))
    C = InStr(СТРОКА, "+") 'определяем наличие положительного лага
    If C > 0 Then 'значит есть положительный лаг
      ДАНО(J, 10) = Val(Mid(СТРОКА, C + 1))
      SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
    Else 'значит нет положительного лага
      C = InStr(СТРОКА, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
      If C > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
        ДАНО(J, 10) = -1 * Val(Mid(СТРОКА, C + 1))
        SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
      Else 'любой лаг отсутствует
        ДАНО(J, 10) = 0: SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(0)
      End If
    End If
  Else 'связь некорректная
    ОКНО = "Нарушена последовательность ресурсных связей в строке"
    ОКНО = ОКНО + Str(ДАНО(J, 3)) + Chr(13) + ".Нажмите <ОК>."
    ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Расчет по клавише <Ctrl+Q>"
    KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕЦ
  'только один ответ ВЫХОД
  End If
  Else 'иначе связь фронтальная и записываем ее адрес с учетом фиксации
    ДАНО(J, 7) = K * МЕТКА_ФС: SetTaskField Field:="Text7", Value:=Str(ДАНО(J, 7))
    C = InStr(СТРОКА, "+") 'определяем наличие положительного лага
    If C > 0 Then 'значит есть положительный лаг
      ДАНО(J, 8) = Val(Mid(СТРОКА, C + 1)) 'записываем этот положительный лаг
      SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
    Else 'значит нет положительного лага
      C = InStr(СТРОКА, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
      If C > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
        ДАНО(J, 8) = -1 * Val(Mid(СТРОКА, C + 1))
        SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
      Else 'любой лаг отсутствует
        ДАНО(J, 8) = 0: SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(0)
      End If
    End If
  End If
  End If
  Else 'связи две
    D = 0 'признак отсутствия ресурсной связи
    СТРОКА2 = Mid(СТРОКА, A + 1) 'вторая связь
    E = InStr(СТРОКА2, ";") 'ищем 3-ью связь
    If E > 0 Then

```

```

ОКНО = "Недопустимо более 2-х связей в строке "
ОКНО = ОКНО + Str(Abs(ДАНО(J, 3))) + Chr(13) + ".Нажмите <ОК>."
ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Расчет по клавише <Ctrl+Q>"
KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'только
один ответ ВЫХОД
End If
В = Val(СТРОКА) 'адрес 1-ой связи
К = 1: While Abs(ДАНО(К, 3)) <> В: К = К + 1: Wend
If ДАНО(К, 1) = ДАНО(J, 1) Then '1-ая связь ресурсная
  If ДАНО(J, 2) - ДАНО(К, 2) = 1 Then 'корректная
    ДАНО(J, 9) = К * МЕТКА_PC: D = -1 'D это признак наличия ресурсной
связи
    SetTaskField Field:="Text9", Value:=Str(К * МЕТКА_PC)
    С = InStr(СТРОКА, "+") 'определяем наличие положительного лага
    If С > 0 Then 'значит есть положительный лаг
      ДАНО(J, 10) = Val(Mid(СТРОКА, С + 1))
      SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
    Else 'значит нет положительного лага
      С = InStr(СТРОКА, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
      If С > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
        ДАНО(J, 10) = -1 * Val(Mid(СТРОКА, С + 1))
        SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
      Else 'любой лаг отсутствует
        ДАНО(J, 10) = 0: SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(0)
      End If
    End If
  Else 'ресурсная связь некорректная
    ОКНО = "Нарушена последовательность ресурсных связей в строке "
    ОКНО = ОКНО + Str(Abs(ДАНО(J, 3))) + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "Нажмите на <ОК>." + Chr(13) + "Расчет по клавише
<Ctrl+Q>"
    KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕС
  End If
Else '1-ая связь фронтальная
  ДАНО(J, 7) = К * МЕТКА_FC
  SetTaskField Field:="Text7", Value:=Str(К * МЕТКА_FC)
  С = InStr(СТРОКА, "+") 'определяем наличие положительного лага
  If С > 0 Then 'значит есть положительный лаг
    ДАНО(J, 8) = Val(Mid(СТРОКА, С + 1))
    SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
  Else 'значит нет положительного лага
    С = InStr(СТРОКА, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
    If С > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
      ДАНО(J, 8) = -1 * Val(Mid(СТРОКА, С + 1))
      SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
    Else 'любой лаг отсутствует
      ДАНО(J, 8) = 0: SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(0)
    End If
  End If

```

```

End If
End If
B = Val(СТРОКА2) 'адрес 2-ой связи
K = 1: While Abs(ДАНО(K, 3)) <> B: K = K + 1: Wend
If D = 0 Then 'ищем 2-ую связь как ресурсную
If ДАНО(J, 1) = ДАНО(K, 1) And ДАНО(J, 2) - ДАНО(K, 2) = 1 Then
    ДАНО(J, 9) = K * МЕТКА_PC: D = -1
    SetTaskField Field:="Text9", Value:=Str(K * МЕТКА_PC)
    C = InStr(СТРОКА2, "+") 'определяем наличие положительного лага
    If C > 0 Then 'значит есть положительный лаг
        ДАНО(J, 10) = Val(Mid(СТРОКА2, C + 1))
        SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
    Else 'значит нет положительного лага
        C = InStr(СТРОКА2, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
        If C > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
            ДАНО(J, 10) = -1 * Val(Mid(СТРОКА2, C + 1))
            SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(ДАНО(J, 10))
        Else 'любой лаг отсутствует
            ДАНО(J, 10) = 0: SetTaskField Field:="Text10", Value:=Str(0)
        End If
    End If
Else 'ресурсная связь некорректна
    ОКНО = "Исправьте связи в строке " + Str(Abs(ДАНО(J, 3)))
    ОКНО = ОКНО + Chr(13) + ".Нажмите <OK>."
    ОКНО = ОКНО + Chr(13) + "Расчет по клавише <Ctrl+Q>"
    KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕЦ
'только один ответ ВЫХОД
End If
Else '2-ую связь ищем как фронтальную
If ДАНО(J, 1) <> ДАНО(K, 1) Then 'связь фронтальная
    ДАНО(J, 7) = K * МЕТКА_FC
    SetTaskField Field:="Text7", Value:=Str(K * МЕТКА_FC)
    C = InStr(СТРОКА2, "+") 'определяем наличие положительного лага
    If C > 0 Then 'значит есть положительный лаг
        ДАНО(J, 8) = Val(Mid(СТРОКА2, C + 1))
        SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
    Else 'значит нет положительного лага
        C = InStr(СТРОКА2, "-") 'определяем наличие отрицательного лага
        If C > 0 Then 'значит есть отрицательный лаг
            ДАНО(J, 8) = -1 * Val(Mid(СТРОКА2, C + 1))
            SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(ДАНО(J, 8))
        Else 'любой лаг отсутствует
            ДАНО(J, 8) = 0: SetTaskField Field:="Text8", Value:=Str(0)
        End If
    End If
Else '2-ая связь также оказалась ресурсной
    ОКНО = "Исправьте связи в строке " + Str(Abs(ДАНО(J, 3)))
    ОКНО = ОКНО + Chr(13) + ".Нажмите <OK>."

```



```

        OKHO = OKHO + Chr(13) + "Расчет по клавише <Ctrl+Q>"
        KeyOTBET = MsgBox(OKHO, vbOKOnly): GoTo СОВСЕМ_КОНЕЦ
    End If
End If
End If
End If
Next J

SelectRow Row:=0, RowRelative:=False 'возврат к 0-ой строке ПРОЕКТА
SetTaskField Field:="Text4", Value:=Str(Int(REZ_WEEK)) 'заносим резерв оптими-
зации
For I = 1 To NTASK 'определяем PRIM и LAST для всех задач
    FRN = DAHO(I, 2): VID = DAHO(I, 1) 'номер текущего фронта и вид работы
    If FRN = 1 Then 'если встретился 1-ый фронт то устанавливаем
        PRIM = I 'соответствующий номер строки первого фронта работы в ДАНО
        For J = I + 1 To I + 10
            If DAHO(J, 1) > VID Then 'появился следующий вид работы
                LAST = J - 1: J = I + 11 'принудительно выходим из цикла
            End If
        Next J
        If LAST < PRIM Then LAST = NTASK 'для последнего вида коррекция
посл.строки
    End If
    DAHO(I, 11) = PRIM: DAHO(I, 12) = LAST
    SelectRow Row:=DAHO(I, 3), RowRelative:=False 'номер уравнения соответствует
строке
    SetTaskField Field:="Text11", Value:=Str(PRIM) 'начальная строка вида работы
    SetTaskField Field:="Text12", Value:=Str(LAST) 'конечная строка вида работы
Next I

'4 блок. Составляем НАЧАЛЬНЫЕ, КОНЕЧНЫЕ и ФРОНТАЛЬНЫЕ уравнения
NHC = 10 * NVID: NKC = 2 * NHC: NFC = 3 * NHC: NPC = 4 * NHC: YPAB = 0
'сч. УРАВнений

'СОСТАВЛЯЕМ НАЧАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ ЗАДАЧ ПРОЕКТА
For I = 1 To NTASK 'определяем: VID, FRN, PRIM, LAST, FRN_VID
    FRN = DAHO(I, 2): VID = DAHO(I, 1) 'номер текущего фронта и вид работы
    PRIM = DAHO(I, 11): LAST = DAHO(I, 12)
    FRN_VID = LAST - PRIM + 1 'число фронтов в данном виде
    YPAB = YPAB + 1 'счетчик уравнений
    SelectRow Row:=YPAB, RowRelative:=False 'номер уравнения соответствует стро-
ке
    SetTaskField Field:="Text14", Value:=Str(YPAB) 'порядковый номер уравнения
    N = 12 + 10 * (VID - 1) + FRN: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'заносим текущую НС
    SetTaskField Field:="Number6", Value:=N 'заносим НС в таблицу МР
    N = 12 + 10 * (VID - 1) + FRN_VID + NHC: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'заносим КС
    SetTaskField Field:="Number7", Value:=N 'заносим последнюю КС в таблицу МР

```

T_REZ = DAHO(LAST, 6) - DAHO(I, 5) + DAHO(I, 10): T_PK = 0 'начальный резерв урав. и рес.коэф.

For J = I To LAST 'сначала прибавляем первый лаг РС, а потом убавляем!!!!!!

T_REZ = T_REZ - DAHO(J, 10) - Abs(DAHO(J, 4)) 'отнимаем работы и смещения РС

If DAHO(J, 4) > 0 Then T_PK = T_PK + DAHO(J, 4) 'сумма нефиксированных работ

Next J

SIMPLEX(YPAB, 0) = T_REZ 'фиксируем резерв уравнения

SetTaskField Field:="Number1", Value:=T_REZ

SIMPLEX(YPAB, VID) = T_PK 'фиксируем ресурсный коэффициент

SetTaskField Field:="Number2", Value:=T_PK 'заносим ресурсный коэффициент

SetTaskField Field:="Number3", Value:=VID 'заносим вид работы рес.коэфф.

N = 12 + 10 * (VID - 1) + NFC + FRN_VID - 1 'номер последней в данном виде РС

If FRN_VID - FRN = 1 Then 'определение числа ресурсных связей

SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС

ElseIf FRN_VID - FRN = 2 Then

SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС

SIMPLEX(YPAB, N - 1) = 1: SetTaskField Field:="Number10", Value:=N - 1 '2-ая

РС

End If

Next I

'СОСТАВЛЯЕМ КОНЕЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ ФРОНТОВ КРОМЕ ПОСЛЕДНИХ

For I = 1 To NTASK 'определяем: VID, FRN, PRIM, LAST, FRN_VID

FRN = DAHO(I, 2): VID = DAHO(I, 1) 'номер текущего фронта и вид работы

PRIM = DAHO(I, 11): LAST = DAHO(I, 12)

FRN_VID = LAST - PRIM + 1 'число фронтов в данном виде

If I < LAST Then 'исключаем последний фронт каждого вида

YPAB = YPAB + 1 'счетчик уравнений

SelectRow Row:=YPAB, RowRelative:=False 'номер уравнения соответствует строке

SetTaskField Field:="Text14", Value:=Str(YPAB) 'порядковый номер уравнения

N = 12 + 10 * (VID - 1) + 1: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'номер 1-й начальной связи

SetTaskField Field:="Number6", Value:=N 'заносим НС в таблицу МР

N = 12 + 10 * (VID - 1) + FRN + NHC: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'заносим КС

SetTaskField Field:="Number7", Value:=N 'заносим КС в таблицу МР

T_REZ = DAHO(I, 6) - DAHO(PRIM, 5): T_PK = 0 'начальный резерв и РК

For J = PRIM To I 'до текущего фронта

T_REZ = T_REZ - Abs(DAHO(J, 4)) - DAHO(J, 10) 'уменьшение резерва

If DAHO(J, 4) > 0 Then T_PK = T_PK + DAHO(J, 4) 'сумма нефиксированных работ

Next J

SIMPLEX(YPAB, 0) = T_REZ 'резерв уравнения

SetTaskField Field:="Number1", Value:=T_REZ 'заносим резерв

SIMPLEX(YPAB, VID) = T_PK 'Ресурсный Коэффициент

SetTaskField Field:="Number2", Value:=T_PK 'заносим резерв уравнения

```

SetTaskField Field:="Number3", Value:=VID 'заносям вид работы
N = 12 + 10 * (VID - 1) + FRN - 1 + NFC 'заносям РС
If FRN - 1 = 1 Then 'определение числа ресурсных связей
    SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС
ElseIf FRN - 1 = 2 Then
    SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС
    SIMPLEX(YPAB, N + 1) = 1: SetTaskField Field:="Number10", Value:=N + 1 '2-
ая РС
End If
End If
Next I

'СОСТАВЛЯЕМ ФРОНТАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ ФРОНТОВ
For I = 1 To NTASK 'определяем: VID, FRN, PRIM, LAST, FRN_VID
    FRN = ДАНО(I, 2): VID = ДАНО(I, 1) 'номер текущего фронта и вид работы
    PRIM = ДАНО(I, 11): LAST = ДАНО(I, 12)
    FRN_VID = LAST - PRIM + 1 'число фронтов в данном виде
    If Abs(ДАНО(I, 7)) > 0 Then 'составляем если есть фронтальная связь
        YPAB = YPAB + 1 'счетчик уравнений
        SelectRow Row:=YPAB, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
        SetTaskField Field:="Text14", Value:=Str(YPAB) 'заносям номер уравнения
        N = 12 + 10 * (VID - 1) + FRN + NKC: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'номер ФС
        SetTaskField Field:="Number8", Value:=N 'заносям номер ФС в МР
        N = 12 + 10 * (VID - 1) + ДАНО(LAST, 2) + NHC: SIMPLEX(YPAB, N) = 1
'нижняя КС
        SetTaskField Field:="Number7", Value:=N 'заносям номер нижней КС в МР
        T_REZ = ДАНО(LAST, 6) - ДАНО(I, 8) + ДАНО(I, 10): T_PK = 0 'начальный ре-
зерв минус лаг времени ФС
        For J = I To LAST 'добавляется и вычитается лаг 1-й нижней ресурсной связи
            T_REZ = T_REZ - Abs(ДАНО(J, 4)) - ДАНО(J, 10) '
            If ДАНО(J, 4) > 0 Then T_PK = T_PK + ДАНО(J, 4) '
        Next J
        SIMPLEX(YPAB, VID) = T_PK 'Ресурсный Коэффициент нижней ветви
        SetTaskField Field:="Number2", Value:=T_PK 'заносям нижний РК
        SetTaskField Field:="Number3", Value:=VID 'заносям нижний вид работы
        N = 12 + 10 * (VID - 1) + NFC + FRN 'номер 1-й из нижних ресурсных связей
        If ДАНО(LAST, 2) - FRN = 1 Then 'определение числа нижних ресурсных свя-
зей
            SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС
        ElseIf ДАНО(LAST, 2) - FRN = 2 Then
            SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number9", Value:=N '1-ая РС
            SIMPLEX(YPAB, N + 1) = 1: SetTaskField Field:="Number10", Value:=N + 1 '2-
ая РС
        End If

        LAST_UP = Abs(ДАНО(I, 7)) 'адрес строки в массиве ДАНО указывает на верх-
ний фронт
        FRN_UP = ДАНО(LAST_UP, 2) 'порядковый индекс верхнего фронта

```

```

VID_UP = DAHO(LAST_UP, 1) 'вид работы верхней ветви
PRIM = LAST_UP - FRN_UP + 1 'адрес строки первого фронта верхней ветви
T_REZ = T_REZ - DAHO(PRIM, 5): T_PK_UP = 0 'начальный резерв минус лаг
времени ФС
For J = PRIM To LAST_UP 'идем вправо по верхней ветви уравнения
  T_REZ = T_REZ - Abs(DAHO(J, 4)) - DAHO(J, 10) '
  If DAHO(J, 4) > 0 Then T_PK_UP = T_PK_UP + DAHO(J, 4) '
Next J
SIMPLEX(YPAB, 0) = T_REZ 'положительный резерв уравнения
SetTaskField Field:="Number1", Value:=T_REZ 'заносим резерв
SIMPLEX(YPAB, VID_UP) = T_PK_UP 'Ресурсный Коэффициент верхней ветви
SetTaskField Field:="Number4", Value:=T_PK_UP 'заносим РК
SetTaskField Field:="Number5", Value:=VID_UP 'заносим вид работы
N = 12 + 10 * (VID_UP - 1) + 1: SIMPLEX(YPAB, N) = 1 'номер верхней началь-
ной связи
SetTaskField Field:="Number6", Value:=N 'заносим НС в таблицу МР
N = 12 + 10 * (VID_UP - 1) + NFC + 1 'номер 1-й из верхних ресурсных связей
If FRN_UP - 1 = 1 Then 'определение числа верхних ресурсных связей
  SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number11", Value:=N '1-ая РС
ElseIf FRN_UP - 1 = 2 Then
  SIMPLEX(YPAB, N) = 1: SetTaskField Field:="Number11", Value:=N '1-ая РС
  SIMPLEX(YPAB, N + 1) = 1: SetTaskField Field:="Number12", Value:=N + 1 '2-
ая РС
End If
End If
Next I

'5 блок. ФОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО БАЗИСНОГО РЕШЕНИЯ (ДБР)
For J = 0 To NPC + 12 'перебор всех столбцов для формирования ЦФ
  If J > 12 Then 'делаем только для связей
    SIMPLEX(0, J) = 0 'начальное значение суммы
    For I = 1 To YPAB '1-й индекс - строка уравнения, 2-й это столбец
      If SIMPLEX(I, J) > 0 Then 'обходим нулевые элементы
        SIMPLEX(0, J) = SIMPLEX(0, J) - 1 'отрицательная сумма по столбцу для ЦФ
      End If
    Next I
  Else 'для резервов уравнений и ресурсных коэффициентов РК
    SIMPLEX(0, J) = 0 'начальные значения сумм равны нулю
  End If
Next J
For I = 0 To YPAB 'копирование массива для анализа фиксированности
  SIMPLEX1(I, PАЗМЕР) = SIMPLEX(I, PАЗМЕР) '
  For J = 0 To NPC + 12
    SIMPLEX1(I, J) = SIMPLEX(I, J)
  Next J
Next I
For J = 0 To NPC: SIMPLEX1(PАЗМЕР, J) = SIMPLEX(I, J): Next J
J = 13 'поиск допустимого базисного решения с первой начальной связи

```

```

While J < NPC + 13 'делаем до последней ресурсной связи
  If SIMPLEX(0, J) < 0 Then 'делаем для отрицательных элементов ЦФ
    C = 32000: HOMEP = 0 'начальный МИНИмум РЕЗерва и начальный НОМЕР
строки
    For I = 1 To YPAB 'поиск ВЕДущей строки для отрицательной ЦФ
      If SIMPLEX(I, J) > 0 Then 'если связь ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ
        If SIMPLEX(I, 0) < C Then 'РЕЗерв д.б. всегда положительным
          C = SIMPLEX(I, 0): HOMEP = I 'номер ВЕДущей строки
        End If
      End If
    Next I
    N = SIMPLEX(HOMEP, PАЗМЕР) 'извлекаем "старый" номер ведущего столбца
    SIMPLEX(HOMEP, PАЗМЕР) = J 'вносим "новый" НОМЕР ведущего столбца J
    SIMPLEX(PАЗМЕР, J) = HOMEP 'в базисный столбец J вносим НОМЕР урав-
нения
    SIMPLEX(PАЗМЕР, N) = 0 'в старом базисном столбце обнуляем НОМЕР урав-
нения
    For I = 1 To YPAB 'пересчет УРАВнений
      If I <> HOMEP Then 'исключаем пересчет базисной строки
        If SIMPLEX(I, J) = -1 Then 'если связь отрицательная, то прибавляем базис
          For K = 0 To NPC + 12 '
            SIMPLEX(I, K) = SIMPLEX(I, K) + SIMPLEX(HOMEP, K) '
          Next K
        ElseIf SIMPLEX(I, J) = 1 Then 'если связь положительная, то вычитаем базис
          For K = 0 To NPC + 12 '
            SIMPLEX(I, K) = SIMPLEX(I, K) - SIMPLEX(HOMEP, K) '
          Next K
        End If
      End If
    Next I
    BED = SIMPLEX(0, J) 'ведущий множитель в ЦФ
    For K = 0 To NPC + 13 'пересчет целевой функции
      SIMPLEX(0, K) = SIMPLEX(0, K) - BED * SIMPLEX(HOMEP, K)
    Next K
    J = 13 'возврат к первой начальной связи
  Else
    J = J + 1
  End If
Wend
For I = 1 To YPAB 'Вывод значений базисного расписания в числовые столбцы
  SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
  SetTaskField Field:="Number13", Value:=SIMPLEX(I, 0) 'вносим резервы време-
ни
  SetTaskField Field:="Number14", Value:=SIMPLEX(I, PАЗМЕР) 'и базисные пере-
менные
Next I
SelectRow Row:=3, RowRelative:=False 'переход к 3-й строке начального фронта

```

```

SetTaskField Field:="Duration3", Value:=ДАНО(1, 5) 'и заносим начало фронта и
его
T = Abs(ДАНО(1, 4)): SetTaskField Field:="Duration4", Value:=(ДАНО(1, 5) + T)
'конец
For I = 1 To YPAВ 'Вывод базисного расписания в столбцы Длительность3 и Дли-
тельность4
M = 12: N = 10 * NVID + 13: Q = SIMPLEX(I, ПАЗМЕР) 'поиск начальных связей
If Q > M And Q < N Then 'встретилась начальная связь
VID = Int((Q - 13) / 10) + 1 'извлекаем вид работы из номера НС
FRN = Q - 12 - 10 * (VID - 1) 'извлекаем фронт работы из номера НС
For K = 1 To NTASK 'поиск строки в МР для этой задачи
If ДАНО(K, 1) = VID And ДАНО(K, 2) = FRN Then '
J = ДАНО(K, 3): S = ДАНО(K, 5): T = Abs(ДАНО(K, 4)) 'найдена строка в МР
и нач.огранич.
SelectRow Row:=J + 1, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
SetTaskField Field:="Duration3", Value:=(S + SIMPLEX(I, 0))
SetTaskField Field:="Duration4", Value:=(S + SIMPLEX(I, 0) + T)
K = NTASK + 1 'принудительный выход из цикла
End If
Next K
End If
Next I
For I = 1 To YPAВ 'вывод свободных переменных
СТРОКА = "" 'начальная пустая строка
For J = 13 To NPC + 12 'перебор переменных уравнения
If SIMPLEX(I, J) <> 0 Then 'если есть переменная, то
If J <> SIMPLEX(I, ПАЗМЕР) Then 'исключаем базисную переменную
СТРОКА = СТРОКА + Str(J * Sgn(SIMPLEX(I, J))) + ";" '
End If
End If
Next J
SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
SetTaskField Field:="Text15", Value:=СТРОКА
Next I

'6 блок. Корректировка ЦФ для учета фиксированных связей
For I = 1 To NTASK 'создание копии в массиве SIMPLEX1
If ДАНО(I, 7) < 0 Then 'не допускаем переход фикс связей в базис
N = 12 + 10 * (ДАНО(I, 1) - 1) + ДАНО(I, 2) + НКС 'делаем эту ФС
SIMPLEX1(0, N) = SIMPLEX1(0, N) + 1000 'заведомо положительной
МЕТКА_ФС = 1000 'ставим метку фиксированности ФС
End If
If ДАНО(I, 9) < 0 Then
N = 12 + 10 * (ДАНО(I, 1) - 1) + ДАНО(I, 2) + NFC - 1 'делаем эту РС
SIMPLEX1(0, N) = SIMPLEX1(0, N) + 1000 'большое положительное число
МЕТКА_РС = 1000 'ставим метку фиксированности РС
End If
Next I

```

```

J = 13 'поиск допустимого базисного решения с учетом фиксированности
While J < NPC + 13 'делаем до последней ресурсной связи
  If SIMPLEX1(0, J) < 0 Then 'делаем для отрицательных элементов ЦФ
    C = 32000: HOMEP = 0 'начальный МИНИмум РЕЗерва и начальный HOMEP
строки
    For I = 1 To YPAB 'поиск ВЕДущей строки для отрицательной ЦФ
      If SIMPLEX1(I, J) > 0 Then 'если связь ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ
        If SIMPLEX1(I, 0) < C Then 'РЕЗерв д.б. всегда положительным
          C = SIMPLEX1(I, 0): HOMEP = I 'номер ВЕДущей строки
        End If
      End If
    Next I
    N = SIMPLEX1(HOMEP, PAЗMEP) 'извлекаем "старый" номер ведущего столб-
ца
    SIMPLEX1(HOMEP, PAЗMEP) = J 'записываем "новый" HOMEP ведущего столбца
J
    SIMPLEX1(PAЗMEP, J) = HOMEP 'в базисный столбец J записываем HOMEP урав-
нения
    SIMPLEX1(PAЗMEP, N) = 0 'в старом базисном столбце обнуляем HOMEP
уравнения
    For I = 1 To YPAB 'пересчет УРАВнений
      If I <> HOMEP Then 'исключаем пересчет базисной строки
        If SIMPLEX1(I, J) = -1 Then 'если связь отрицательная, то прибавляем базис
          For K = 0 To NPC + 12 '
            SIMPLEX1(I, K) = SIMPLEX1(I, K) + SIMPLEX1(HOMEP, K) '
          Next K
        ElseIf SIMPLEX1(I, J) = 1 Then 'если связь положительная, то вычитаем базис
          For K = 0 To NPC + 12 '
            SIMPLEX1(I, K) = SIMPLEX1(I, K) - SIMPLEX1(HOMEP, K) '
          Next K
        End If
      End If
    Next I
    BED = SIMPLEX1(0, J) 'ведущий множитель в ЦФ
    For K = 13 To NPC + 13 'пересчет целевой функции
      SIMPLEX1(0, K) = SIMPLEX1(0, K) - BED * SIMPLEX1(HOMEP, K)
    Next K
    J = 13 'возврат к первой начальной связи
  Else
    J = J + 1
  End If
Wend
For I = 1 To YPAB 'Вывод значений базисного расписания в числовые столбцы
  SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
  SetTaskField Field:="Number17", Value:=SIMPLEX1(I, 0) 'записываем резерв
  SetTaskField Field:="Number18", Value:=SIMPLEX1(I, PAЗMEP) 'базисную пере-
менную
Next I

```

```

For I = 1 To YPAВ 'вывод свободных переменных
  СТРОКА = "" 'начальная пустая строка
  For J = 13 To NPC + 12 'перебор переменных уравнения
    If SIMPLEX1(I, J) <> 0 Then 'если есть переменная, то
      If J <> SIMPLEX1(I, PАЗМЕР) Then 'исключаем базисную переменную
        СТРОКА = СТРОКА + Str(J * Sgn(SIMPLEX1(I, J))) + ";" '
      End If
    End If
  Next J
  SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'строка как номер уравнения
  SetTaskField Field:="Text16", Value:=СТРОКА
Next I

'7 блок. Минимизация ресурсов без учета фиксированности связей
'формирование массива ПРИОритетов
For J = 1 To NTASK 'перебираем все задачи и формируем ЦФ в массиве PRIOR
  If ДАНО(J, 2) = 1 Then 'если при переборе встретился 1-й фронт, то тогда
    T = 0: VID = ДАНО(J, 1) 'определяем вид работы
    For I = ДАНО(J, 11) To ДАНО(J, 12) 'делаем от первого до последнего
      T = T + Abs(ДАНО(I, 4)) 'суммы продолжительностей работ всех ВИДов
    Next I
    PRIOR(1, VID) = PRIOR(0, VID) / T 'заносим начальные рейтинги в массив
PRIOR
    PRIOR(2, VID) = 1 'заносим начальные (100%) ресурсы в массив PRIOR
    PRIOR(3, VID) = 1 'заносим начальные (положительные) метки
  End If
Next J

'поиск оптимального решения
ОБРАТНО:
T = 0: J = 0 'минимальный положительный (нулевой) рейтинг
For K = 1 To NVID 'перебор всех ВИДов работ
  Q = PRIOR(1, K) * PRIOR(2, K) * PRIOR(3, K) 'итоговый рейтинг работы
  If Q > T Then
    T = Q: J = K 'находим J-й ВИД работы по максимальному рейтингу
  End If
Next K
If J = 0 Then GoTo DALEE 'не обнаружен положительный рейтинг то идем ДА-
ЛЕЕ
BED = 100000: НОМЕР = 0 'начальный МИНИмум РЕЗерва и начальный НОМЕР
строки
For I = 1 To YPAВ 'поиск ВЕДущей строки для отрицательной ЦФ
  If SIMPLEX(I, J) > 0 Then 'если ресурсный коэффициент ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ
    T = SIMPLEX(I, 0) / SIMPLEX(I, J) 'отношение резерва уравнения к РК
    If T < BED Then 'поиск НОМЕРа строки с минимальным резервным отношени-
ем
      BED = T: НОМЕР = I '
    End If
  End If
End If

```



```

Next I
For I = 1 To YPAB 'пересчет всех УРАВнений
    SIMPLEX(I, 0) = SIMPLEX(I, 0) - BED * SIMPLEX(I, J) 'сначала пересчитываем
резервы
    SIMPLEX(I, J) = BED * SIMPLEX(I, J) 'и только потом пересчитываем ВЕДущий
столбец
Next I
PRIOR(2, J) = PRIOR(2, J) / (1 + BED) 'новый ресурсный коэффициент
PRIOR(3, J) = -1 'метка выбытия вида работы из оптимизации
A = PRIOR(2, 1): B = PRIOR(2, 2): C = PRIOR(2, 3): D = PRIOR(2, 4): E = PRIOR(2,
5)
GoTo O6PATHO 'возвращаемся к поиску нового вида работы

DALEE:
For I = 1 To YPAB '
    SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'номер уравнения
    SetTaskField Field:="Number15", Value:=Int(100 * SIMPLEX(I, 0) + 0.5) / 100
'заносим резерв
    SetTaskField Field:="Number16", Value:=SIMPLEX(I, PАЗМЕР) 'базисную пере-
менную
Next I
For I = 1 To NTASK 'перебор всех задач
    K = DAHO(I, 3)
    SelectRow Row:=K, RowRelative:=False 'переход на номер строки
    If DAHO(I, 4) < 0 Then 'если работа фиксирована
        SetTaskField Field:="PercentComplete", Value:=100
    Else '
        SetTaskField Field:="PercentComplete", Value:=Int(100 * PRIOR(2, DAHO(I, 1)) +
0.5)
    End If
Next I
'Вывод оптимального расписания в столбцы Длительность5 и Длительность6
SelectRow Row:=3, RowRelative:=False 'переход к 3-й строке начального фронта
SetTaskField Field:="Duration5", Value:=DAHO(1, 5) 'и заносим его сроки
T = DAHO(1, 4): If T < 0 Then T = -T Else T = T / PRIOR(2, 1)
SetTaskField Field:="Duration6", Value:=(DAHO(1, 5) + T)
For I = 1 To YPAB 'перебираем все уравнения с целью поиска HC
    M = 12: N = 10 * NVID + 13: Q = SIMPLEX(I, PАЗМЕР) 'начальных связей
    G = M + NVID * 10: H = N + NVID * 10
    If Q > M And Q < N Then 'значит встретилась начальная связь
        VID = Int((Q - 13) / 10) + 1 'извлекаем вид работы из номера HC
        FRN = Q - 12 - 10 * (VID - 1) 'извлекаем фронт работы из номера HC
        For K = 1 To NTASK 'поиск строки в MP для этой задачи
            If DAHO(K, 1) = VID And DAHO(K, 2) = FRN Then 'найдена строка в MP
                J = DAHO(K, 3): S = DAHO(K, 5) 'и начальное ограничение задачи
                T = DAHO(K, 4): If T < 0 Then T = -T Else T = T / PRIOR(2, VID)
                SelectRow Row:=J + 1, RowRelative:=False 'переходим к этой строке
                SetTaskField Field:="Duration5", Value:=(S + Int(SIMPLEX(I, 0)))

```

```

        SetTaskField Field:="Duration6", Value:=(S + Int(SIMPLEX(I, 0) + T))
        K = NTASK + 1 'принудительный выход из цикла
    End If
Next K
End If
Next I
'A = SIMPLEX(0, 1): B = SIMPLEX(0, 2): C = SIMPLEX(0, 3): D = SIMPLEX(0, 4):
E = SIMPLEX(0, 5) '
'F = PRIOR(0, 1): G = PRIOR(0, 2): H = PRIOR(0, 3): Q = PRIOR(0, 4) '
A = 0

COBCEM_KOHEC:
End Sub

```