

На правах рукописи

ЧАХКИЕВ ИСЛАМ МУСАЕВИЧ

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

Специальность: **05.23.08** – Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Болотин Сергей Алексеевич

Официальные оппоненты: **Величкин Виктор Захарович**
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Инженерно-строительный институт, кафедра «Строительство уникальных зданий и сооружений», профессор;

Попова Ольга Николаевна
кандидат технических наук, ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», г. Архангельск, кафедра «Автомобильные дороги и строительное производство», доцент

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»

Защита состоится «19» мая 2015 года в 16.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.223.01 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета, ауд. 219.

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте www.spbgasu.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

Казаков Юрий Николаевич

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

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. С помощью расчета с использованием вышеуказанных нормативных документов, возможно определение продолжительности строительства большинства объектов и сооружений. Однако в современной строительной отрасли имеются 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. 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 уникаль-

ных 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. Bojeiko), 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 особенностями 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 возникать 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.

Основные результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность следующих проектных и строительно-монтажных организаций: ООО Архитектурное бюро «Дом Романовых», ОАО «КБ ВиПС», ЗАО «Геострой», ООО «АСТ», ООО «Форт».

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.

Область исследования. 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 «Разработ-

ка 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.

Во введении дано обоснование актуальности темы исследования, сформулирована научная гипотеза, цель и поставлены задачи исследования, описаны объект и предмет исследования, охарактеризована научная новизна исследования, представлена теоретическая и практическая значимости полученных результатов, а также приведены сведения об апробации и публикациях.

В первой главе проведен анализ особенностей проектирования и строительства уникальных объектов, выделенных Градостроительным кодексом РФ в отдельный класс и определено, что уникальные объекты обладают достаточно большим количеством отличий в проектировании и строительстве от типовых объектов. Одним из важных отличий уникальных объектов является повышенные риски несвоевременности выполнения работ. По результатам проведенного анализа также был сделан следующий вывод. Множество факторов, вызываю-

щих 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.

Следует заметить, что обзор современной методологии календарного планирования не выявил появления в этой области особого класса календарных планов, ориентированных на возведение уникальных объектов. Отсутствие особого класса методов 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.

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. Сравнительный анализ оптимизационных методов календарного планирования проведен по трем основным группам в зависимости от оптимизационного критерия: оптимизация продолжительности строительства, оптимизация стоимости строительства и оптимизация количества ресурсов типа «мощность». В результате анализа было установлено, что наиболее адекватным оптимизационным критерием для определения директивной продолжительности строительства уникальных объектов, при их календарном планировании, является критерий минимизации ресурсов типа «мощность». Остальные оптимизационные критерии имеют различные ограничения в применении. Так, например, оптимизация календарных планов по критерию минимизации продолжительности строительства путем определения оптимальной очередности освоения фронтов работ теряет свою эффективность при фиксированности этих фронтов в виду организационно-технологических особенностей возведения объекта. Особенно это характерно для высотных зданий и сооружений.

В результате проведенного анализа были сформулированы задачи исследования, позволяющие разработать метод определения директивной продолжи-

тельности строительства уникальных объектов, основанный на оптимизационном распределении трудовых ресурсов в строительном календарном плане.

Во второй главе проведен анализ значимости продолжительности строительства как технико-экономического показателя организационно-технологического проектирования. Приведено обоснование многовариантности ОТС строительства уникальных объектов. Был проведен анализ влияния такой многовариантности на продолжительность работ. Опираясь на накопленный опыт строительства, был выделен ряд особенностей, которые необходимо учитывать при разбивке уникальных зданий и сооружений на захватки. Проведена адаптация МНРК применительно к обоснованию директивной продолжительности строительства уникальных объектов совместно с оптимизацией ресурсов типа «мощность». Оптимизационный расчет был проведен на конкретном объекте строительства. Объектом явился МФК «Лахта Центр», строящийся в городе Санкт-Петербурге.

В третьей главе было 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. Предложен рейтинговый подход к оптимизации, который позволяет 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 работами. Предложены новые подходы к решению проблемы неполной оптимизации, имевшей место в МНРК, и доказана эффективность применения разработанных подходов на основе инверсии базисной переменной и частичной вариации методов организации работ.

В четвертой главе разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяющие автоматизировать адаптированный нами МНРК. Экспериментально и теоретически доказано наличие положительного экономического эффекта от реализации МНРК на примере строительства МФК «Лахта Центр». Критерием экономической эффективности являлась величина ресурсных издержек на строительство объекта при разных сроках строительства. Проведен анализ причин возникновения рисков несвоевременности выполнения работ, и в результате было установлено, что на величину продолжительности строительства уникальных объектов оказывает влияние большее количество рисков, нежели на величину продолжительности типовых и других не уникальных объектов. В связи с этим, игнорирование влияния этих рисков на получаемые в процессе оптимизационного расчета директивные сроки строительства уникальных объектов, в частности МФК «Лахта Центр», чревато негативными последствиями. Для анализа чувствительности директивных сроков строительства уникальных объектов, рассчитанных при помощи предложенного нами оптимизационного расчета, был использован метод PERT, реализован-

ный на базе программы МР. При этом были установлены зависимости ресурсных издержек от отклонений фактических сроков строительных работ от соответствующих оптимальных сроков.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана методика расчета маргинальных продолжительностей выполнения СМР и строительства в целом.

Для адаптации МНРК применительно к обоснованию директивной продолжительности строительства уникальных объектов совместно с оптимизацией ресурсов типа «мощность» была разработана и интегрирована в него методика определения маргинальных продолжительностей строительства. Алгоритм определения маргинальных продолжительностей строительства состоит из 10 шагов. В научно-технических публикациях (В. И. Рыбальский, В.А. Афанасьев, М. М. Калюжнюк и др.) известны следующие группы задач календарного планирования строительно-монтажных работ: 1) по количеству ресурсов, объемам работ и срокам их выполнения дается оценка достаточности ресурсов для обеспечения заданных сроков; 2) по заданным объемам работ и количеству ресурсов типа «мощность» определяется продолжительность производства работ; 3) по объемам работ и продолжительности определяется требуемое количество ресурсов. В разработанной методике определения маргинальных продолжительностей строительства определение минимальной продолжительности строительства относится к задачам третьего вида. 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. И затем на следующем этапе уже определяется соответствующая минимальной продолжительности строительства загрузка ресурсами типа «мощность». Определение максимальной продолжительности строительства относится к задачам второго вида. На начальном этапе задается минимальный количественный состав ресурсов типа «мощность», а на следующем этапе определяется максимальная продолжительность, соответствующая этому составу ресурсов. Минимальный состав ресурсов типа «мощность» задается в указаниях ЕНиР к составу звена на каждые виды работ, либо в указаниях типовых технологических карт. При этом 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. Графически область допустимых значений задания директивной продолжительности строительства показана на рис. 1.

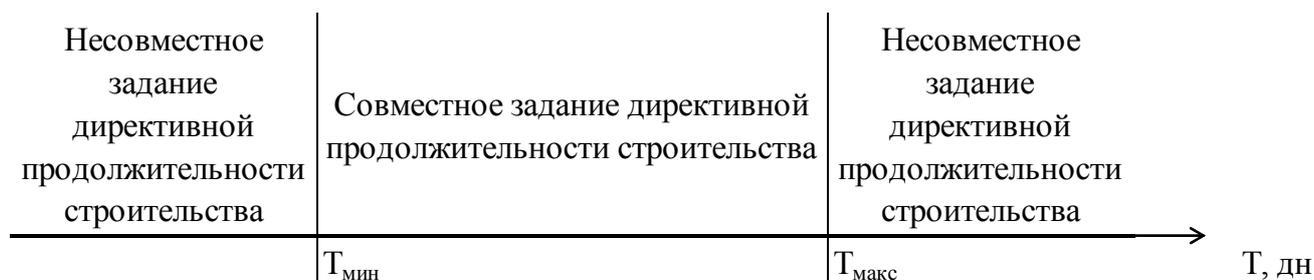


Рисунок 1 – Условия совместного и несовместного задания директивной продолжительности строительства

Величина резерва времени, получаемая из (1), является потенциалом оптимизации ресурсов типа «мощность».

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{дир}} - T_{\text{мин}} \quad (1)$$

Где: $T_{\text{рез}}$ – полученный оптимизационный резерв времени;
 $T_{\text{мин}}$ – минимальная продолжительность строительства;
 $T_{\text{дир}}$ – директивная продолжительность строительства.

2. Разработана инвариантная структура календарных графиков строительства.

В связи с большой вариабельностью ОТС строительства уникальных объектов, влекущей за собой и вариабельность календарных графиков строительства, была разработана инвариантная структура этих графиков. 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, представляющей собой 3-х уровневую структуру: на первом высшем уровне «работа – вид»; на втором уровне «работа – фронт»; на третьем уровне «работа – ресурс» (рис. 2).

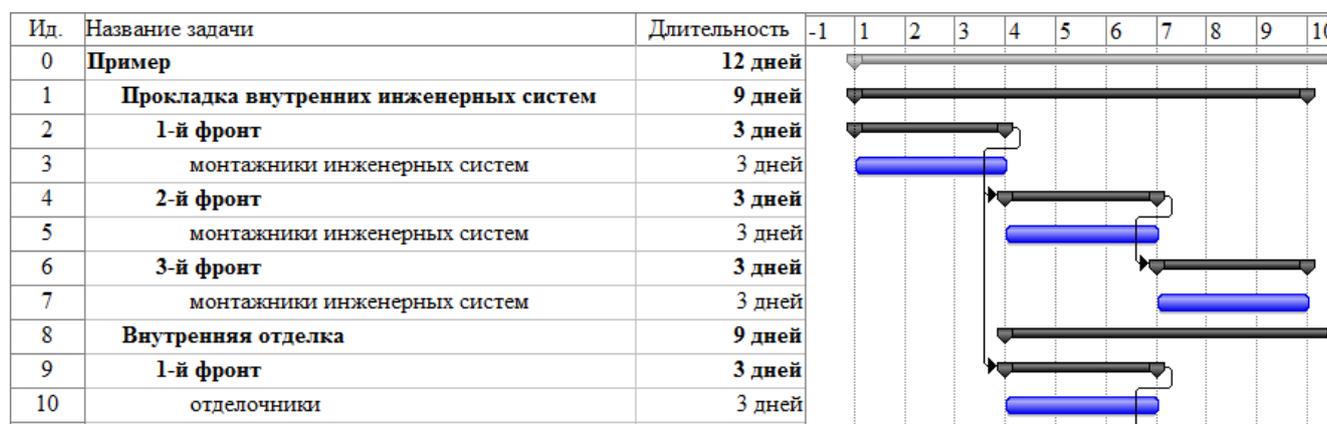


Рисунок 2 – Пример инвариантной структуры календарного графика в Microsoft Project

При реализации представленной структуры календарного графика строительства 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.

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.

В результате анализа классического метода линейного программирования было установлено, что в нем не предусмотрена возможность целенаправленного выбора метода поточной организации строительства. Для устранения этого ограничения была разработана методика, позволяющая создавать любые комбинации непрерывности выполнения работ. В адаптированном нами МНРК значения связей ОТС (начальных, конечных, ресурсных и фронтальных) представлены в виде переменных, как это показано на рис. 3.

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

Рисунок 3 – 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.

Для того чтобы обеспечить заранее заданный метод поточной организации работ, необходимо вводить определенные ограничения. Таким ограничением является принудительный перевод переменных, обеспечивающих инвариантность предопределенного 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.

4. Разработан рейтинговый коэффициент для МНРК, позволяющий ранжировать работы в порядке сокращения использования ресурсов в единицу времени.

При проведении оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства с минимизацией ресурсов типа «мощность» может возникнуть потребность в градации работ по степени важности с точки зрения минимизации ресурсов, иными словами определение очередности оптимизации по видам работ. Для решения этой задачи был разработан рейтинговый коэффициент (2).

$$\text{Rate} = R_{\text{макс}} / T_{\text{мин}} \quad (2)$$

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

Согласно предложенному коэффициенту, очередность оптимизации работ зависит от количества используемых ресурсов типа «мощность» в единицу времени. Однако при этом необходимо заметить, что 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.

5. Выявлены дополнительные возможности МНРК, заключающиеся в учете ограничений на начало и окончание работ, лагов времени и различных типов связей между работами.

В МНРК описание ОТС строительства производится системой линейных уравнений, описывающих топологические, временные и ресурсные ограничения по (3). В адаптированном нами МНРК система линейных уравнений состоит из трех типов уравнений: начальных, конечных и фронтальных. Это ведет к увеличению количества уравнений и переменных по сравнению с «классическим» МНРК. Количество переменных увеличивается за счет введения дополнительных начальных и конечных связей каждого частного фронта. Но благодаря этому появляется возможность учета ограничений на начало и окончание работ.

$$b = \sum T_i + \sum T_i \times \alpha_i + \sum x_{ij}^b + \sum x_{ij}^r + \sum x_{ij}^f + \sum x_{ij}^e \quad (3)$$

Где: b – допустимый резерв времени;

$\sum T_i$ – 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.

Учет ограничений на начало и окончание работ, лагов времени и различных типов связей между работами в адаптированном и усовершенствованном МНРК, производится при формировании системы линейных уравнений. При

этом, как правило, наблюдается сокращение резерва времени, выделяемого на работу. В качестве примера продемонстрируем влияние на величину резервов времени ограничений на начало и окончание работ. Для этого введем в ОТС строительства, показанную на рис.3, такие ограничения. 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 (рис. 4).

Описание ОТС строительства, показанной на рисунке 4, производится той же системой линейных уравнений, что и описание организационно-технологической схемы на рисунке 3. 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.

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

Рисунок 4 Пример организационно-технологической схемы строительства с введенными ограничениями на начало и окончание работ

Конечное уравнение для первого вида работ на первом фронте без учета ограничения:

$$45-5=5\alpha_1 + y_{11}+y_{13} \quad (4)$$

Конечное уравнение для первого вида работ на первом фронте с учетом ограничения:

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

При сравнении уравнений (4) и (5) видно, что резерв времени сократился с 40 до 4.

Начальное уравнение для второго вида работ на втором фронте без учета ограничения на начало работы:

$$45-8=8\alpha_2 + y_{22}+y_{24} \quad (6)$$

Начальное уравнение для второго вида работ на втором фронте с учетом ограничения на начало работы:

$$45-15-8=8\alpha_2 + y_{22}+y_{24} \quad (7)$$

Как видно резерв времени сократился с 37 до 22.

6. Разработаны методики преодоления эффекта «ресурсного замка», возникающего в частных случаях оптимизационного расчета.

В частных случаях МНРК возникает эффект неполной оптимизации, так называемый «ресурсный замок». После проведенных анализов были установлены условия возникновения неполной оптимизации. Такими условиями является выполнение работ методами НИР и НОФ при наличии в них только «обратного обобщенного критического пути». Под «обратным обобщенным критическим путем» подразумевается направление критического пути, не совпадающее с очередностью выполнения работ или направлением освоения частных фронтов. При анализе матрицы расписания работ (рис. 5) видно, что критический путь, проходя через второй частный фронт работы вида «В» начинается с ее конца. Такое явление и называется «обратным обобщенным критическим путем». При построении циклограммы ОТС, изображенной на рисунке 6, отчетливо виден «обратный обобщенный критический путь». Жирными линиями на циклограмме выделено направление критического пути.

ОФР	A	B	C	Макс. R
1	0 5 5	8 13 5	13 18 5	5
2	5 9 4	13 15 2	18 24 6	5
3	9 15 6	15 17 2	24 28 4	5

Рисунок 5 – Расчет расписания работ методом НИР

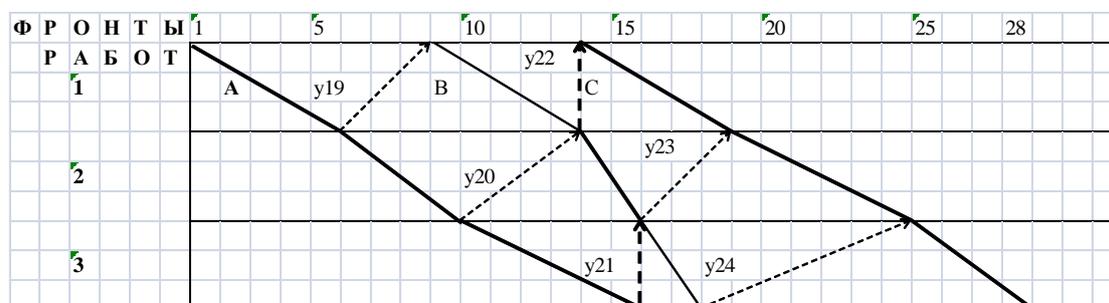


Рисунок 6 – Циклограмма исходного расписания работ

Для преодоления эффекта «ресурсного замка» было разработано три различных методик: «перебор методов поточной организации работ», «введение «фронтальных» коэффициентов», «инверсия базисной переменной». При проведении сравнительного анализа всех вышеизложенных методик преодоления неполной оптимизации было установлено, что наиболее эффективной является методика, основанная на введении «фронтальных» ресурсных коэффициентов. На рис. 7 показана общая блок-схема адаптированного и усовершенствованного нами МНРК.

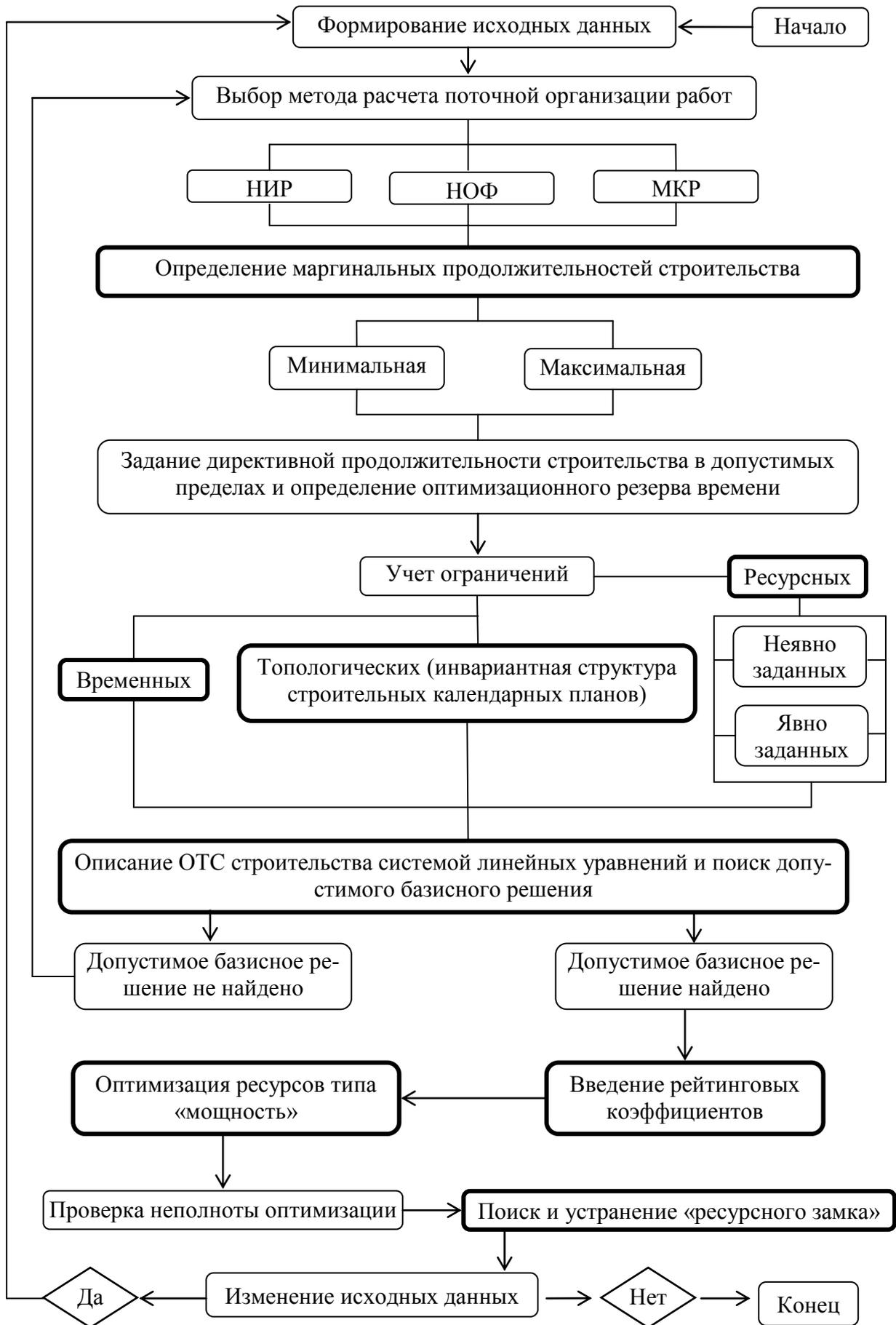


Рисунок 7 Блок-схема адаптированного и усовершенствованного МНРК (жирными линиями выделены элементы научных результатов)

7. Разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос) на базе программы Microsoft Project, позволяющие автоматизировать адаптированный нами МНРК.

В диссертационной работе была разработана методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос на базе программы Microsoft Project), позволяющие автоматизировать адаптированный нами МНРК. Разработанная программа-макрос состоит из 7 блоков. Большое влияние на реализацию адаптированного МНРК в МР оказывают вносимые исходные данные. В методике автоматизации МНРК формализованы требования к организации входящих, рассчитанных и отображаемых информационных потоков. В частности эти требования распространяются на структуру календарного графика и правил наложения связей между работами. Принципиальная схема календарного графика и наложение связей между работами показаны на рис. 8.

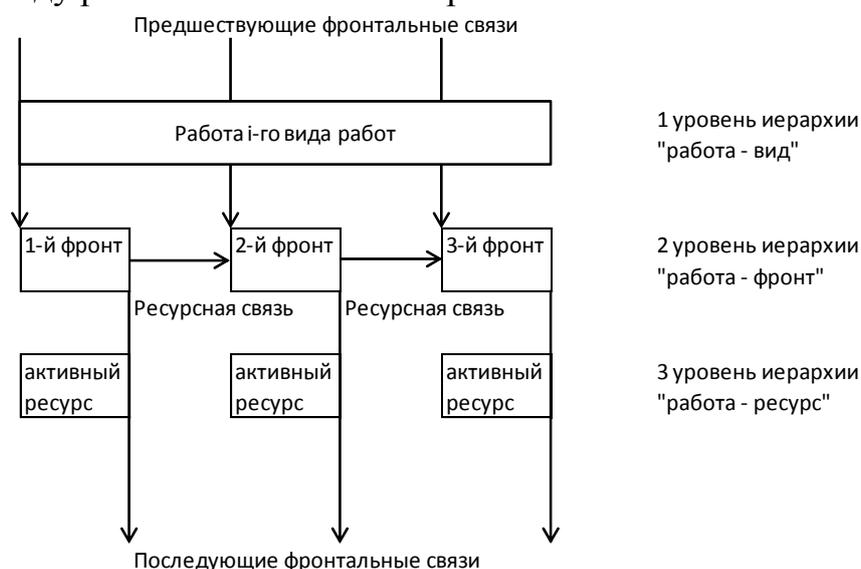


Рисунок 8 – Принципиальная схема иерархической структуры календарного графика и наложения связей между работами

Следует отметить, что 3-й уровень иерархии может быть представлен отдельным календарным графиком, вложенным в проект более высокого уровня, и в результате оптимизационная процедура для вложенных проектов может рекурсивно повторяться по разработанной выше методике.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

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 МНРК, позволяющий решать поставленную задачу на основе минимизации количества трудовых ресурсов при заданных топологических, ресурсных и временных 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 организационно-технологической документации создать универсальную модель календарного графика на строительство объектов такого рода.
4. Проведена адаптация МНРК применительно к обоснованию директивной продолжительности строительства уникальных объектов совместно с оптимизацией ресурсов типа «мощность», 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, 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 разработанных подходов на основе инверсии базисной переменной и частичной вариации методов организации работ.
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.

IV. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Болотин, С. А., **Чахкиев, И. М.**, Гуриева, М. А. К вопросу обоснования директивной продолжительности строительства уникальных объектов [Текст] / С. А. Болотин, И. М. Чахкиев, М. А. Гуриева // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – №1(42). – С. 61-65 (0,3 п.л./0,1 п.л.).
2. **Чахкиев, И. М.** Укрупненный алгоритм решения ресурсных задач для уникальных объектов на примере МФК «ЛАХТА ЦЕНТР» [электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13199> (дата обращения: 22.05.2014) (0,75 п.л.).
3. **Чахкиев, И. М.** Оптимизация директивной продолжительности строительства уникальных объектов (на примере МФК «Лахта Центр») [Текст] / И. М. Чахкиев // Недвижимость: экономика и управление. – 2014. – №1-2. – С. 20-25 (0,56 п.л.).

Статьи в других изданиях:

4. **Чахкиев, И. М.** Постановка задачи формирования нормативного уровня качества сварных соединений сборных железобетонных конструкций [Текст] / И. М. Чахкиев // Актуальные проблемы современного строительства : 63-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – В 3 ч. Ч. II. – СПб., 2010. – С 102-104 (0,19 п.л.).
5. **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 (0,3 п.л.).
6. **Чахкиев, И. М.** Формирование нормативного уровня качества сборных железобетонных конструкций [Текст] / И. М. Чахкиев // Научно-исследовательская работа студентов СПбГАСУ: Сб. научных трудов студентов победителей конкурса грантов 2010-2011г. Вып. 6 / СПб. Гос. архит.- строит. ун-т. – СПб., 2011. – С. 116-124 (0,56 п.л.).
7. 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. – С. 52-61 (0,8 п.л./0,4 п.л.).
8. **Чахкиев, И. М.** Разработка методики минимизации трудовых ресурсов и расчета директивных сроков строительства уникальных объектов [Текст] / 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. Торпыгиной. – СПб. : МИЭП при МПА ЕврАзЭС, 2013. – С. 243-249 (0,44 п.л.).

9. **Чахкиев, И. М.** Постановка задачи минимизации трудовых ресурсов и расчета директивных сроков строительства уникальных объектов [Текст] / И. М. Чахкиев // Петербургская школа поточной организации строительства: материалы Междунар. науч. конференции / под общей ред. Е.Б. Смирнова; СПбГАСУ. – СПб., 2014. – С. 94–96 (0,19 п.л.).
10. **Чахкиев, И. М.** Минимизация трудовых ресурсов при оптимизационном расчете директивных сроков строительства на примере МФК «ЛАХТА ЦЕНТР» [Текст] / И. М. Чахкиев // Актуальные проблемы строительства: Межд. научно-практическая конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов / СПбГАСУ. – В 5 ч. Ч. 1. – СПб., 2014. – С. 156-160 (0,3 п.л.).
11. S. Bolotin, M. Kotovskaya, I. Ptuhin, I. Ptuhina, **I. Chahkiyev** and Ćetković 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.).