



ГЛУШКОВ АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ

**ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ
СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ
ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ**

Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных
и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Моисеев Сергей Игоревич**, кандидат физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Иващенко Антон Владимирович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», заведующий кафедрой вычислительной техники;

Потудинский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, ФГКВОВУ ВО "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, преподаватель кафедры восстановления авиационной техники

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования **"Южный федеральный университет"** (г. Ростов-на-Дону).

Защита состоится 01 октября 2021 г. в 15⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.037.13, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский проспект, 14.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» <https://cchgeu.ru>

Автореферат разослан « 28 » мая 2021 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета



Гусев Константин Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Реализация любого проекта носит, как правило, двойственный характер: с одной стороны, необходимо подготовиться к созданию уникального продукта, являющегося целью проекта, а с другой – необходимо подготовить конкретные организации к участию в проекте. Это означает, что в первую очередь определяется номенклатура работ, подлежащих выполнению, со всеми своими характеристиками: необходимые ресурсы, оборудование, кадры, временные параметры, а затем необходимо, чтобы в заданные промежутки времени предприятия-соисполнители имели возможность приступить к выполнению предварительно оговоренных объемов работ. Необходимо, чтобы эти организации имели соответствующее ресурсное обеспечение и время для участия в проекте.

Анализ причин неудач в реализации проектов показал, что основной из них является недостаточное ресурсное обеспечение проектов, а это, в свою очередь, является последствием сложившихся недостатков в сфере менеджмента. Таким образом, тщательное ресурсное планирование на подготовительной стадии реализации проекта, с обеспечением последующих своевременных корректировок, является залогом успеха выполняемого проекта в любой сфере.

Проектные организационные системы в любых видах деятельности определяют форму и содержание основных экономических отношений, возникающих в процессе производства продукции, имеющей определенные потребительские свойства. Например, для проектного управления в области строительства на основе реализации проектов создается продукция в объеме 9,1 млрд. руб. (2019 г.) и в ней трудится 9% всего занятого населения страны. Основной особенностью здесь является преобладание малых предприятий (93,4%). Данное обстоятельство означает, что реализация крупномасштабных проектов требует привлечения значительного количества строительных организаций. Например, при реализации проекта по строительству энергоблока атомной станции потребовалось привлечение более 500 организаций различных форм собственности. Вполне понятно, что обеспечить координацию деятельности такого количества контрагентов требует огромных управленческих усилий и тщательной проработки вопросов ресурсного обеспечения. Особенно актуальным это становится сейчас, когда отрасль находится в нелегком экономическом положении: число убыточных строительных организаций по последним данным составило 35,2% (2019 г.).

Развитие принципов ресурсного планирования в организационных системах связано с необходимостью учета следующих обстоятельств:

- основным объектом управления является процесс распределения ресурсов, которые подразделяются на два вида: складироваемые и нескладироваемые; к первым относятся материально-технические ресурсы, а ко вторым – ресурсы типа «мощности», например, рабочее и машинное время;
- разработка проектов связана с вовлечением значительных финансовых ресурсов на длительное время, что предъявляет повышенные требования к их экономическому обоснованию;
- длительный жизненный цикл создаваемой продукции предъявляет повышенные требования к надежности и качеству планируемых работ, качеству обоснования экономической целесообразности выполнения конкретного проекта с конкретной географической привязкой;

– высокий уровень кооперации при разработке проектов, что связано с привлечением большого числа субподрядчиков, действия которых должны быть хорошо скоординированы между собой.

Достаточно большое количество задач в области ресурсного планирования были рассмотрены в работах как зарубежных (Geoffrey Hodson, Herbert Simon, John Hopfield и др.), так и российских исследователей (Бурков В.Н., Новиков Д.А., Угольницкий Г.А., Кондратьев В.В., Баркалов С.А., Усов А.Б., Бондаренко Ю.В. и др.).

Но тем не менее, несмотря на большое число научных исследований, многие вопросы управления ресурсами в организационных системах рассмотрены недостаточно полно. Например, в ходе ресурсного планирования очень удобно иметь аналитическое представление основных параметров распределения ресурсов, в частности целевой функции, характеризующей эффективность процедуры распределения и получения объективной априорной оценки эффективности проектов в этих условиях.

Следовательно, актуальность темы диссертационного исследования продиктована необходимостью развития математического аппарата управления процессами распределения ресурсов, в частности, методов дискретной оптимизации, применительно к специфике задачи управления дискретными ресурсами в рамках проектных организационных систем для обеспечения требуемого качества процесса разработки проектов и реализации проектной деятельности.

Тема диссертационного исследования соответствует одному из научных направлений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» – «Модели и методы распределения ресурсов при управлении строительными проектами».

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности управления проектными организационными системами путем оптимального распределения ресурсами на основе разработки моделей оптимизации, сетевого планирования и управления с применением стохастических методов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Осуществить анализ имеющихся методов и моделей управления в рамках проектных организационных систем, разработать обобщенную структуру процесса управления ресурсами в таких системах.

2. На основе математических моделей латентных переменных и нечетких множеств разработать алгоритм априорной оценки проектов, реализуемых на основе средств управления ресурсами с целью их эффективного отбора.

3. Осуществить формализацию задачи оптимизации дискретных ресурсов и разработать алгоритмы распределения и оперативного перераспределения ресурсов между проектами, учитывающие их специфику, с целью сокращения времени выполнения проектов и объема затраченных ресурсов.

4. Разработать систему временного мониторинга за своевременностью выполнения работ проекта с целью реализации превентивных мероприятий по выполнению проекта в заданные сроки.

5. Разработать модели динамического контроля степени влияния неблагоприятных внешних воздействий на реализацию проектов для минимизации рисков его срыва.

6. Осуществить внедрение разработанных моделей и алгоритмов в прак-

тическую деятельность проектных организаций.

Объект исследования: процессы ресурсного обеспечения проектных организационных систем.

Предмет исследования: методы и модели управления ресурсами в рамках проектных организационных систем.

Методы исследования. В работе использованы методы теории математического программирования, методы дискретной оптимизации, теории вероятностей и математической статистики, имитационного моделирования, теории марковских случайных процессов.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.10:

П. 2 Разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах.

П. 4 Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах.

П. 9 Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации экономических и социальных систем.

Научная новизна. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Математическая модель анализа эффективности проектов, отличающаяся использованием методов оценивания, основанных на теории латентных переменных и нечетких множеств, позволяет получить объективные и независимые интегральные оценки качества таких проектов.

2. Оптимизационная модель распределения ресурсов по множеству разрабатываемых проектов, отличающаяся возможностью использования дискретных целевых функций, задаваемых таблично, позволяет увеличить вероятность выполнения конкретного проекта в заданные сроки при оптимальных ресурсах.

3. Модель оптимального перераспределения ресурсов при сетевом планировании проектов, отличающаяся использованием алгоритма минимизации критического пути за счет изменения ресурсов, выделенных на работы, позволяет минимизировать либо время выполнения проекта в рамках выделенных ресурсов, либо объемы затраченных ресурсов в рамках установленного на реализацию проекта времени.

4. Модель анализа процесса реализации проекта по времени, отличающаяся использованием процедур прогнозирования на основании временных рядов, позволяет оперативно реагировать на риски временного отставания при реализации проекта и применить мероприятия по их устранению.

5. Динамические вероятностные модели учета влияния неблагоприятных факторов на проектные организационные системы, отличающиеся структурой их влияния на процесс реализации проектов, позволяют оценить риски срыва проекта на всех этапах его выполнения и осуществить мероприятия, направленные на успешную реализацию проекта.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель анализа эффективности проектов, основанная на теории латентных переменных и нечетких множеств, позволяющая получать объективные и независимые интегральные оценки качества проектов.

2. Модель распределения ресурсов по множеству разрабатываемых проектов на основании табличных целевых функций, позволяющая увеличить вероятность выполнения проекта в заданные сроки при оптимальных ресурсах.

3. Модель оптимального перераспределения ресурсов при сетевом планировании проектов, позволяющая минимизировать либо время выполнения проекта в рамках выделенных ресурсов, либо объемы затраченных ресурсов в рамках установленного на реализацию проекта времени.

4. Модель анализа процесса реализации проекта по времени, которая дает возможность оперативно реагировать на риски временного отставания при реализации проекта и применить мероприятия по их устранению.

5. Модели учета влияния неблагоприятных факторов на проектные организационные системы, которые позволят оценить риски срыва проекта на всех этапах его выполнения и осуществить мероприятия, направленные на успешную реализацию проекта.

Практическая значимость. Разработанные модели и алгоритмы проектного управления позволяют эффективно осуществлять поддержку принятия управленческих решений при выборе и реализации проектов в организационных системах, а также осуществлять контроль за их выполнением.

Разработанные методики реализации моделей управления проектами позволяют проектным организациям применять методы оценки, оптимизации и мониторинга проектов при работе с реальными проектами на практике. Представленные модели позволяют в дальнейшем расширить инструментарий к управлению дискретными ресурсами в рамках организационных систем. Приведена апробация модели перераспределения ресурсов при управлении проектом возведения шестнадцатизэтажного здания кирпичной технологией строительства, реализуемого строительной компанией АО «ДСК».

Достоверность и обоснованность предложенных методов, моделей и алгоритмов определяется тем, что они опираются на использование методов математического моделирования, оптимизации, теории вероятностей и математической статистики, стохастического моделирования. Адекватность математического моделирования подтверждена результатами проведенных вычислительных экспериментов.

Реализация и внедрение результатов работы. Модели оценки строительных проектов на основе латентных переменных и нечетких множеств внедрены в систему управления проектами строительной организации ООО "КЛИМАТГОУ", методика мониторинга проектов строительства использована в системе управления проектами ООО «НПК "КОНВЕНТ"», и методика оптимизации проектов реализована в деятельности ООО «Проектная мастерская ХОРС». Теоретические и практические результаты исследования внедрены в учебный процесс на факультете экономики, менеджмента и информационных технологий для дисциплины «Управление проектами» Воронежского государственного технического университета.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Красноярск, 2020); IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Математические методы и информационные технологии в моделировании систем» (Воронеж, 2020); XIII Всероссийской научно-практической конференции «Математические модели современных эконо-

мических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов» (Самара, 2020); III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Тенденции развития интернет и цифровой экономики» (Симферополь-Алушта, 2020); VIII Международной научно-практической конференции «Общество и экономическая мысль в XXI в.: пути развития и инновации» (Воронеж, 2020); Международной научной школе-семинаре имени академика С.С. Шаталина «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Воронеж, 2020), а также на научных семинарах кафедры управления Воронежского государственного технического университета (2017-2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 научных работ, из которых одна в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных Scopus, 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежат: [1, 2, 4] – разработка и практическая реализация вычислительных экспериментов по моделям мониторинга выполнения проектов, а также анализ их результатов, [5, 7, 9, 10] – разработка алгоритмов вычислительных процедур, их реализация по моделям распределения ресурсов дискретного типа, [3, 8, 11] – разработка математического обоснования моделей распределения ресурсов, анализ результатов математического моделирования.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 110 наименований и 4 приложений. Основная часть изложена на 178 страницах, включая 69 рисунков и 29 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обоснована актуальность темы, сформированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, приведены публикации по работе.

Первая глава посвящена анализу научных исследований, существующих по тематике работы. Рассмотрены особенности проектного управления в различных сферах деятельности. Отдельно выделен класс организационных систем, ориентированных на проектную деятельность в различных объектных областях: крупномасштабном производстве, машиностроении, жилищно-коммунальной сфере, строительстве и других.

Процитированы работы по теории управления проектами в организационных системах. Проанализированы особенности моделей распределения ресурсов, их достоинства и недостатки. В результате составлена схема разработки и управления ресурсами в организационных системах, изображенная на рис. 1.

Как видно из рис. 1, система управления содержит три этапа: этап оценки, анализа и выбора проекта или его модели; этап оптимизации ресурсов проектов в организационных системах с учетом их особенностей; этап контроля выполнения проекта в организационных системах как по времени, так и по учету возможных негативных факторов, влияющих на проект. Рассмотрим их подробнее.

Во второй главе описывается первый этап распределения ресурсов в условиях проектной деятельности, который, согласно рис. 1, посвящен методам многокритериального оценивания проектов в организационных системах с це-

лью выбора наилучшего из них. Сначала рассмотрен традиционный аддитивный метод, который широко распространен при оценке привлекательности проектов.



Рис. 1. Структура процесса проектного управления в организационных системах

Пусть имеется n проектов $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$, которые оцениваются по m критериям $K_1, K_2, \dots, K_m$. Обозначим через x_{ij} частную оценку i -го проекта по критерию K_j , нормализованную на единичную шкалу.

Также в случае разной важности критериев для итоговой оценки проектов необходимо задать веса критериев w_j . Тогда интегральная оценка AP_i проекта Π_i будет определяться как сумма частных оценок, умноженных на веса:

$$AP_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij}.$$

Данный метод имеет ряд существенных недостатков, основным

из которых является то, что они дают нелинейные оценки в зависимости от объективного влияния критериев на качество проектов. Если критерий является достаточно строгим, то оценки проектов по нему будут малы и вклад в итоговую оценку проекта будет мал, что не отражает реального веса критерия. То же самое происходит с лояльными критериями, которые дают высокие оценки проектов, их вклад в итоговый показатель будет выше, чем он таким является. Кроме этого, интегральные оценки проектов достаточно сильно зависят от совокупности и качества критериев и от множества проектов, которые подлежат оцениванию.

В качестве альтернативы аддитивному методу разработаны два метода.

Первый из них основан на теориях латентных переменных, и он лишен тех недостатков, которые указаны выше. Для использования метода предположим, что интегральная оценка AP_i проекта является некоторой векторной латентной переменной. Метод предполагает наличие еще одной векторной латентной переменной AK_j , которая характеризует оценочные критерии. Переменные AK_j имеют смысл невыполнимости или строгости критерия K_j на всем множестве оцениваемых проектов. Чем больше оценка AK_j , тем меньше удовлетворяют все проекты в совокупности указанному критерию. Для получения оценок латентных переменных AP_i и AK_j необходимо решать оптимизационную задачу вида:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j \cdot \left(x_{ij} - \frac{e^{AP_i - AK_j}}{1 + e^{AP_i - AK_j}} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$AP_i \geq 0; \quad AK_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Другой метод оценки качества проектов основан на теории нечетких множеств. Согласно ему, множество проектов рассматривается как нечеткое с точки зрения привлекательности проектов по каждому критерию. Предполагается, что каждому критерию соответствует некоторый показатель y , индивидуальный для каждого проекта. Каждому показателю критерия K_j будет соответствовать нечеткое множество с функцией принадлежности $\mu_j(y)$. Если для проекта P_i значение этого показателя равно y_i , то для частных оценок проектов по критериям справедливо: $x_{ij} = \mu_j(y_i)$. Тогда для оценивания интегральной привлекательности проекта AP_i можно использовать формулу:

$$AP_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_j(y_i). \quad (2)$$

Были предложены девять основных видов функций принадлежности, которые можно использовать при оценивании для разных типов показателя y , в работе приведено описание методики получения численного решения.

Были проведены вычислительные эксперименты, в которых случайно сгенерированные числовые характеристики проектов оценивались традиционным аддитивным методом и разработанными методами. Результаты экспериментов показали хорошую согласованность оценок, полученных разными методами, что говорит об адекватности оценок проектов по разработанным методикам оценивания. Применение описанных методов для оценивания проектов в организационных системах позволило получать объективные и независимые оценки проектов по линейной шкале, в том числе по качественным критериям.

В третьей главе представлены методы и модели второго этапа управления проектами в организационных системах, которые посвящены оптимизации проектов по ресурсам. Спецификой проектного управления в организационных системах является то, что достаточно большое количество ресурсов в этой сфере являются неделимыми, например, складываемые ресурсы (исполнители, блоки оборудования, техника и др.) или комплексные неделимые ресурсы, например, специализированная бригада, оснащенная всем необходимым. Общая формулировка оптимизации таких ресурсов сводится к тому, что имеется некоторый ограниченный ресурс, который нужно оптимально распределить по нескольким

направлениям или работам.

Особенностью таких задач является то, что критерий эффективности, на основании которого ищется оптимальное распределение, в таких задачах очень часто задается не аналитической, а табличной функцией. Ввиду этого применять методы математического программирования с аналитической целевой функцией для таких задач считалось неприемлемым и для решения предлагались пошаговые методы такие, например, как методы динамического программирования и дихотомического программирования (В.Н. Бурков). Однако эти методы, как правило, более сложные и трудоемкие в вычислительном плане, чем методы, основанные на аналитической целевой функции.

Для решения проблемы был разработан оригинальный подход к решению задач распределения ресурсов, количество которых дискретно и критерий оптимальности определен с помощью табличной функции, методами целочисленного линейного программирования. Построить аналитическую целевую функцию при этом удастся с помощью введения дополнительных параметров, связывающих расход ресурса с эффективностью его использования.

Пусть имеется некоторый ресурс, который необходимо распределить между k проектами, объектами или работами. Количество распределяемого ресурса равно n единиц, причем распределение ресурса в каждый проект кратно единице. Также будем предполагать, что в каждый проект нельзя распределить более m единиц ресурса. Введем некоторые переменные вида:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в } j\text{-й проект распределено не менее } i \text{ единиц ресурса;} \\ 0, & \text{если в } j\text{-й проект распределено менее } i \text{ единиц ресурса,} \end{cases}$$

$$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,k.$$

Предположим, что при распределении в j -ую работу i единиц ресурса будет получаться некоторая эффективность (по времени или затратам) в количестве $z_j(i)$, $i=0,1,\dots,m; j=1,2,\dots,k$. Функция $z_j(i)$ задана таблично. Тогда уровни критерия оптимальности будут определяться матрицей $A=a_{ij}=z_j(i)$, также определим матрицу эффективности $\Delta A = \Delta a_{ij} = a_{ij} - a_{i-1,j}$, учтем условие связности распределения ресурсов, заключающееся в том, что если в j -ую работу распределили h единиц ресурса (то есть, если $x_{hj}=1$), то и все переменные, для которых первый индекс меньше h , должны быть единицами: $x_{ij}=1$ при $i \leq h$. Для соблюдения этого условия введем еще одну матрицу $\Delta x_{ij} = x_{ij} - x_{i-1,j}$.

Тогда получим оптимизационную задачу, которую необходимо решить для оптимизации распределения ресурсов:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \Delta a_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max; \\ & \begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k x_{ij} \leq n; & \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq m, \quad j=1,2,\dots,k; \\ \Delta x_{ij} \leq 0, & i=2,3,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,k; \\ x_{ij} \leq 1; & x_{ij} \geq 0; \quad x_{ij} - \text{целое}; \quad i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,k. \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

Определив переменные x_{ij}^* при оптимальном решении, объемы распределенных ресурсов для каждой работы I_j^* , дающие максимальную эффективность, будут равны: $I_j^* = \sum_{i=1}^m x_{ij}^*$. Следует отметить, что данную модель необходимо использовать на начальном этапе планирования ресурсов по проектам или работам, до оптимизации сетевого графика.

Следующая модель оптимизации проекта обусловлена тем, что для проектов в организационных системах особенно важна роль исполнителей в выполнении работ по проекту. Именно от грамотного назначения исполнителей на работы во многом зависит успех проекта в целом и вероятность своевременного его выполнения в частности. Учитывая это, была разработана оптимизационная модель перераспределения времени выполнения работ проекта на основе возможностей работников, что позволит сократить общее время выполнения всего проекта и повысить вероятность своевременного выполнения проекта в рамках заданных временных показателей.

Рассмотрим проект, который включает в себя n этапов или работ. Группа исполнителей, которые осуществляют данный проект, параллельно выполняя включенные в него работы, состоит из m исполнителей.

На начальном этапе производится оценка возможности выполнения каждой работы каждым исполнителем. Эти оценки могут быть рассчитаны на основании эмпирических данных, исходя из того, как ранее исполнители выполняли эти же или подобные работы, либо на основании тестирования или иных методах оценки компетентности и профессиональной пригодности работников, либо на основании экспертного оценивания.

Обозначим u_{ij} оценку j -го исполнителя по i -й работе, входящей в проект. Эти оценки могут измеряться по любой шкале, главное, чтобы для всех оценок эта шкала была единая. Введем переменные: v_{ij} – коэффициент, показывающий в какое число раз можно изменить время выполнения i -й работы для j -го исполнителя (пропорционально доли работ, входящих в проект). Для введения критерия оптимизации времени выполнения работы введем понятие риска невыполнения работы R_{ij} , который пропорционален вероятности того, что исполнитель S_j задержит время выполнения работы D_i . Очевидно, что этот показатель будет обратно пропорционален оценке исполнителя по каждой работе u_{ij} и обратно пропорционален величине v_{ij} . Таким образом, риск невыполнения работы для каждого исполнителя можно считать равным: $R_{ij} = (u_{ij} \cdot v_{ij})^{-1}$.

Можно взять за критерий оптимизации плана выполнения проекта максимальное снижение суммарного риска невыполнения работ для всех исполнителей и по всем работам: $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{u_{ij} \cdot v_{ij}} \rightarrow \min$. Для сохранения общего времени выполнения проекта сумма переменных v_{ij} в каждом столбце этой матрицы, умноженные на трудоемкости отдельных работ T_i , должны равняться общей трудоемкости всего проекта T : $\sum_{i=1}^n v_{ij} T_i = T$. Суммарное время выполнения каждой работы всей группой исполнителей должно остаться постоянным, поэтому

сумма переменных v_{ij} в каждой строке матрицы v_{ij} должна равняться сумме элементов в строке: $\sum_{j=1}^m v_{ij} = m$.

Для нахождения переменных v_{ij} , имеющих смысл коэффициентов, на которые необходимо скорректировать время выполнения каждой работы для каждого исполнителя, необходимо решать задачу нелинейной оптимизации:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{u_{ij} \cdot v_{ij}} &\rightarrow \min; \\ \left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^n v_{ij} T_i &= T, \quad j = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{j=1}^m v_{ij} &= m, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ v_{ij} &\geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (4)$$

Для решения оптимизационной задачи (4) не удастся использовать аналитические методы, а ее решение необходимо проводить численно с использованием вычислительной техники. Методика такого расчета описана в работе.

Таким образом, были разработаны основные модели оптимизации дискретных ресурсов с целью увеличения вероятности своевременного исполнения проекта и максимального снижения издержек.

Далее, приведем общую модель, позволяющую определять баланс в системе время-ресурсы, с целью оптимизации временных или материальных издержек при управлении проектами в организационных системах.

Была поставлена задача построения математической модели, основанной на методах математического программирования и сетевого планирования, которая позволяет, с одной стороны, минимизировать время выполнения проекта в условиях имеющихся ресурсов, а с другой стороны, минимизировать затраты ресурсов с условием выполнения проекта в заданный срок.

Пусть имеется некоторый проект, который содержит n событий и m работ. Введем обозначения: i – номер события, с которого начинается некоторая работа, а j – номер конечного события для этой работы, $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$. Номера событий имеют индексы, которые равны номеру работы: i_k и j_k – номера начального и конечного события для k -й работы, $k=1, 2, \dots, m$. Перейдем теперь к характеристикам работ. Основной такой характеристикой является продолжительность работы $t_k(i_k, j_k)$ или $t_k(i, j)$. Будем считать, что она зависит от некоторого ресурса, количество которого для k -й работы равно R_k . В качестве таких ресурсов может быть число исполнителей работы, финансовые средства, выделяемые на работу, и подобное.

Обозначим через R общее количество данного ресурса: $R = \sum_{k=1}^m R_k$, а через R_z – максимальное количество (запас) ресурса, который можно использовать.

Согласно технологическим, производственным и прочим условиям выполнения работ проекта, как правило, существуют также ограничения на коли-

чество ресурсов, распределяемых на каждую работу. Такого рода ограничения можно записать в виде: $R_k^{\min} \leq R_k \leq R_k^{\max}$, $k=1, 2, \dots, m$.

Как правило, связь между продолжительностью выполнения работы и ресурсами, затраченными на работу, обратная: чем больше ресурсов затрачено, тем быстрее будет выполнена работа. Если эта связь линейная, то связь между продолжительностью и затраченным ресурсом будет иметь вид: $t_k(i, j) = b_k - a_k R_k$, $k=1, 2, \dots, m$, где a_k и b_k – некоторые параметры, характеризующие работу.

Продолжительность выполнения проекта зависит от продолжительности работ, лежащих на критическом пути. Обозначим через $L_{kr}[t_k(i, j)]$ – продолжительность критического пути. Также будем считать, что проект должен быть выполнен в определенный срок, который обозначим $L_{kr}^{\max}$, то есть $L_{kr}[t_k(i, j)] \leq L_{kr}^{\max}$. Рассмотрим постановку двух видов задач:

Задача 1. Необходимо найти такое распределение ресурсов по работам R_k^* , $k=1, 2, \dots, m$, чтобы продолжительность критического пути и, как следствие, время выполнения проекта были минимальными с условием ограниченности ресурсов. Если ресурс дискретный и кратный единице, которым являются исполнители проекта, то система ограничений дополняется условием целочисленности переменной R_k .

Данная задача требует оптимизации по времени выполнения проекта, поэтому условие выполнения проекта в определенный срок можно не приводить. Математическая модель задачи оптимизации будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & L_{kr}[t_k(i, j)] \rightarrow \min; \\ & \begin{cases} t_k(i, j) = b_k - a_k R_k; \\ \sum_{k=1}^m R_k \leq R_z; \quad R_k^{\min} \leq R_k \leq R_k^{\max}, \end{cases} \\ & R_k - \text{целое}, \quad k=1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (5)$$

Задача 2. Необходимо найти такое распределение ресурсов по работам R_k^* , $k=1, 2, \dots, m$, чтобы затраченные на все работы ресурсы были минимальными, а продолжительность критического пути не превышала максимальное значение $L_{kr}^{\max}$. Эта задача требует оптимизации по ресурсам, поэтому условие их ограниченности можно не учитывать. Получаем задачу оптимизации вида:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^m R_k \rightarrow \min; \\ & \begin{cases} R_k = \frac{b_k - t_k(i, j)}{a_k}; \quad R_k^{\min} \leq R_k \leq R_k^{\max}; \\ L_{kr}[t_k(i, j)] \leq L_{kr}^{\max}; \end{cases} \\ & R_k - \text{целое}, \quad k=1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (6)$$

Основные проблемы, связанные с численным решением задач (5) и (6), связаны с двумя факторами. Первый заключается в том, что при изменении

продолжительности работ, связанных с перераспределением ресурсов, работы критического пути могут меняться. Это нужно учитывать при решении оптимизационных задач (5) и (6). Второй заключается в том, что необходимо одновременно решать две оптимизационные задачи: первая решается для нахождения критического пути сетевого графика, а вторая – непосредственно при решении задач (5) и (6). Для устранения данных проблем был разработан алгоритм нахождения критического пути сетевого графика без решения задачи оптимизации, который обеспечивает автоматический пересчет продолжительности критического пути, он описан в тексте диссертационной работы и в публикациях [7, 11], и здесь, ввиду ограниченности объема, приводиться не будет.

Таким образом, разработанная модель позволит, с одной стороны, минимизировать время выполнения проекта, а с другой стороны, минимизировать выделяемые ресурсы с целью их экономии в рамках выделяемых временных показателей на проект, что сократит издержки по реализации проекта.

В четвертой главе описаны разработанные методы мониторинга выполнения проекта в организационных системах.

После выбора проекта и его оптимизации наступает этап исполнения проекта. Его результат зависит от своевременного контроля за выполнением проекта, оценки и предотвращения негативного влияния внешней среды, заблаговременного принятия решений по коррекции мероприятий, связанных с реализацией проекта.

Базовой моделью контроля за выполнением проектов является модель упреждающего мониторинга, которая позволяет заблаговременно принимать решения по введению мероприятий, связанных с принятием различных мер по устранению отставания времени выполнения работ от графика. При этом учитываются особенности проектов в организационных системах, которые отличаются большой гибкостью и вариативностью.

Рассмотрим некоторый проект, для которого методами сетевого планирования и управления выделяются критические работы, которые позволяют рассчитать время выполнения проекта. В каждый текущий момент времени t можно оценить степень отставания реального времени выполнения проекта на данной стадии $w(t)$ от планируемого времени $w_p(t)$, то есть величину: $u(t) = w(t) - w_p(t)$. При небольших значениях отставания $u(t)$ для проектов оперативного вмешательства в комплекс работ, как правило, не требуется.

Однако значительное отставание от графика выполнения проекта на текущий момент времени с большой вероятностью может привести к тому, что в последующие периоды времени это отставание еще больше вырастет. Будем считать, что имеется некоторое критическое значение отставания u_{kr} , определяемое экспертными методами, при достижении которого необходимо применять оперативное управление.

Ставится задача заблаговременно спрогнозировать переход отставания за критическое значение, чтобы заранее принять меру по его ликвидации. Это можно сделать с помощью моделирования временной тенденции отставания. На рис. 2 представлена графическая интерпретация упреждающего управления.

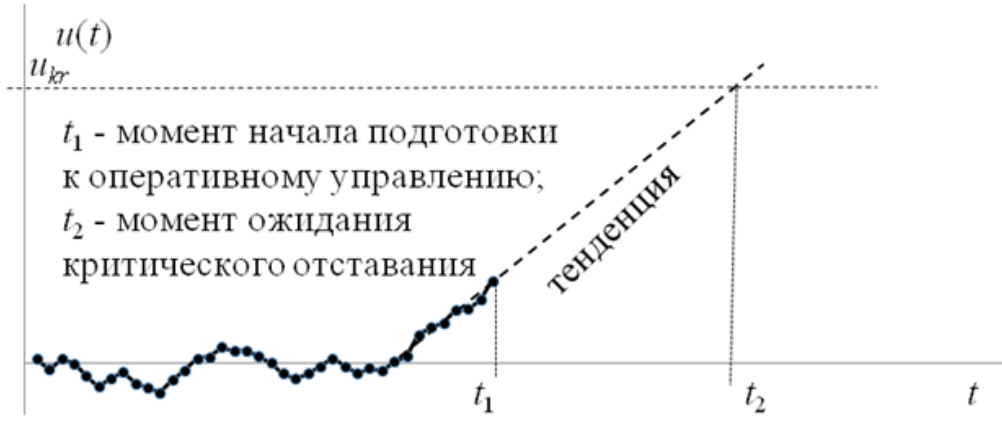


Рис. 2. Схема упреждающего мониторинга

Пусть имеется временной ряд показателя $u(t)$, который измерялся в течении k периодов времени: $u_1, u_2, \dots, u_k$, где u_k – последнее (текущее) значение показателя. Найдем прогноз значения этого показателя через p периодов, то есть в момент времени с номером $k+p$. Для этого будем использовать уровни временного ряда из периода от $(k-l+1)$ до k , где l – лаг ряда или его максимальное отставание. Схема прогнозирования изображена на рис. 3.

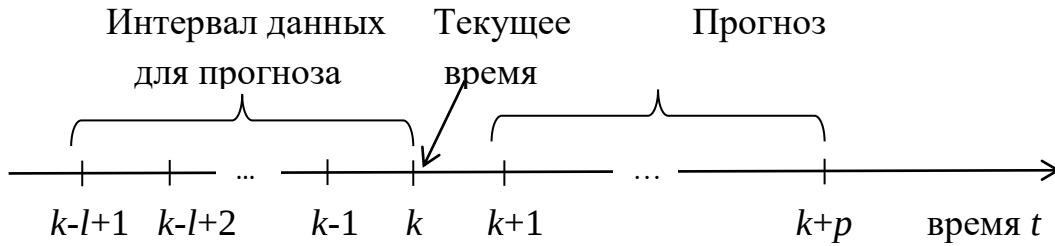


Рис. 3. Схема прогнозирования

Будем использовать модель линейной тенденции, построенной по методу аналитического выравнивания. В соответствии с моделью временных рядов, она будет иметь вид:

$$\tilde{u}_k = a_k(k + p) + b_k, \quad (7)$$

$$\text{где } a_k = \frac{\left(\sum_{j=k-l+1}^k j \cdot u_j \right) - \left(k - \frac{l-1}{2} \right) \left(\sum_{j=k-l+1}^k u_j \right)}{6l(2l^2 - 3l + 1) - \frac{(2k-l+1)^2}{4l^2} + kl(k-l+1)}, \quad b_k = \frac{1}{l} \sum_{j=k-l+1}^k u_j - a_k \left(k - \frac{l-1}{2} \right).$$

На основании полученной модели можно оценить точность прогнозирования. Для этого находим среднюю ошибку прогноза S_u , то есть среднее значение, на которое отклонится прогнозное значение от реальных значений показателя при прогнозировании, и на основании этого определяем максимальную величину погрешности, на которую с вероятностью p будет различаться истинное

значение параметра и его прогноз: $\Delta u_k = S_k t_{1-\alpha}(l-2) \sqrt{1 + \frac{1}{l} + 12 \frac{((l-1)/2 + p)^2}{l^3 - l}}$,

где $t_{1-\alpha}(m)$ – квантиль распределения Стьюдента с уровнем значимости α и со степенями свободы m . Доверительный интервал прогнозирования будет равен $(\tilde{u}_k - \Delta u_k; \tilde{u}_k + \Delta u_k)$.

Таким образом, подготовка к оперативному управлению в случае высокой надежности против ложного прогноза должна происходить при выполнении условия $u_{kr} < \tilde{u}_k - \Delta u_k$.

Описанная модель позволяет определить момент времени, когда необходимо проводить мероприятия, направленные на коррекцию проекта с целью своевременного его выполнения, но не позволяет определить эти мероприятия. Для их определения была разработана динамическая модель, позволяющая рассчитывать вероятности возможного срыва каждого этапа проекта в зависимости от времени, которая основана на теории марковских случайных процессов.

Рассмотрим некоторый проект, на который в случайные моменты времени оказывают воздействие некоторые негативные факторы, каждый из которых может привести с некоторой вероятностью к срыву проекта. Условно будем считать, что число негативных факторов равно N .

В соответствии с моделью марковских случайных процессов, введем следующие состояния системы: S_0 – начало реализации проекта до момента действия первого негативного фактора; S_i , $i = 1, 2, \dots, N$ – состояние воздействия i -го негативного фактора, который с вероятностью p_i может привести к срыву выполнения проекта, если это не произошло, то до начала действия следующего негативного фактора; S'_i , $i = 1, 2, \dots, N$ – i -й негативный фактор привел к срыву выполнения проекта; S_e – проект успешно реализован.

Введем также временные характеристики T_i , $i = 0, 1, \dots, N$, равные среднему времени нахождения системы в состоянии S_i до перехода в следующее состояние. С ними связаны интенсивности переходных пуассоновских потоков событий, приводящих к смене состояния системы: $\lambda_i = 1/T_i$, $i = 0, 1, \dots, N$. Граф состояний системы, в которой протекает случайный процесс, изображен на рис. 4.

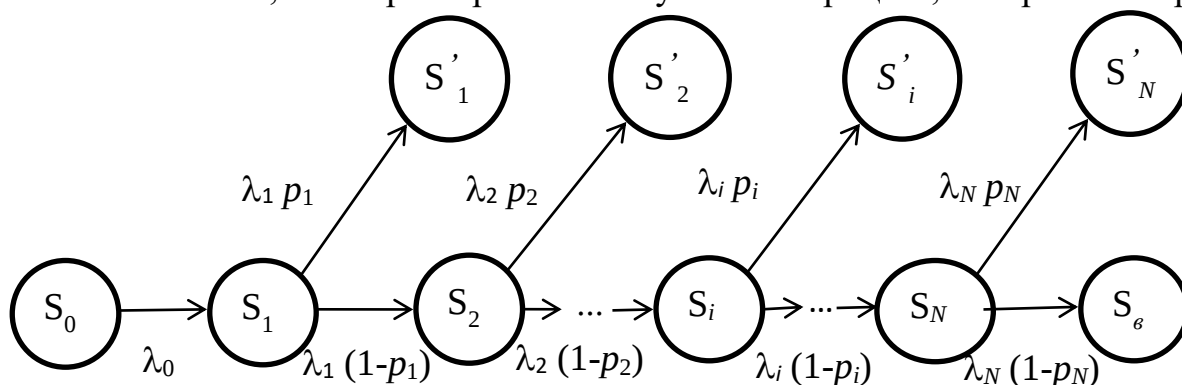


Рис. 4. Граф состояний случайного процесса

На основании графа состояний была составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова, из численного решения которой были определены вероятности срыва проекта под влиянием негативных факторов в различные моменты времени и на различных этапах выполнения проекта.

Таким образом, была разработана модель учета влияния неблагоприятных внешних факторов на возможность выполнения проекта, базирующаяся на теории марковских случайных процессов, которые позволят в различные моменты времени реализации проекта оценить риски его срыва, в том числе на каждом этапе выполнения проекта, и осуществить мероприятия, направленные на успешную реализацию проекта в организационных системах.

Подводя итог математического моделирования в сфере проектного управления, приведем сводную таблицу математических моделей, способов их реализации и ожидаемых результатов при практическом применении. Для решения оптимизационных и иных задач, поставленных в моделях, используются аналитические или численные методы, которые указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики математических моделей проектного управления

Модель	Методы решения	Результат от применения
Анализ и выбор проектов	Квадратичная условная оптимизация, нечеткая конъюнкция	Выбор оптимального проекта для реализации
Первоначальное распределение дискретных ресурсов	Алгоритм Гомори или алгоритм Дальтона и Ллевелина	Оптимальный объем дискретных ресурсов на работы при предварительном планировании работ
Оптимальное перераспределение ресурсов при сетевом планировании проектов	Численная оптимизация сетевого графика, метод градиентного спуска или комплексный метод Бокса	Минимизация времени выполнения проекта при заданных ресурсах или минимизация ресурсов при заданном времени
Контроль выполнения проекта по времени	Прогнозирование по временным рядам, регрессионный и корреляционный анализ	Вероятностный прогноз срыва проекта из-за отставания его реализации по времени
Контроль влияния на проект негативных факторов	Система дифференциальных уравнений Колмогорова, численные методы Рунге-Кутты.	Вероятностный прогноз срыва проекта из-за неблагоприятного влияния на него негативных факторов

На основании вышеизложенного, рекомендуется алгоритм проектного управления в организационных системах, который приведен на рис. 5.

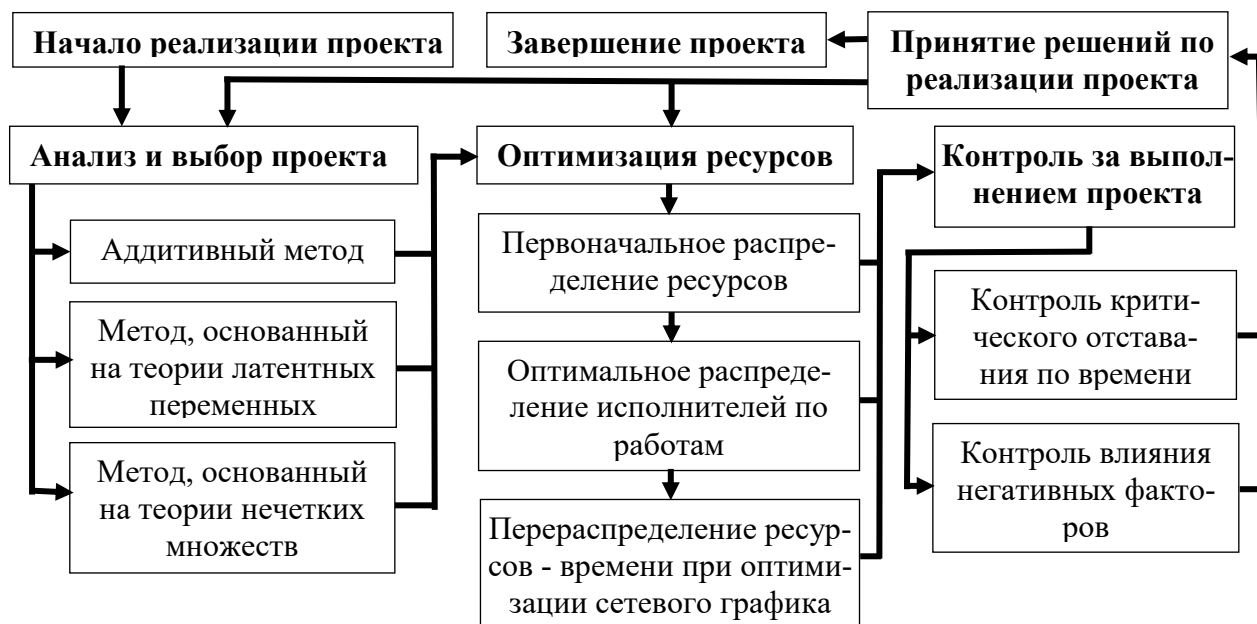


Рис. 5. Алгоритм проектного управления в организационных системах

Для обоснования адекватности представленной модели перераспределения ресурсов была проведена апробация модели при управлении реальным проектом. Управление проводилось на проекте по возведению шестнадцатиэтаж-

ного здания кирпичной технологией строительства, реализуемом строительной компанией АО «ДСК». Общая площадь здания составляет 18 000 м², стоимость – 941,4 млн. руб. В качестве распределяемого ресурса выбран трудовой ресурс, запас которого в стоимостном выражении составляет 74 млн. руб. Сроки проекта установлены – не более 300 дней. В результате решения оптимизационной задачи (6) продолжительность реализации проекта сократилась на 10,27 %, однако при этом затраты ресурса увеличились на 5,74 %. Из решения оптимизационной задачи (7) удалось снизить потребление ресурса на 2,60 %, что в стоимостном выражении составило 1 729 350 руб., но время выполнения проекта при этом увеличилось на 2,66 %.

Таким образом, была разработана система управления ресурсами в сфере проектирования организационных систем, учитывающая особенности их функционирования и позволяющая управлять проектами с момента их выбора, разработки и оптимизации до момента контроля выполнения и успешного завершения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения диссертационного исследования были получены следующие основные результаты:

1. Проведен анализ существующих методов и моделей распределения ресурсов в рамках проектных организационных систем, разработана общая структура процесса проектного управления в данной сфере.

2. Разработаны модели анализа проектов, отличающиеся применением метода Раша оценки латентных переменных и теории нечетких множеств, что позволит получать независимые и объективные оценки качества проектов по линейной шкале, а также оценки выполнимости критериев.

3. Разработана модель оптимального распределения дискретных ресурсов на основании количественного показателя эффективности, заданного табличной функцией, отличающаяся использованием методов аппроксимации дискретного показателя эффективности проекта на непрерывную область, что позволит оптимизировать распределение исполнителей на работы с учетом их возможностей и сократить общее время выполнения всего проекта, повысив вероятность своевременного выполнения проекта в рамках заданных временных показателей.

4. Предложена математическая модель, позволяющая на основе методов сетевого планирования и управления оптимизировать дискретные ресурсы, выделенные на работы, что позволит сократить время выполнения проекта и издержки по его осуществлению.

5. Разработана модель контроля за ходом реализации проекта в рамках организационных систем по времени, которая позволяет своевременно реагировать на опасность временного отставания при реализации проекта и реализовывать соответствующие мероприятия по устранению возникающих проблем. Представлены динамические вероятностные модели учета влияния неблагоприятных внешних и внутренних факторов на возможность выполнения конкретного проекта в организационной системе, которые позволят в различные моменты времени реализации проекта оценить риски срыва его выполнения.

6. Приведена апробация модели перераспределения ресурсов в ходе процесса ресурсного управления проектом по возведению шестнадцатизэтажного

кирпичного здания, реализуемым компанией АО «ДСК». При оптимизации по времени продолжительность проекта сократилась на 10,27 %, при оптимизации по ресурсам их потребление снизилось на 2,60 %, что в стоимостном выражении составило 1 729 350 руб.

Полученные результаты могут найти применение в сфере проектного управления в организационных системах, связанных с оптимизацией проектов, связанных с перераспределением ресурсов и времени, а также для оптимального выбора проектов и эффективного контроля за их выполнением. Направления дальнейших исследований могут заключаться в разработке новых подходов к эффективному проектному управлению проектами в рамках ограниченных материальных, человеческих и временных ресурсов при использовании предложенных математических методов и моделей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикация в международной базе SCOPUS

1. Development of a Proactive Project Monitoring Model / T.A. Averina, A. Yu. Glushkov, S. I. Moiseev, L.V. Shevchenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. IOP Publishing Ltd. P. 042043.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

2. Баркалов, А.С. Динамическая модель разработки и реализации проекта под влиянием внешних факторов / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20. № 3. – С. 76–84.

3. Баркалов, А.С. Математические методы многокритериального оценивания привлекательности проектов / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20. № 1. – С. 111–119.

4. Баркалов, А.С. Модель упреждающего мониторинга при управлении проектами / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Экономика и менеджмент систем управления. - 2018. - Т. 30. - № 4.3.- С. 351-359.

5. Баркалов, А.С. Решение задачи распределения ресурсов дискретного типа методами линейного программирования / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. - Т. 20. - № 2.- С. 26-35.

6. Глушков, А.Ю. Математическая модель эффективного управления проектами путем оптимального распределения ресурсов / А.Ю. Глушков // Системы управления и информационные технологии.- 2020. №1 (79).– С. 75-78.

Статьи в научных журналах, сборниках научных трудов
и материалах конференций

7. Баркалов, А.С. Автоматизация проектирования сетевого графика с учетом оптимального распределения ресурсов / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Математические методы и информационные технологии в моделировании систем: материалы IV Всерос. (нац.) науч.-практич. конф. – Воронеж: РЭУ имени Г.В. Плеханова, 2020. С. 67-72.

8. Глушков, А.Ю. Модель оптимального перераспределения трудоемкости работ между исполнителями / А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев, М.В. Петухов // Управление строительством. 2018. № 4 (13). С. 87-93.

9. Баркалов, А.С. Модель оптимального распределения ресурсов при сетевом планировании и управлении / С.А. Баркалов, А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов // Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: сб. ст. XIII Всерос. науч.-практ. конф. Самара: Самарский научный центр РАН, 2020. С. 13-18.

10. Глушков, А.Ю. Оптимизация времени выполнения работ при планировании проектов / А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев // Проектное управление в строительстве. 2019. № 4 (17). С. 56-60

11. Глушков, А.Ю. Оптимизация распределения ресурсов при управлении проектами / А.Ю. Глушков, С.И. Моисеев, В.П. Морозов // Общество и экономическая мысль в XXI в.: пути развития и инновации: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2020. С. 478-482.

Подписано в печать 2021

Формат 60x84x16. Бумага для множительных аппаратов

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 90 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006, Воронеж, 20-летия Октября, 84