

На правах рукописи

Маилян Александр Леонович



**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОИЗВОДСТВА
СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ**

05.02.22 – Организация производства (строительство)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Иваново, 2020

Работа выполнена на кафедре городского строительства и хозяйства
ФБГОУ ВО «Донской государственный технический университет»

Научный консультант:

Федосов Сергей Викторович,
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН

Официальные оппоненты:

Шульженко Николай Антонович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет», кафедра «Городское
строительство и архитектура», профессор

Морозов Владимир Петрович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет», кафедра
«Управление», профессор

Байбурин Альберт Халитович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Южно-Уральский
государственный университет», кафедра
«Строительное производство и теория
сооружений», профессор

Ведущая организация:


ФГБУН «Комплексный научно-
исследовательский институт им. Х.И.
Ибрагимова Российской Академии Наук»,
г.Грозный

Защита состоится 18 декабря 2020 г. в 10.00 на заседании диссертационного
совета Д 212.355.01 при Ивановском государственном политехническом
университете по адресу: 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО
«Ивановский государственный политехнический университет» (www.ivgpi.com).

Автореферат разослан 18 ноября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Н.В.Заянчуковская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Повышение эффективности организации строительного производства в настоящее время является исключительно важной народнохозяйственной проблемой. До настоящего времени в этой сфере имеется много нерешенных вопросов. Например, для определения уровня качества готовых объектов и работ не проводится квалиметрическая оценка, а применяемая методика основывается лишь на соответствии измеряемых показателей реализованного проекта требованиям проектно-сметной документации, поэтому применяемый контроль качества основывается на механизме альтернативного признака (коэффициента соответствия). Высокого соответствия готового объекта требованиям проектно-сметной документации практически сложно обеспечить, т.к. на процесс строительства оказывают значительное влияние факторы внешней и внутренней неопределенности, а также недостаточное внимание к метрологическому обеспечению работ, при этом оценка по коэффициенту соответствия искажает реальное качество на 10–30%. Нередко приемка законченных объектов производится с дефектами. Таким образом, в процедурах оценки качества и приемки перед застройщиком встают две задачи: оценки значимости допущенных дефектов и обоснования приемочных норм дефектности. В настоящее время для классификации дефектов работ используются документы Ростехнадзора, в которых количественные критерии качества сформулированы недостаточно точно, что часто приводит к неверным решениям при дефектации объектов, и в итоге - к незапланированным затратам на их исправление. Вдобавок, приемочные нормы дефектности в III части СНиП вообще не указаны.

Следовательно, актуальной задачей является разработка методик оперативной оценки значимости дефектов и научного обоснования норм дефектности. Соблюдение их невозможно без статистического регулирования технологических процессов, оценки их точности и стабильности. Методы расчета и критерии оценки показателей точности процессов должны учитывать вероятностные распределения параметров и достигаемые на современной базе возможности процессов. Однако технические и технологические мероприятия не гарантируют безаварийности, так как велико влияние человеческих факторов.

Решение указанных задач невозможно без использования новых перспективных видов машин, оборудования, установок, инструментов, транспортных средств, систем автоматизации в строительстве и его производственной базе, которые должны существенно снизить влияние человеческого фактора при возникновении отклонений от заданных вариантов строительно-монтажных работ (СМР).

Одним из перспективных направлений является использование 3D строительных роботов. Сегодня технологии 3D-печати используются в разных областях народного хозяйства, но в строительстве степень их внедрения пока не слишком велика, прежде всего, из-за неготовности существующей структуры организации производства. Современный строительный робот - механизм на основе технологии 3D-печати быстротвердеющей строительной смеси, которая выдавливается из экструдера на определенную величину его хода поверхность, что позволяет формировать объемные конструкции любых форм и назначений, при этом опалубка не нужна. Тем самым, строительный робот - уникальное средство, позволяющее существенно повысить качество СМР и максимально приблизить сроки реализации проектов к заданным. Но применение 3D строительных роботов должно быть подкреплено новыми способами организации строительного производства, т.к.

требуется исследовать предельно эффективный уровень автоматизации и механизации строительной площадки, поскольку зачастую затраты на поддержание работоспособности механизмов могут превысить их достоинства, а в случае выхода из строя - вообще сорвать календарные графики строительства.

Степень научной разработанности проблемы. Разработкой методов и способов выбора организационно-технологических решений при выполнении строительно-монтажных работ по параметрам качества готовых объектов занимались В.А.Афанасьев, А.Х.Байбурин, В.С.Балицкий, С.А.Баркалов, В.Н.Бурков, И.В.Буркова, В.И.Воропаев, В.С.Воробьев, Д.И.Голенко-Гинзбург, В.Т.Ерофеев, Л.Б.Зеленцов, Н.И.Ильин, Ю.А.Куликов, В.Я.Мищенко, В.П.Морозов, Ю.Б.Монфред, П.П.Олейник, А.Б.Петрухин, В.И.Теличенко, В.И.Торкатюк, В.Н.Тренин, С.А.Ушацкий, В.Д.Шапино, А.К.Шрейбер, Н.А.Шульженко, Т.Н.Цай, А.Д.Цвиркун, С.В.Федосов, Р.И.Фоков и др. Полученные ими методы и модели предназначены для обеспечения соответствия ресурсов, привлекаемых строительными предприятиями, требованиям, формируемым при реализации тех или иных операций с выбором рационального варианта перемещения бригад по объектам и одновременном сокращении простоев бригад с заданной организационно-технологической надежностью. При этом зависимость стоимости работ от времени их выполнения рассматривалась только в классической постановке Л. Форда и Д. Фалкерсона.

Поэтому необходимо провести сопоставление зависимости расписания СМР и необходимых для этого ресурсов, как правило, имеющих ограничения на технологии реализуемого проекта, которые могут носить разнонаправленный характер. Требуется также учесть характер зависимости работ, выполняемых на одном или нескольких объектах, которые могут иметь характер жесткий (нарушение зависимости невозможно или сопряжено с очень большими затратами) или рекомендательный (нарушение зависимости возможно, но приводит к дополнительным затратам). Оценку адекватности таких затрат для предприятия проводят на этапе организационно-технологического проектирования. Однако на этапах реализации организационно-технологических решений часто возникают ситуации, когда в результате контроля качества СМР приходится переделывать уже выполненные участки или вносить серьезные изменения, что приводит к увеличению сроков работ и привлечению дополнительных ресурсов. Обеспечение качества является одной из частных задач организационно-технологической надежности строительного производства, базирующейся на теориях поточного строительства, сетевого планирования, систем управления. Надежность функционирования технологической системы СМР рассматривают по срокам, затратам, параметрам качества продукции. При этом наибольшее развитие получила методология организационной надежности (по срокам). Среди показателей технологической надежности по параметрам качества продукции рассматривают показатели точности процессов, технологической дисциплины, выполнения заданий по качеству.

Следовательно, разработка принципиально новых методологий формирования решений, направленных на выбор оптимальных вариантов реализации строительных проектов при заданной организационно-технологической надежности с минимально возможными ресурсами при жестком или рекомендательном характере зависимостей между технологическими операциями при применении новых способов и методов контроля качества и перспективных строительных механизмов является **актуальной и важной проблемой.**

Как в практике, так и в теории есть противоречия, что и определяет актуальность темы исследования. Предлагаемые подходы позволяют описать процессы, протекающие в системах организационного управления смешанного типа при наличии разноректорных критериев эффективности в задачах повышения качества их целевого функционирования.

Целью работы является разработка новых подходов к организационно-технологическому проектированию вариантов производства строительного производства в условиях применения новых технологий, средств механизации и разноректорных критериев эффективности их реализации.

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

1. Проанализировать существующие подходы организационно – технологического проектирования строительного производства.

2. Синтезировать механизм выбора вариантов производства строительного производства по стоимости и заданным зависимостям.

3. Разработать модель для определения оптимального варианта производства работ при выпуклой функции затрат.

4. Предложить вариант построения календарного плана с минимальными дополнительными затратами для случая последовательного выполнения работ с учетом ограничений на ресурсы.

5. Разработать механизм для оценки сходимости итерационной процедуры при проведении комплекса работ строительным предприятием минимальной продолжительности.

6. Синтезировать способы получения оптимального варианта расписания работ с рекомендательными зависимостями по критерию минимизации ресурсов типа мощности.

7. Разработать механизм прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства и его производственной базы с применением перспективных технологий.

8. Получить алгоритм выбора рациональных производственных структур с использованием перспективных технологий в строительстве при наличии различных критериев оценки эффективности.

9. Получить доверительные области при анализе эталонных показателей организации технологических процессов в строительстве для выполнения каждой работы календарного графика.

10. Разработать модель представления знаний для выбора способов возведения элементов строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства.

11. Построить алгоритм выбора способов контроля качества строительного производства работ с использованием квалиметрических методов оценок.

12. Уточнить модель организации инвестиционной деятельности в форме капитальных вложений при применении перспективных технологий в строительстве.

13. Синтезировать алгоритм выбора рациональных вариантов различных технологий выполнения работ заданного качества строительными организациями с использованием робототехнических комплексов.

14. Разработать модель информационного обеспечения строительного производства работ в условиях формирования сложных производственных структур.

Объект исследования - современные строительные технологии, средства механизации и методы организация строительного производства.

Предмет исследования - эффективность системы организационно-технического проектирования вариантов производства строительного-монтажных работ.

Научная новизна работы заключается в создании принципиально новых подходов, позволяющих описать процессы, протекающие в системах организационного управления смешанного типа при наличии разноректорных критериев эффективности в задачах повышения качества их целевого функционирования с учетом использования на стройплощадке перспективных технологий, средств автоматизации и механизации строительства.

Решение проблемы эффективной системы организации строительного производства требует установления связи в решениях частных задач, связанных с совершенствованием механизма оценки качества строительного-монтажных работ, с учетом прогнозирования развития перспективных строительных технологий с применением новых строительных материалов, средств механизации и автоматизации строительного производства, определяющие получение новых знаний и новых научных результатов.

Новые научные результаты:

1. Модель выбора вариантов производства строительного-монтажных работ по стоимости и заданным зависимостям, позволяющая получать необходимый вариант производственной программы строительного предприятия отличающаяся от традиционных возможностью установления рекомендательных зависимостей между работами, что позволяет реализовать проект с существенным упрощением процедуры получения решения и учета выпуклости функции затрат.

2. Новый подход для оценки сходимости итерационной процедуры при проведении комплекса работ строительным предприятием минимальной продолжительности, отличающийся от традиционного рациональным способом выбора точности на каждой итерации, обеспечивающей более быструю сходимость приближенного алгоритма.

3. Модель для получения оптимального варианта расписания работ, отличающаяся учетом ограничений на количество используемых ресурсов типа мощности (бригад) при рекомендательных зависимостях между работами, позволяющая получить зависимость продолжительности проекта от дополнительных затрат.

4. Механизм прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства и его производственной базы с применением перспективных технологий, отличающийся наличием различных несводимых друг к другу критериев оптимальности, позволяющий определить рациональные варианты организации работ в динамике за счет использования имитационного моделирования по параметрам организационно-технологической надежности.

5. Алгоритм выбора рациональных производственных структур с использованием перспективных технологий в строительстве, отличающийся наличием различных критериев оценки эффективности и нечетких информативных признаках, позволяющий формировать многоуровневые сетевые графики строительства с возможностью оперативной корректировки фронтов работ.

6. Теоретические доказательства утверждений: а) о минимальной оценке качества организации строительного-монтажных работ, позволяющего получить доверительные области при анализе эталонных показателей организации технологических процессов в

строительстве, методики их определения, а также обоснования связи их характеристик с эталонными параметрами для выполнения каждой работы календарного графика; б) о минимальных сроках завершения работ, позволяющего получать критерий сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации продолжительности выполнения комплекса строительно-монтажных работ.

7. Алгоритм выбора способов контроля качества строительно-монтажных работ, отличающийся использованием квалиметрических методов оценок верхних и нижних границ в многомерных критериальных матрицах показателей качества объектов, позволяющий минимизировать возможные отклонения сроков работ от запланированных.

8. Уточненный механизм организации инвестиционной деятельности в условиях применения перспективных технологий в строительстве, обеспечивающая оптимальный машинный парк строительной компании при реализации проекта, отличающейся применением нейросетевых алгоритмов обработки знаний в условиях неопределенности.

9. Семантическая модель представления знаний для выбора способов возведения элементов строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства, позволяющая обеспечить согласованность в разнотипных шкалах пространства неоднородных признаков, отличающаяся использованием процедуры ускоренного распознавания при множестве вариантов, что позволяет избежать основного недостатка – падения эффективности, а также привязать ее к определению рациональных вариантов сетевых графиков организации строительства.

10. Алгоритм выбора рациональных вариантов различных технологий реализации строительства с использованием робототехнических комплексов по параметрам качества с совмещением поиска эталонных показателей новых технологических процессов при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности, позволяющий выявить общие закономерности функционирования путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений в строительстве различной сложности.

11. Модель информационного обеспечения строительно-монтажных работ в условиях формирования сложных производственных структур, позволяющая обеспечить выполнение сетевых графиков производства на всех этапах жизненного цикла строительства отличающаяся применением совмещенных программных модулей: планирования (*GPSSWorld*), диспетчерского управления (*SCADA-TraceMOD*) и контроля качества строительного производства по критерию организационно-технологической надежности.

Достоверность научных результатов. Разработанные подходы, теоретические выводы и практические рекомендации обоснованы за счет комплексного использования методологии системного анализа, таксономии, аппарата теории принятия решений, экспертных оценок, расплывчатых категорий, имитационного моделирования, линейного и нелинейного программирования, нейросетевого и динамического программирования. Они подтверждены расчетами на ЭВМ, производственными и имитационными экспериментами, многократной проверкой при создании программных продуктов по повышению организационно-технологической надежности строительного производства.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные совокупности теоретических положений, методологических решений, методических рекомендаций и информационных систем позволили разработать новые способы организации строительства в контексте интенсификации сроков строительно-монтажных работ, исследования новых

квалиметрических способов контроля качества производства, организации принципов построения средств обеспечения и информационной подсистемы в целом, обоснования их достижимых показателей, а также разработку вариантов подобной системы.

Внедрение результатов исследований выполнено в 13 строительных и проектных предприятиях (СевКавНИПИагропромстрой, КабБалкАгропромстрой, РостСтрой, ХолодБизнесГрупп, СтройИнжиниринг, Строй-Стандарт, Энергосервис, ИнфоСтрой, УМС «Минераловодское» и др.), в 4 СРО Северо-Западного, Южного, Северо-Кавказского и Дальневосточного федеральных округов («Балтийский строительный комплекс», «Объединение строителей Южного и Северо-Кавказского округов», «Союз строителей Республики Дагестан», «Содействия стройкомплексу Дальнего Востока») с общим экономическим эффектом свыше 92 млн.руб.

Результаты исследований также внедрены в учебный процесс в 4 вузах - Донском и Воронежском государственных технических университетах, Кабардино-Балкарских государственных университете и сельхозакадемии в курсах «Управление строительным производством» и «Технология и организация строительства».

На защиту выносятся:

- модель выбора вариантов производства строительного-монтажных работ по стоимости и заданным зависимостям;
- механизм оценки сходимости итерационной процедуры при проведении комплекса работ предприятием минимальной продолжительности;
- модель для получения оптимального варианта расписания работ с рекомендательными зависимостями по критерию минимизации ресурсов типа мощности;
- модель прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства и его производственной базы с применением перспективных технологий при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности;
- алгоритм выбора рациональных производственных структур с использованием перспективных технологий в строительстве при наличии различных критериев оценки эффективности;
- алгоритм выбора способов контроля качества строительного-монтажных работ;
- модель организации инвестиционной деятельности в форме капитальных вложений при применении перспективных технологий в строительстве;
- модель представления знаний для выбора способов возведения элементов строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства;
- алгоритм выбора рациональных вариантов различных технологий производства строительного-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации;
- модель информационного обеспечения строительного-монтажных работ в условиях формирования сложных производственных структур.

Апробация результатов работы. Основные результаты исследований обсуждены и одобрены на Экспертном совете Государственной Думы РФ в 2013г., Конгрессе муниципальных образований РФ в 2014-15гг. в Москве, международных, всероссийских, межрегиональных, региональных и городских научно-практических конференциях и семинарах (Москва-МГСУ, Ростов н/Д-РГСУ, ДГТУ, Воронеж-ВГАСУ, ВГТУ, Ставрополь-СКГТУ) в

2011-2019гг., были отмечены серебряной медалью VIII (2006г.), и дипломом X (2010г.) Московского международного салона инноваций и инвестиций.

По исследованиям под руководством и при консультациях автора успешно защищено 5 кандидатских диссертаций (Зотов А.М., Айвазян Э.С., Стельмах С.А., Нехай Р.Г., Янин А.Г.).

По результатам диссертационной работы автору в составе авторских коллективов:

- присуждена Премия Правительства Российской Федерации 2019 года в области науки и техники для молодых ученых;

- получена серебряная медаль РААСН за 2020 год.

Работа выполнялась в 2011...2020гг. и соответствует пп.1-5,7-9,11 паспорта специальности.

Научное направление зарегистрировано в ФГАНУ ЦИТиС Министерства высшего образования и науки РФ (рег. № А20-120011690125-6).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 48 работ, в том числе в 23 изданиях *ВАК*, 6 изданиях *Web of Science* и *Scopus*, 7 монографиях, 8 справочниках, 4 других изданиях.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов, библиографии из 145 наименований и содержит 311 страниц текста, включая 46 рисунков и 28 таблиц, а также отдельный том приложений из 20 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель, научные задачи, приведены решаемые в исследовании вопросы, раскрыты научная и практическая ценность работы, методы исследований.

В первой главе «Анализ подходов организационно – технологического проектирования строительного производства» приводятся существующие типовые модели и методы организационно – технологического проектирования и решения задач организации строительного производства с учетом многовариантности способов контроля качества в строительстве в условиях применения перспективных средств механизации и автоматизации.

Существующие варианты, в основном, носят линейный характер, что часто не соответствует действительности. По этой причине за базовый вариант принят такой, при котором полагается, что на сетевом графике строительства заданы времена выполнения каждой работы и директивные сроки завершения каждой i -той заключительной работы T_i .

Возникает задача построения календарного плана, обеспечивающего завершение процесса строительства в кратчайшие сроки. Основные модели постановки и решения данной задачи обычно сводятся к задачам линейного программирования с Булевыми переменными очень большой размерности, что не позволяет этими моделями решать одну из важнейших задач математической логистики: совершенствование и развитие теории расписаний и разработку ее инженерных приложений.

В соответствии с этим, в диссертации изложены соответствующие постановка и анализ математической модели с учетом таких факторов, как упорядоченность множества ресурсов и требований к операциям обслуживания и наложения ограничений, связанных с заданными последовательностями обслуживания работ механизмами.

При этом задача теории расписаний сводится к модели целочисленного линейного программирования, в которой на непрерывные переменные $x(i,k,r)$ накладываются двухсторонние ограничения, а переменные $y(i,r,p,k)$ могут принимать значения лишь 0 или 1.

Пусть на сетевом графике строительства заданы времена выполнения каждой работы и директивные сроки T_i завершения i -ой заключительной работы. Необходимо построить календарный план, обеспечивающий окончание процесса строительства в кратчайшие сроки.

Время окончания процесса выполнения всех работ M механизмами определяется:

$$T = \max_{1 \leq i \leq n} \{f(i,k,m_i) + t(i,k,m_i)\}.$$

Несовершенство указанного подхода обусловлено тем, что на этапах реализации организационно-технологических решений часто встречаются ситуации, когда в результате контроля качества СМР приходится переделывать или вносить изменения в уже выполненные участки, что приводит к увеличению сроков и привлечению дополнительных ресурсов. Обеспечение необходимого уровня качества является одной из частных задач организационно-технологической надежности строительного производства, базирующейся на теориях поточного строительства, сетевого планирования, систем управления. Среди показателей технологической надежности по параметрам качества продукции рассматривают показатели точности процессов, технологической дисциплины, выполнения заданий по качеству.

Перспективным направлением для решения данных задач является использование 3D строительных роботов. При этом на первом месте стоит не сам 3D-робот - сложное звено новой технологии, а вопросы организационно-управленческих решений при выборе технологии строительства, инвестиций в основные средства в форме капитальных вложений, изыскания новых форм и методов контроля качества работ и др.

Таким образом, требуется создание принципиально нового системного подхода, позволяющего описать процессы, реально протекающие в системах организационного управления смешанного типа при наличии разновекторных критериев эффективности в задачах повышения качества их целевого функционирования с учетом использования на стройплощадке перспективных средств автоматизации и механизации строительства.

Во второй главе «Выбор вариантов производства строительного-монтажных работ по стоимости и заданным зависимостям» раскрывается общая концепция стратегии выбора вариантов производства работ для агрегируемых сетевых графиков, а также решения задач определения оптимального варианта производства работ при выпуклой функции затрат и выбора вариантов выполнения работ при зависимостях рекомендательного типа.

Исходя из обозначенной проблемы рассматривалась задача синтеза модели выбора вариантов производства строительного-монтажных работ по критериям минимизации средств исполнителя и сроков выполнения всего комплекса работ. Полученная модель позволила решать сложные сетевые задачи оптимизации по стоимости затрат посредством модификации алгоритма Бермана.

Для этого потребовалось, в свою очередь, решить комплекс сопутствующих задач, порядок решения их определяется технологией и временем, за которое этот комплекс должен быть выполнен.

Искомое решение задачи определяется уравнением

$$\min_t \left\{ \sum_{q=1}^N S_q [(A^T t)_q] \mid A^T t > b, t_1 = 0, t_n = T \right\}. \quad (1)$$

Далее понадобятся обозначения: $P_j^+(P_j^-)$ - множество номеров узлов, в которых заканчиваются (начинаются) дуги, начинающиеся (заканчивающиеся) в j -м узле; P_{ij} - множество номеров дуг, начинающихся в i -м и заканчивающихся в j -м узлах; P - множество всех тех пар узлов (i, j) , для которых $P_{ij} \neq \emptyset$; $L_{ij}(d)$ и $L_{jn}(d)$ - максимальные «длины» путей, соединяющих соответственно начальный узел с j -м и j -й узел с конечным при «длине» q -й дуги, равной d_q ($q = 1, 2, \dots, N$); r_j - ранг j -го узла (под рангом узла подразумевается максимальное число дуг в путях, соединяющих данный узел с начальным узлом сети); R_m - множество номеров узлов, имеющих ранг m :

$$S_{ij}^f(\xi) = \sum_{q \in P_{ij}} \frac{d^f S_q}{d\tau_q^f}(\xi), \quad f = 0, 1, 2, \quad (i, j) \in P;$$

$$S(t) = \sum_{q=1}^N S_q [(A^T t)_q] = \sum_{(i,j) \in P} S_{ij}(t_j - t_i).$$

Кроме того, в дальнейшем считается выполнимым условие допустимости для задачи (1): $L_{in}(b) < T$. Для задачи (1) предусмотрен итерационный алгоритм решения, в каждой итерации которого «просматриваются», за исключением начального и конечного, все узлы сети. «Просмотр» j -го узла ($j = 2, \dots, n-1$) заключается в следующем: фиксируются все компоненты вектора t , которым мы располагаем перед данным «просмотром», кроме j -й, которая становится равной корню уравнения:

$$\sum_{l \in P_j^-} S_{lj}^1(x - t_l) = \sum_{q \in P_j^+} S_{jq}^1(t_q - x). \quad (2)$$

Уравнение (2) в силу вида функций $S_i(x_i)$ при допустимом t всегда имеет решение. Начинать описанный алгоритм можно с любого допустимого вектора t_0 (начальный вектор). Ниже исследуется скорость сходимости для одной модификации алгоритма Бермана, в которой узлы сети «просматриваются» в порядке монотонного изменения их ранга. Пусть $\varepsilon_{jk} = t_{jk} - t_{jk-1}$, где второй индекс у переменных обозначает номер итерации, в которой это значение получено, и для определенности узлы «просматриваются» в порядке монотонного увеличения их ранга. Тогда для k -й и $(k-1)$ -й итераций из (2) получаем:

$$\sum_{l \in P_j^-} S_{lj}^1[t_{jk} - (t_{lk-1} + \varepsilon_{lk})] = \sum_{q \in P_j^+} S_{jq}^1[t_{qk-1} - t_{jk}], \quad (3)$$

$$\sum_{l \in P_j^-} S_{lj}^1[t_{jk-1} - t_{lk-1}] = \sum_{q \in P_j^+} S_{jq}^1[(t_{qk-1} - \varepsilon_{qk-1}) - t_{jk-1}]. \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) использовано то, что при «просмотре» узлов в порядке возрастания их ранга j -й узел «просматривается» позже всех узлов с номером $l \in P_j^-$ и раньше всех узлов с номерами $q \in P_j^+$.

Для нахождения итерации, при которой достигается заданная точность α в определении оптимального значения целевой функции, принято выражение:

$$\varepsilon_k \leq \beta_0 \varepsilon_{k-1} \quad (k = 2, 3, \dots). \quad (5)$$

В диссертации приводится доказательство справедливости выражения (5).

По формулам, полученным в результате проведенного анализа, предложено вычислять также и приближения к прямому и двойственному решениям задач на инерции

(σ). Основным достоинством рассмотренной схемы вертикального агрегирования является факт, что обмен информацией между глобальной и локальными задачами осуществляется в агрегированной номенклатуре, что существенно снижает требования к пропускной способности межуровневых каналов связи.

Таким образом, *получена модель составления расписания работ, отличающаяся учетом ограничений на количество используемых ресурсов типа мощности (бригад) при рекомендательных зависимостях между работами, что позволяет получить зависимость продолжительности проекта от дополнительных затрат.*

В третьей главе «Модели выбора вариантов контроля качества строительномонтажных работ» приводится научная концепция, связанная с задачами выбора вариантов контроля качества при выполнении СМР за счет прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства с учетом выбора способов контроля качества работ по критерию минимальных сроков реализации проекта.

Рассмотрим *модель прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства и его производственной базы с применением перспективных технологий.* Технологический маршрут в строительстве определяется последовательностью участков, преобразующих исходный продукт в конечный. Технология производственного процесса есть множество технологических маршрутов, соответствующих исходным продуктам, поступившим на обработку. Свяжем с производственным процессом ориентированный граф без контуров $G = (X, \Gamma)$ - технологические варианты. Здесь X - множество его вершин, $\Gamma: X \rightarrow \rho(x)$ - отображение, связывающее с каждой вершиной x из X множество инцидентных вершин $\rho(x)$. Вершины графа - промежуточные продукты, участвующие в производственном процессе и находящиеся на различных стадиях обработки, дуги - участки.

На рис. 1 показан пример графа G для четырехстадийных ($n=5$) технологических маршрутов, где $A = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множество типов исходных продуктов, $B = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ - множество типов конечных продуктов.

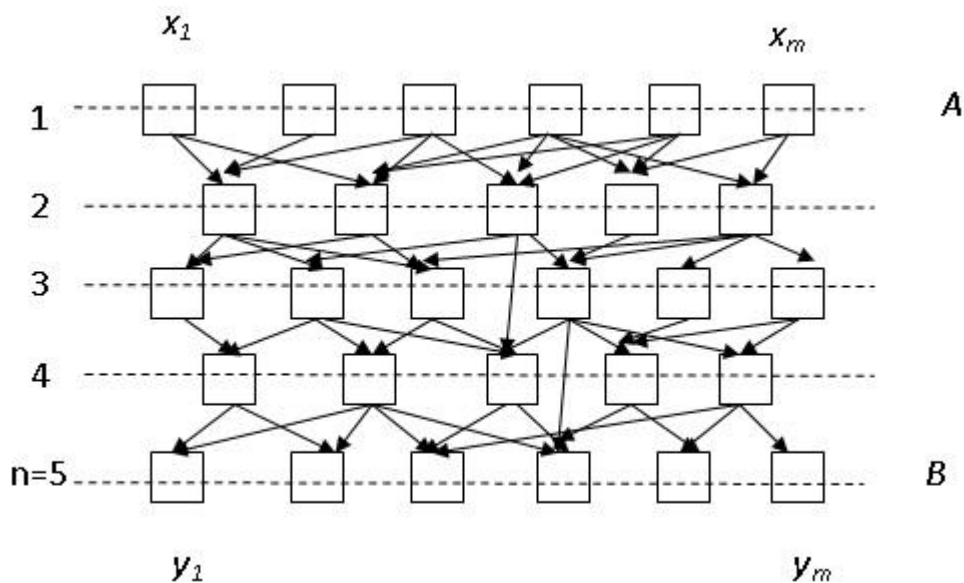


Рис. 1. Пример графа для описания четырехстадийных технологических маршрутов

Результатом является *алгоритм выбора рациональных производственных структур с использованием перспективных технологий в строительстве при наличии различных критериев оценки эффективности и, зачастую нечетких информативных признаках, позволяющий формировать многоуровневые сетевые графики строительства с возможностью оперативной корректировки фронтов работ.*

Многие задачи организации строительного производства являются многокритериальными, что дает большую размерность пространства стратегий выбора способов контроля качества СМР и значительное время расчёта, их решение очень затруднительно. Кроме того, в них всегда есть необходимость повторного решения с теми же критериями, но изменёнными стратегиями в связи с возможными в ходе проектирования изменениями параметров организационно-технологической надежности по результатам контроля качества. Поэтому необходима разработка *алгоритма выбора способов контроля качества СМР.*

В этой задаче «качество» объектов оценивается с помощью критериев K_1, K_2, \dots, K_m ($m \geq 2$), под которыми понимаются функции, отображающие множества объектов Q в некоторых, содержащих не менее двух точек, подмножествах X_i числовой прямой Re . Это множество называют шкалой i -го критерия, а его элементы – шкальными оценками. Критерии оценки качества K_i образуют вектор $K = (K_1, \dots, K_m)$, отображающий множество Q во множестве $\chi = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m$ векторов, компонентами которых являются шкальные оценки. В общем случае, не для всякого вектора качества x из χ может существовать соответствующий объект a , такой, что $K \ni a \Rightarrow x$. Однако для решения поставленной задачи удобно оперировать векторами из χ , которые не обязательно соответствуют реальным объектам (т.е. из Q), но могут рассматриваться как характеристики некоторых гипотетических объектов.

Задача векторной (или многокритериальной) оптимизации заключается в выборе стратегии x из множества X возможных стратегий при наличии векторного критерия:

$$W = (W_1, \dots, W_m) \ni X \rightarrow R^m. \quad (6)$$

Без потери общности предположим, что по каждому частному критерию W_i желательно иметь возможно большее значение. В качестве решения задачи обычно берётся одна из принадлежащих множеству эффективных стратегий:

$$P = \{x \in X \mid \nexists y \in X : W \ni y \succeq W \ni x\}$$

В многокритериальных задачах оценки качества работ часто требуется построить конечное множество $P' \subset P$, удовлетворяющее условию: для всякой стратегии $x \in P$ должна найтись стратегия $e \in P'$ такая, что $|W \ni x - W \ni e| \leq \xi$, где $\xi > 0$ мало. P' строится как объединение решений двухэтапных лексикографических задач:

$$\left(\min_{1 \leq i \leq m} \lambda_i W_i \ni x, \sum_{i=1}^m W_i \ni x \right) \rightarrow \text{lex max}_{x \in X}, \quad (7)$$

когда $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ пробегает достаточно плотную конечную δ -сеть множества

$\Lambda = \left\{ \lambda \mid \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1, \lambda_i > 0, i = \overline{1, m} \right\}$. Трудоемкость построения множества P' возрастает с

увеличением размерности векторного критерия W . Нами в работе исследуется вопрос уменьшения размерности решения задачи оценки качества работ путем исключения несущественных критериев качества). Для непустого собственного подмножества S множества $I = \{1, 2, \dots, m\}$ положим $W_S = \langle W_i, i \in S \rangle$. Пусть P_S - множество эффективных стратегий из множества X по векторному (или скалярному, если S – одноэлементно) критерию W_S . Критерий W_S назовём базисным, если $P_S \supset P$. Если существует базисный критерий W_S , то в рассмотренном лексикографическом критерии в качестве первого критерия можно использовать $\min_{i \in S} \lambda_i W_i \langle \cdot \rangle$, а δ -сеть по $\lambda_S = \langle \lambda_i, i \in S \rangle$ брать из множества:

$$\Lambda_S = \left\{ \lambda_S \mid \sum_{i \in S} \lambda_i = 1, \lambda_i > 0, i \in S \right\}. \quad (8)$$

Критерий W_S является базисным, если, например, из неравенства $W_S \langle x' \rangle \geq W_S \langle x'' \rangle$, $x', x'' \in X$, всегда следует неравенство $W_{I/S} \langle x' \rangle \geq W_{I/S} \langle x'' \rangle$.

Далее в диссертации рассматриваются вопросы проверки и способов нахождения базисного критерия оценки качества. Этот процесс предлагается реализовать последовательностью следующих пяти этапов.

Первый этап начинается с проверки базисности критерия качества $W_{I \setminus \{1\}}$. Предположим, что критерий $W_{I \setminus \{1\}}$ не является базисным и найдены такие стратегии $x, y \in P$, что $W_{I \setminus \{1\}} \langle x \rangle \geq W_{I \setminus \{1\}} \langle y \rangle$. Если W_S , где $1 \in S$ - базисный критерий, то необходимо $S \subset S' = \{i \in I \setminus \{1\} \mid W_i \langle x \rangle \geq W_i \langle y \rangle\}$. Поэтому затем проверяется базисность критерия $W_{S'}$. Предположим, что найдены такие стратегии $x', y' \in P$, что $W_{S'} \langle x' \rangle \geq W_{S'} \langle y' \rangle$. Тогда проверяется базисность критерия $W_{S''}$, где $S'' = \{i \in S' \mid W_i \langle x' \rangle \geq W_i \langle y' \rangle\}$, и т.д. до тех пор, пока не исчерпается множество $I \setminus \{1\}$. Если базисный критерий не обнаружен, то можно заключить, что ни один критерий W_S , $1 \notin S$ базисным не является.

Второй этап начинается с проверки базисности критерия $W_{I \setminus \{1, 2\}}$ и аналогичен первому. Здесь только нужно учитывать, что критерий W_1 должен входить в базисный критерий. Точно также i -й этап начинается с проверки базисного критерия $W_{I \setminus \{1, \dots, i\}}$ и при этом критерии W_1, \dots, W_{i-1} входят в базисный критерий. В процессе выполнения всех m этапов алгоритма либо будет найден базисный (« ξ -базисный») критерий, либо будет установлено его отсутствие. При этом общее число проверок на базисность не превзойдёт $\frac{m(m+1)}{2} - 1$.

Третий этап. Если нужно найти все базисные критерии (например, с целью поиска его наименьшей размерности), то необходимо пройти все m этапов алгоритма. В результате будет найдено некоторое множество $W_{S_j}, j = \overline{1, k}$ базисных критериев.

Четвертый этап. Проверяется на базисность критерии W_S , где $S \subset \bigcup_{j=1}^k 2^{S_j}$, вновь используя с небольшими изменениями предложенный алгоритм. В результате будет построено новое семейство базисных критериев.

Пятый этап. Процесс завершается построением всех базисных критериев.

Таким образом, *получен алгоритм выбора способов контроля качества строительно-монтажных работ с использованием квалиметрических методов оценок верхних и нижних границ в многомерных критериальных матрицах показателей качества объектов, что позволяет минимизировать возможные отклонения сроков работ от запланированных, а также доказано утверждение о минимальной оценке организации работ, позволяющее получить доверительные области при анализе эталонных показателей организации технологических процессов в строительстве, методики их определения, а также обоснования связи их характеристик с параметрами эталонов для выполнения каждой работы календарного графика.*

В четвертой главе «Планирование и организация инвестиционной деятельности в строительное производство, использующее высокотехнологичные средства механизации и контроля качества» приводится моделирование структурных параметров оценки уровня риска строительного предприятия при инвестиционной деятельности в капитальное строительство при оптимальном машинном парке, а также организация инвестиционной деятельности для региональных строительных комплексов при возведении и эксплуатации объектов недвижимости с применением перспективных технологий и способов контроля качества их возведения.

Рассматривается *модель организации инвестиционной деятельности в форме капитальных вложений при применении перспективных технологий в строительстве.*

Если объект строительства состоит из нескольких блоков, после завершения которых достигается определенный эффект (например, получение теплотенергии после пуска теплотстанции), то объект разбивается на «элементарные» объекты. Между ними формализуется некоторая допустимая технология их строительства с привлечением инвестиций по мере необходимости. В первом случае на этапе планирования для объектов ($i = \overline{1, I}$) известен вектор x_{ilm} , определяющий необходимые ресурсы l -го типа в m -й период строительства ($m = \overline{1, M_i}$). Здесь M_i - длительность строительства i -го объекта. Суммарный объем потребления ресурса R_{il} равен $\sum_{m=1}^{M_i} x_{ilm}$. Во втором случае известен суммарный объем потребления ресурсов $R_{i\bar{l}}$, а величины x_{ilm} определяются при решении задачи планирования.

Для примера использования предлагаемых моделей рассмотрена задача оптимизации очередности строительства и ввода мощностей комплекса ТЭЦ с 2014 по 2028 гг. Предполагается, что существует специализированная строительная организация, мощности которой (R_k - объемы СМР в k -й год) - в соответствии с данными табл. 1.

Таблица 1

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R_k	60	80		12			13	13		13	13	13	13	13	13

Необходимо распределить инвестиционный проект привлечения средств в форме капитальных вложений организации между объектами и очередность их ввода в

эксплуатацию так, чтобы максимизировать наращивание мощностей по годам с учетом заданных ограничений. Вводятся переменные: $y_{ik}=1$, если i -й блок теплостанции вводится в k -й период, $y_{ik}=0$ в противном случае; x_{ik} - количество ресурсов, выделенных в k -й период строительства для i -го энергоблока. Исходная информация: P_i - мощность i -го блока; R_i - затраты на ввод i -го блока; R_k - суммарные ресурсы организации в k -й период. Допустимые технологии строительства блоков отражены на рис. 2.

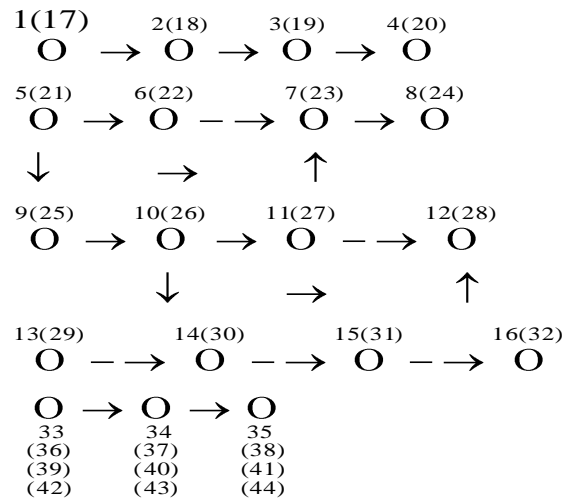


Рис. 2. Допустимые технологии

При этом вводятся ограничения:

- каждый блок вводится лишь в один из периодов;
- ресурсы на строительство блока не превышают заданных значений и не превышают возможностей строительной организации.

Результаты решения задачи показаны на рис. 3.

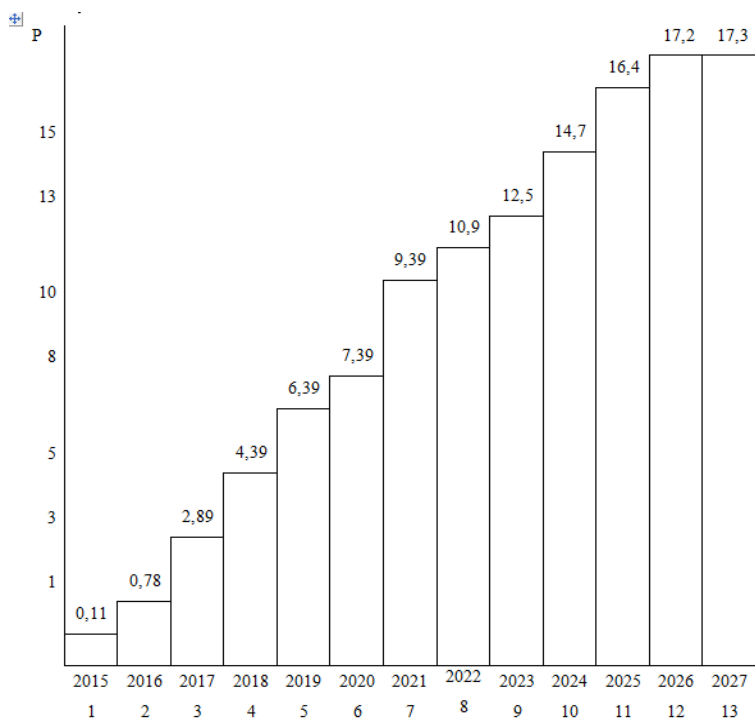


Рис. 3. Очередность строительства и распределение инвестиций по блокам

Следующим этапом работы является задача составления календарного плана. Для выполнения множества работ $J=\{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$ имеется множество исполнителей $Q=\{1, 2, \dots, q, \dots, m\}$. Предполагается, что: множество J априори разбито на m , $1 < m < n$ классов J_q , $q=1, 2, \dots, m$ - перечень работ, выполняемых каждым исполнителем; каждый класс J_q содержит не менее двух работ; каждая работа $j \in J_q$, выполняется только одним исполнителем $q \in Q$ за время $t_j > 0$ и прерывание ее не допускается; одновременное выполнение нескольких работ одним исполнителем запрещено. Исходные данные задачи представляются конечным ориентированным ациклическим графом $G=(X, V, W)$ с множеством вершин X , дуг V и функцией $W: X \rightarrow R^+$. Вершина x_s связывается дугами V_s с вершинами из X , имеющими в G нулевую полустепень захода; каждую вершину из X с нулевой полустепенью исхода в G свяжем с X_F дугами V_F , направленными к этой вершине. В результате получим ациклический граф $\bar{G} = (X, x_s, x_F, \bar{V}_x, \bar{W}_x)$, $\bar{V}_x = V \cup V_s \cup V_F$, $\bar{W}: \{X \cup \{x_s\} \cup \{x_F\}\} \rightarrow R$. Пусть X_q , $q = 1, 2, \dots, m$ - множества вершин G , соответствующие работам J_q , $q = 1, 2, \dots, m$. Тогда заданные порядки выполнения работ m исполнителями на графе G можно отобразить множествами V_q , $q = 1, 2, \dots, m$ дополнительных дуг, связывающих вершины множеств X_q , $q = 1, 2, \dots, m$ так, что для каждой пары $(x', x) \subset X_q$ вершин, соответствующих работам $j', j \in J_q$, дуга $V_{qx} \in V_q$, ориентируется к вершине x только тогда, когда работа j' непосредственно предшествует работе j . Экстремальный граф G^* будет считаться решением задачи, граф $G^* \in \Omega$ — допустимое ее решение.

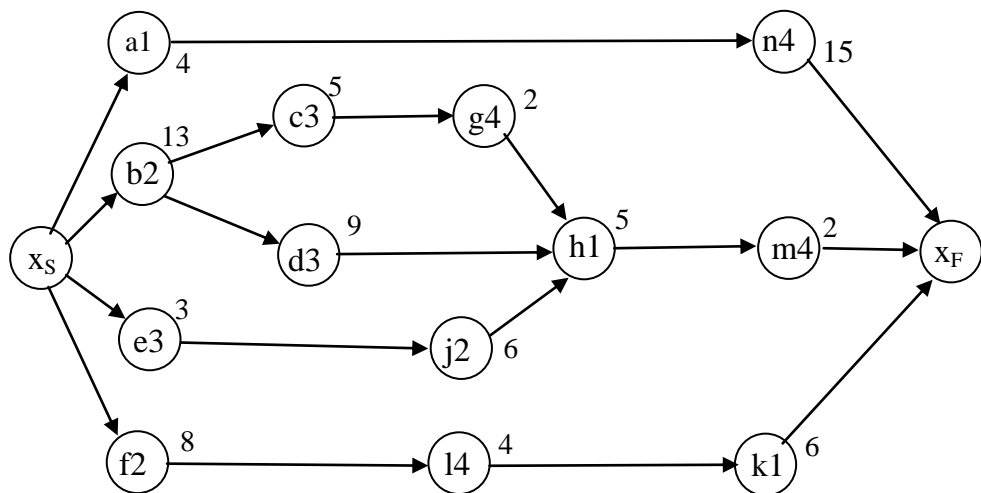


Рис. 4. Сетевой граф

В качестве примера в работе рассматривается действие алгоритма в отношении отсечения ветвей в дереве поиска на задаче, представленной графом \bar{G} (рис. 4), расшифровка вершин которого произведена в буквенно-цифровом виде. Первый индекс - вид работы, второй - тип исполнителя. У вершин проставлены их веса - длительности работ. Классы работ представляют следующие множества вершин $\bar{G}: X_1=\{a1, h1, k1\}; X_2=\{b2, f2, j2\}; X_3=\{c3, d3, e3\}; X_4=\{g4, i4, n4, m4\}$.

Начало вычислений.

$h=1; X_S^1=\{a1, b2, e3, f2\}; U_F^1=3$ и определяется $e3; X_{S3}^1=\{e3\}$.

$h=2; X_S^2=\{a1, b2, j2, f2\}; U_F^2=4$ и определяется $a1; X_{S1}^2=\{a1\}$.

.....

$h = 13; X_S^{13} = \{m4\}; U_F^{13} = 38; X_{S4}^{13} = \{m4\}.$

$h = 14; X_S^{14} = \emptyset.$

Вычисления окончены. Полученный путь в дереве поиска может быть легко представлен графически.

Таким образом, *получена модель организации инвестиционной деятельности в форме капитальных вложений при применении перспективных технологий в строительстве, обеспечивающая оптимальный машинный парк строительной компании при реализации проекта за счет применения нейросетевых алгоритмов обработки знаний в условиях неопределенности.*

Следующим этапом работы являлось создание *семантической модели представления знаний (МПЗ) для выбора способов возведения элементов строительных объектов с определением рациональных вариантов организации производства.* С учетом сложности этой задачи целесообразно ее решение с использованием экспертной системы на основе модели представления знаний, представляющей совокупность: базы знаний, рабочей базы данных и машины вывода. Учитывая относительно небольшой объем правил работы такой экспертной системы после анализа различных моделей (продукционных, семантических, фреймовых, нейросетей) выбор остановлен на семантической МПЗ. Наибольшие затруднения в ней вызывает именно аппарат извлечения знаний. Для того чтобы «запустить» машину вывода при наличии системы продукционных правил, очевидно, необходимы следующие компоненты: задание значений переменных, используемых в продукциях; сами правила-продукции, механизм интерпретации правил.

Перед началом анализа принимается допущение, что $A = \{a_l, l = \overline{1, D}\}$ - множество альтернатив организации инвестиций в объекты капстроительства, причем каждая альтернатива описывается набором параметров, а оценивается набором показателей $X = \{X_i, i = \overline{1, I}\}$, чьи значения можно вычислить на основе информации о параметрах. Зависимость между параметрами и показателями известна лишь приближенно и выражена набором высказываний:

$$g_t : \text{если } L_t, \text{ то } X_i = H \quad (9)$$

где L_t - логическое высказывание вида $L_t : Y_{j_1} = G_{j_1 t} \wedge \dots \wedge Y_{j_m} = G_{j_m t}; \{Y_{j_1}, \dots, Y_{j_m}\} \subseteq Y.$

Высказыванию может быть присвоено некоторая степень уверенности $\alpha \in [0,1]$ в его истинности. Более сложные высказывания состоят из нескольких простых условных высказываний, соединенных связкой "иначе":

$$\frac{\text{ЕСЛИ } L_1^* \text{ то } X_i = H_i}{\text{ЕСЛИ } L_{n-1}^* \text{ то } X_i = H_{n-1} \text{ иначе } X_i = H_n} \quad (10)$$

Альтернативы могут быть вероятностными, когда параметры принимают значения G_{jk} с вероятностями λ_{jk} - числовыми, нечеткими или лингвистическими.

Для решения задачи создания семантической МПЗ для выбора способов возведения элементов строительных объектов обозначим $L_t = \overline{L_1}^* \wedge \dots \wedge \overline{L_t}^*$. Тогда (10) можно записать: если L_1 , то $X_i = H_1$; если L_2 , то $X_i = H_2$; ... если L_n , то $X_i = H_n$. (11)

Каждое равенство (11) является простой условной гранулой. Совокупность гранул представляет собой свидетельство $E = \{g_1, \dots, g_n\}$. (12)

На основе информации в (11), можно сформулировать нечеткое отношение R между показателем X_i и параметрами $Y_j \in Y$, используемыми в свидетельстве E .

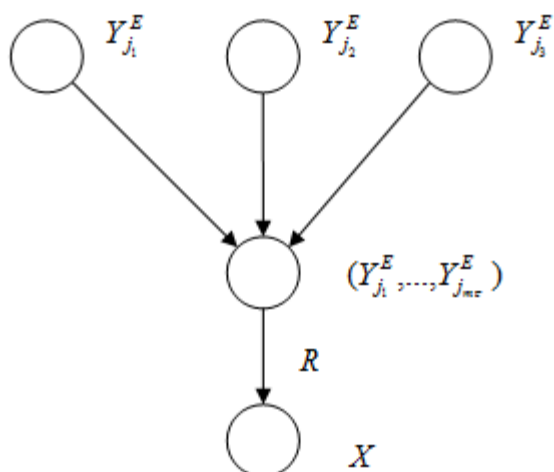


Рис.5. Представление высказывания в виде участка сети

Каждое свидетельство E может быть отражено в виде семантической сети (рис.5), где вершины - параметры, вычисляемые показатели и оператор объединения скалярных значений параметров в вектор; непомеченные дуги только указывают направление, в котором осуществляется передача значений параметров и показателей; помеченные дуги определяют преобразование информации в соответствии с нечетким отношением R ; точка у вершины обозначает синапс и показывает, что для вычисления вектора значений необходима информация от всех вершин, дуги от которых сходятся в синапс.

Запишем факт выводимости значения X на основании свидетельства E в виде:

$$X = E(Y^E) \quad (13)$$

Затем в диссертации подробно описывается алгоритм анализа инвестиций в объекты капстроительства, синтезированный в представленной модели (как основу применяется подход Демпстера для комбинирования свидетельств), работающий по принципам машины вывода для экспертных систем. Значение показателя риска инвестиций объекта недвижимости X_i может сравниваться с эталонным посредством волнового алгоритма последовательного возбуждения вершин. Значения исходных параметров, необходимые для вычисления значений показателей, должны быть предварительно заданы. Начальные вершины, соответствующие этим параметрам, считаются возбужденными. Суть алгоритма заключается в последовательном возбуждении вершин, которые имеют хотя бы один синапс, все входные дуги которого исходят из возбужденных вершин.

Одним из вариантов повысить качество и эффективность работ, а также минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором, является использование строительных роботов. Предлагается модель робота (рис. 6), работающего в режиме самообучения с разработанной выше моделью представления знаний.

В данной модели использована отладочная плата *Arduino Mega 2560*, характеризующаяся легкостью работы, в сравнении с применением микроконтроллера напрямую, и позволяющая моделировать различные устройства.

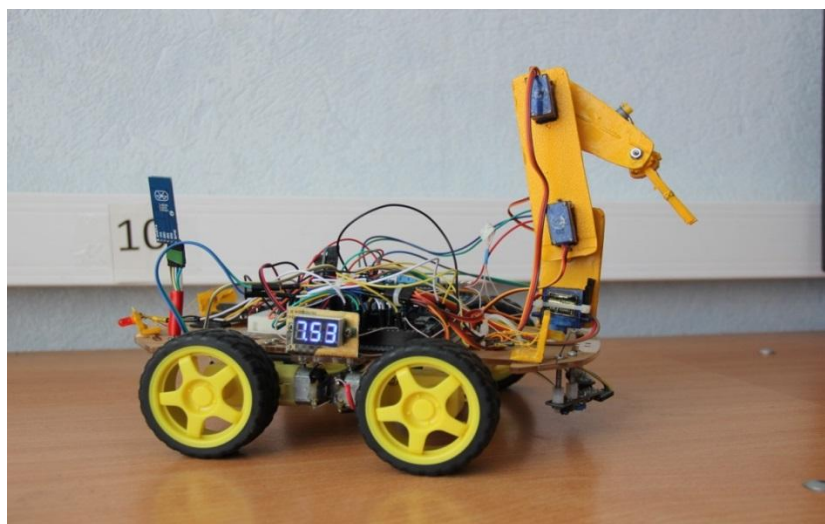


Рис. 6. Модель 3D строительного робота

По результатам выполненных автором исследований разработан также рабочий прототип строительного робота 3D печати напольного покрытия (рис. 7), который в автоматизированном режиме создает топографическую карту обрабатываемой поверхности, в полуавтоматическом режиме разрабатывает алгоритм перемещения для 3D печати напольного покрытия со встроенной системой коммуникаций. В качестве материала для печати используются полимеры.

Текущие операции для автоматизации: 3D сканирование с нивелированием; разметка области печати на зоны с допустимыми погрешностями; нанесение подготовительного слоя для уменьшения коэффициента теплопроводности; нанесение основы для теплого пола; печать компонентов теплого пола; нанесение финишного слоя.

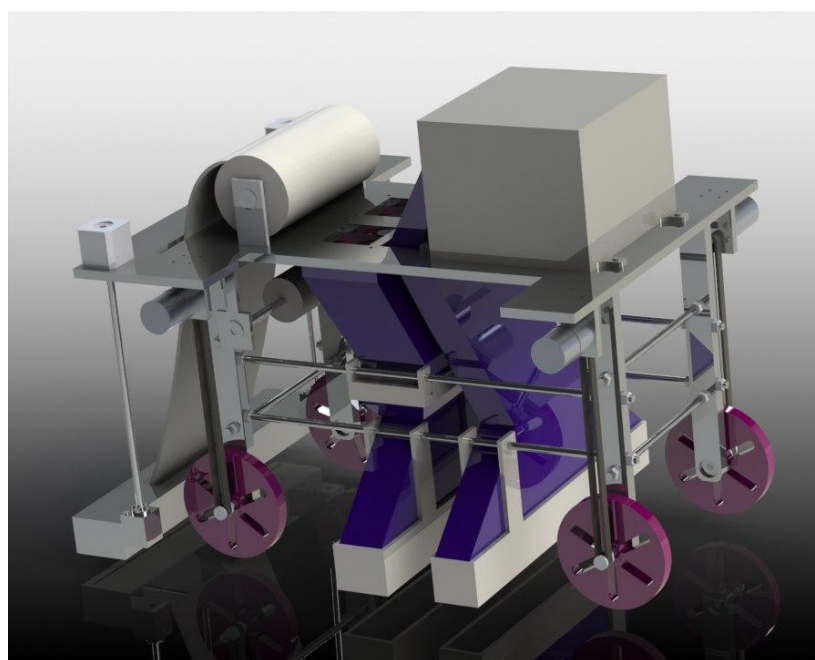


Рис. 7. 3D чертеж робота – экструдера

Следовательно, получена семантическая модель представления знаний для выбора способов возведения строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства, позволяющая обеспечить согласованность в различных шкалах пространства неоднородных признаков, за счет использования процедуры распознавания при множестве вариантов, что позволяет избежать основного недостатка – падения эффективности, а также привязать ее для определения рациональных вариантов сетевых графиков организации строительства.

В пятой главе «Организация строительного производства в условиях применения перспективных технологий и способов контроля качества» рассматривается возведение строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства, а также выбор оптимального варианта средств механизации и автоматизации при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности.

Рассматривается решение задач получения размерного ряда многопродуктовых производственных мощностей при использовании перспективных технологий строительства.

Для получения размерного ряда многопродуктовых производственных мощностей применяется освоенная практикой текущего отраслевого планирования модель расчета оптимальной мощности строительного предприятия:

-оптимизировать:
$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^n e_j z_j \quad (14)$$

-при условиях:
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} z_j \leq \varphi_i, \quad i=1, \dots, m, \quad (15)$$

$$b_j' \leq z_j \leq b_j'', \quad j = 1, \dots, m, \quad (16)$$

где a_{ij} - трудоемкость выполнения работы j с применением оборудования вида i ; z_i - искомый объем производства j ; b_j' , b_j'' - нижняя и верхняя границы возможного объема производства работы j на предприятии; e_j - показатель критерия оптимальности по работе j , например оптовая цена единицы строительной продукции; φ_i - фонд времени работы оборудования вида i .

Модель (14)-(16) отражает возможности наличного парка основного технологического оборудования и фиксированного фонда времени его работы; с ее помощью определяется производственная мощность, наилучшим образом соответствующая этому парку и его возможностям.

Далее в диссертации излагается методология реализации одно- и много продуктовых моделей мощности наличного парка основного технологического оборудования.

Для реализации стратегии однопродуктовых моделей приняты три базовых варианта.

Расчет однопродуктовых моделей мощности

Базовая модель 1. Для каждого значения параметра b из отрезка $0 \leq b \leq b'$ найти набор $x=(x_i)$ целых положительных чисел, на котором достигается наилучшее значение показателя эффективности производства $F(x)$ при обязательном выполнении $y(x) \leq b$ и возможных ограничениях на размер потребляемых ресурсов $d_p(x)$, $p=1, \dots, p'$, включая степень загрузки отдельных групп или видов строительного оборудования. Здесь $y(x)$ находится по (16). Всякий оптимальный (в смысле данного выше определения) относительно $F(x)$ комплект $x=(x_i)$ является также оптимальным по Парето относительно $F(x)$ затрат любых видов ресурсов $d_p(x)$, т. е. нельзя улучшить $F(x)$ без увеличения этих затрат, и, наоборот, нельзя

уменьшить эти затраты, не ухудшив $F(x)$. Следовательно, множество решений однопараметрической задачи (14) совпадает с множеством решений следующей многопараметрической задачи расчета оптимальной мощности строительного предприятия.

Базовая модель 2. Найти такие наборы $x=(x_i)$ целых положительных чисел, на каждом из которых достигается наилучшее значение критериального показателя $F(x)$ при условии $y(x) \leq b'$ и параметрических ограничениях $d_p(x) \leq D_p, p=1, \dots, p'$, с параметрами D_p , пробегающими независимо лучи $D_p \leq 0$. Упорядочив решения любой из этих задач, т. е. расположив оптимальные комплекты $x_0 - (x_i^0)$ в порядке возрастания $y(x_0)$, получают искомый размерный ряд оптимальных мощностей строительного предприятия.

Базовая модель 3. Для каждого значения b из отрезка $0 \leq b \leq b'$ найти все такие наборы $x=(x_i)$ целых положительных чисел, чтобы выполнялись ограничения модели 1 и каждый набор был оптимален по Парето относительно двух критериев: $F_1(x)$ и $F_2(x)$. При этом вводится понятие «средний коэффициент загрузки $\beta(x)$ » искомого комплекта $x=(x_i)$, взвешенный по суммарной стоимости c_i входящего в него оборудования и занимаемых им производственных площадей

$$\beta(x) = \frac{\sum_{i=1}^m c_i x_i \alpha_i(x)}{\sum_{i=1}^m c_i x_i} \quad (17)$$

Здесь через:

$$\alpha_i(x) = \frac{y(x)}{a_i x_i} \quad (18)$$

обозначен коэффициент загрузки строительного оборудования вида i (индивидуальный коэффициент загрузки). Очевидно, значения $\alpha_i(x)$ и $\beta(x)$ находятся между 0 и 1. В принятых обозначениях показатель фондоотдачи $\gamma(x)$:

$$\gamma(x) = e y(x) / c(x) \quad (19)$$

где e - стоимость единицы продукции, а $c(x) = \sum_{i=1}^m c_i x_i$ - общая стоимость фондов.

Из (17) с учетом (18) и (19) следует: $\beta(x) = \gamma(x) / \sum_{i=1}^m c_i / e a_i$ (20)

где $\sum_{i=1}^m c_i / e a_i$ - константа, не зависящая от выбираемого комплекта $x = (x_i)$ и определяемой им мощности $y(x)$. Обозначив эту константу через $1/\gamma^{\max}$ и, записав (18) в виде: $\alpha_i(x) = \beta(x) \gamma^{\max}$, получают, что γ^{\max} - максимально возможное при заданных условиях значение фондоотдачи $\gamma(x)$, которое достигается при уровне мощности, обеспечивающем полное использование всех видов оборудования и строительных механизмов.

Используя $\gamma(x)$ в качестве критерия оптимальности базовой модели 1, а также конкретизируя систему ее условий, например, вводя ограничения на допустимые уровни загрузки групп или видов оборудования, получаем модель на максимум фондоотдачи.

Методология расчета многопродуктовых моделей мощности строительного предприятия заключается в следующем:

Расчет многопродуктовых моделей мощности

Для адекватного описания необходимо модифицировать модель:

-оптимизировать: $\Phi(z, x)$ (21)

-при условиях: $\sum_{j=1}^n a_{ij} z_j \leq f_i x_i, i=1, \dots, m$ (22)

$b_j' \leq z_j \leq b_j^0, j = 1, \dots, n$ (23)

Здесь x_i - уже не жестко фиксированные, а управляемые параметры, определяющие количество единиц используемого строительного оборудования, а $\Phi(z, x)$ - нелинейная функция от $z=(z_j)$ и $x=(x_i)$. Решая задачу (21)-(23) при различных x_i , найдем серию оптимальных планов, каждый из которых может рассматриваться как некоторая ступень многопродуктовой мощности, определяемая комплектом оборудования $x=(x_i)$. При этом упорядочиваются мощности по суммарному значению их натуральной $z = \sum_{j=1}^n z_j$, либо приведенной $z' = \sum_{j=1}^n e_j z_j$ величине. Затем выбираются только те значения, которые монотонно улучшают критерий $\Phi(z, x)$, далее строим размерный ряд оптимальных многопродуктовых мощностей. Обозначая через z максимально возможный объем СМР (производственную мощность), приходят к выражению $z = \min_{1 \leq i \leq m} f_i / a_i \bar{x}_i$.

На оптимальном решении полученной линейной задачи некоторые ограничения обратятся в равенства и зафиксируют «узкие места», препятствующие дальнейшему росту мощности. Для их ликвидации следует увеличить количество единиц соответствующего оборудования, т. е. перейти к следующему комплекту $x'=(x'_i)$, например, по правилу:

$$x'_i = \begin{cases} x_i^0, & \text{если } \sum_{j=1}^n a_{ij} z_j^0 \leq f_i x_i^0, \\ x_i^0 + 1, & \text{если } \sum_{j=1}^n a_{ij} z_j^0 = f_i x_i^0, \end{cases} \quad (24)$$

где $z^0=(z_j^0)$ — оптимальное решение задачи при $(x_i) - (x_i^0)$.

Правило (24) перехода к новому комплекту строительного оборудования не является единственно возможным. Например, не обязательно «расширять» сразу все «узкие места» - достаточно хотя бы одно из них. Для рассматриваемого алгоритма, так же как и в однопродуктовом случае, легко указать верхнюю оценку общего числа итераций Q , необходимых для полного решения задачи:

$$Q \leq \left\{ \sum_{i=1}^m \left[- \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j'' / f_i \right] \right\} - X^0 \quad (25)$$

где $[z]$ - целая часть z ; X_0 - количество оборудования в начальном комплекте.

После этого проводится **обоснование оптимального варианта многопродуктовых производственных мощностей в строительстве.**

Принимается, что в технологическом процессе строительного производства данной работы используется m видов основного оборудования. Единица оборудования вида i характеризуется годовым фондом времени работы Φ_i , трудоемкостью f_i выполнения технологической операции и др. показателями. Через x_i обозначается искомое количество единиц оборудования i в любом комплекте $x=(x_i)$, а через y - возможный объем работ. На этом комплекте приходят к соотношениям, выражающим взаимосвязь данных величин:

$$f_i y \leq \Phi_i x_i, \quad i = 1, \dots, m. \quad (26)$$

Производство работ является функцией оборудования, т. е. $y(x)$ находят как:

$$0 \leq y(x) \leq (\Phi_i / f_i) \quad i = 1, \dots, m. \quad (27)$$

Откуда следует, что при данном комплекте оборудования $x=(x_i)$ максимально возможное производство работ или производственную мощность $y(x)$ находят как:

$$\hat{y} \Leftarrow \min_{1 \leq i \leq m} \Phi_i / f_i x_i \quad (28)$$

Равенство (28) представляет собой запись известного факта: максимальная мощность или производительность любого комплекта оборудования определяется производительностью наиболее «узкого» его звена (или звеньев - минимум $a_i x_i$ может достигаться и при нескольких значениях i). Ликвидируя проблемные звенья и добиваясь максимального использования создаваемых таким образом комплектов, получают последовательность величин $y(x)$, образующую размерный ряд производственных мощностей $\{y(x)\}$. Таким образом, комплект оборудования $x_0 = (x_i^0)$ и определяемая им мощность $y(x_0)$ являются оптимальными для избранного показателя эффективности, если не существует комплекта с меньшим уровнем мощности, но с лучшим значением рассматриваемого критерия. В результате приходят к общей модели расчета разнородных мощностей оборудования при производстве СМР.

Модель 1. Для каждого значения параметра b из отрезка $0 \leq b \leq b'$ найти такой набор $x = (x_i)$ целых положительных чисел, на котором достигается наилучшее значение показателя эффективности строительного производства $F(x)$ при обязательном выполнении $y(x) \leq b$ и возможных ограничениях на размер потребляемых ресурсов $d_p(x)$, $p = 1, \dots, p'$, включая в их число степень загрузки отдельных групп или видов строительной техники и оборудования.

Модель 2. Найти такие наборы $x = (x_i)$ целых положительных чисел, на каждом из которых достигается наилучшее значение критериального показателя $F(x)$ при условии $y(x) \leq b'$ и параметрических ограничениях $d_p(x) \leq D_p$, $p = 1, \dots, p'$, с параметрами D_p , пробегающими независимо лучи $D_p \geq 0$.

Модель 3. Для каждого значения параметра b из отрезка $0 \leq b \leq b'$ найти все такие наборы $x = (x_i)$ целых положительных чисел, чтобы выполнялись ограничения модели 1 и каждый набор был оптимален по Парето относительно двух критериев: $F_1(x)$ и $F_2(x)$.

В однопродуктовом случае при фиксированных технико-экономических показателях применяемого оборудования уровень отдачи прямо пропорционален степени его использования. Для характеристики последней введем средний коэффициент $\beta(x)$ загрузки искомого комплекта $x = (x_i)$, взвешенный по суммарной стоимости c_i входящего в него оборудования и занимаемых им производственных площадей:

$$\beta(x) = \frac{\sum_{i=1}^m c_i x_i \alpha_i(x)}{\sum_{i=1}^m c_i x_i} \quad (29)$$

Здесь через: $\alpha_i \Leftarrow \hat{y} \Leftarrow a_i x_i$ (30)

При этом для показателя фондоотдачи может быть записано:

$$\gamma \Leftarrow e y \Leftarrow c(x) \quad (31)$$

где e - стоимость единицы продукции, а $c(x) = \sum_{i=1}^m c_i x_i$ - общая стоимость фондов.

Далее, показано, что максимально возможное при заданных условиях значение фондоотдачи $\gamma^{\max} \Leftarrow$ достигается при уровне мощности, обеспечивающем использование всех видов оборудования.

Из (29) с учетом (30) и (31) следует: $\beta \Leftarrow \gamma \Leftarrow \sum_{i=1}^m c_i / e a_i$ (32)

где $\sum_{i=1}^m c_i/ea_i$ - константа, не зависящая от выбираемого комплекта $x=(x_i)$ и определяемой им мощности $y(x)$. Обозначив эту константу $1/\gamma^{\max}$ и записав (31) в виде $\gamma \leq \beta \gamma^{\max}$, видим, что γ^{\max} - максимально возможное при заданных условиях значение фондоотдачи $\mathcal{Y}(x)$, которое достигается при уровне мощности, обеспечивающем полное использование всех видов оборудования.

Для получения размерного ряда многопродуктовых производственных мощностей применяется освоенная практикой текущего отраслевого планирования модель расчета оптимальной мощности предприятия:

-оптимизировать:
$$\Phi(z) = \sum_{j=1}^n e_j z_j \quad (32)$$

-при условиях:
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} z_j \leq \varphi_i, \quad i=1, \dots, m, \quad (33)$$

$$b_j \leq z_j \leq b_j^0, \quad j = 1, \dots, m, \quad (34)$$

Для адекватного описания этого необходимо модифицировать модель (32)-(34):

-оптимизировать:
$$\Phi(z, x) \quad (35)$$

-при условиях:
$$\sum_{j=1}^n a_{ij} z_j \leq f_i x_i, \quad i=1, \dots, m, \quad (36)$$

$$b_j \leq z_j \leq b_j^0, \quad j = 1, \dots, n, \quad (37)$$

где x_i - целые неотрицательные числа.

Решение задачи (35)-(37) при заданных значениях x_i , позволяет найти серию оптимальных планов, каждый из которых может рассматриваться как некоторая ступень многопродуктовой мощности, определяемая комплектом оборудования $x=(x_i)$. Упорядочив мощности по суммарному значению их натуральной $z = \sum_{j=1}^n z_j$ либо приведенной $z' = \sum_{j=1}^n e_j z_j$ величины (e_j - коэффициенты приведения), получают размерный ряд многопродуктовых мощностей. Выбирая из него только те значения, которые монотонно улучшают принятый критерий $\Phi(z, x)$, строят размерный ряд оптимальных многопродуктовых мощностей.

Завершающим этапом работы являлось решение задач *оптимального календарного планирования расписания строительного производства с использованием метрических пространств при использовании перспективных средств автоматизации и механизации. Важным этапом являлось исследование их сравнительной эффективности в решении задач календарного планирования с использованием разных маршрутов.*

При заданном множестве работ $d_i (i=1, 2, \dots, n)$ и группе бригад, которыми они могут быть выполнены, работа d_i проходит совокупность операций $O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im}$, которые должны выполняться в строго определенной последовательности (задан технологический маршрут M_i выполнения работы d_i). Обычно исходная информация по технологии выполнения работ задается в виде упорядоченной последовательности чисел, называемой технологической матрицей:

$$T = \| \| n_{ij}, t_{ij} \| \|, \quad (38)$$

каждый элемент, которой представляет упорядоченную пару чисел. Символ n_{ij} обозначает номер бригады, которой выполняется j -я операция i -ой работы, а t_{ij} - детерминированное время обработки.

Решение задачи календарного планирования обычно представлено в виде матрицы запуска работ:

$$A = \| n_{ij}, T_{ij} \|, \quad (39)$$

где (n_{ij}, T_{ij}) - упорядоченная пара чисел, которая находится на пересечении i -ой строки и j -го столбца и обозначает, что j -я по порядку обработки операция i -ой работы запускается в производство в момент времени T_{ij} бригадой с номером n_{ij} . Расписание, удовлетворяющее этим ограничениям, считаем допустимым. Если множество допустимых расписаний обозначить через D , то задача календарного планирования - нахождение такого расписания A^* из множества D , которое минимизировало бы принятый критерий:

$$K(A^*) = \min_{A \in D} K(A), \quad (40)$$

Под поиском понимается процесс определения хотя бы одного расписания A_ε^* из множества допустимых расписаний D , которое близко к оптимальному, т.е. $K(A_\varepsilon^*) = \min_{A \in D} K(A) + \varepsilon$, где $\varepsilon > 0$ - наперед заданное число.

В методе ненаправленного случайного поиска есть два важных этапа: моделирование последовательности случайных расписаний $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$, где любое ξ_i может моделироваться многократно; выделение из случайных реализаций наилучшего расписания, которое является приближением к оптимальному. Основным недостатком ненаправленного случайного поиска - медленная сходимость к оптимуму. Поэтому лучше применяются методы направленного случайного поиска, в процессе реализации которого используется понятие окрестности $U(A)$ расписания A . Наиболее просто понятие окрестности в метрических пространствах, поэтому для описания $U(A)$ вводится понятие расстояния ρ между двумя расписаниями из D , точнее на произведении $D \times D$ определяют числовую функцию ρ , обладающую свойствами:

для любых $A_i, A_j \in D$ $\rho(A_i, A_j) > 0$ при $A_i \neq A_j$;

для любых $A_i, A_j, A_k \in D$ $\rho(A_i, A_j) = 0$; $\rho(A_i, A_j) + \rho(A_j, A_i) \geq \rho(A_i, A_k)$.

Затем определяется R -окрестность $U_R(A)$ для любого $A \in D$ как множество расписаний $A_i \in D$, удовлетворяющих условию $\rho(A, A_i) \leq R$; другими словами:

$$U_R(A) = \{ A_i \in D \mid \rho(A, A_i) \leq R \} \quad (41)$$

В дальнейшей логической цепочке определяется алгоритм случайного поиска, при котором моделировались N_n раз случайные расписания, при которых все расписания были бы равновероятны. Затем находилось расписание A_n^* такое, что:

$$K(A_n^*) = \min_S K(A_n^s) \quad (42)$$

Если оказывалось, что $K(A_n^*) \geq K(A_n)$, то A_n принималось за локальный оптимум. Если $K(A_n^*) < K(A_n)$, то в качестве исходного расписания принималось A_n^* и процесс

продолжался.

В диссертации приведено подробное описание применения положений цепной метрики M_1 , лексикографической метрики M_2 и инверсной метрики M_3 .

Таким образом, *синтезирован алгоритм выбора рациональных вариантов различных технологий производства СМР на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации по параметрам качества с совмещением поиска эталонных показателей новых технологических процессов при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности, позволяющий выявить общие закономерности функционирования путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений в строительстве различной организации и сложности.*

В шестой главе «Информационная модель обеспечения строительного-монтажных работ в условиях формирования сложных производственных структур» рассматриваются основные подходы к разработке информационной модели управления производством по параметрам рациональных вариантов организации с учетом результатов контроля качества по параметрам минимальных сроков реализации строительного проекта, а также аналитический расчет эффективности предложенных моделей и алгоритмов.

Для реализации разработанных моделей и алгоритмов автором создан универсальный программный комплекс, обеспечивающий заданный уровень качества управления СМР (ССПС). Укрупненная структура инструментария, входящих в предлагаемый набор программных средств, приведена на рис. 8.

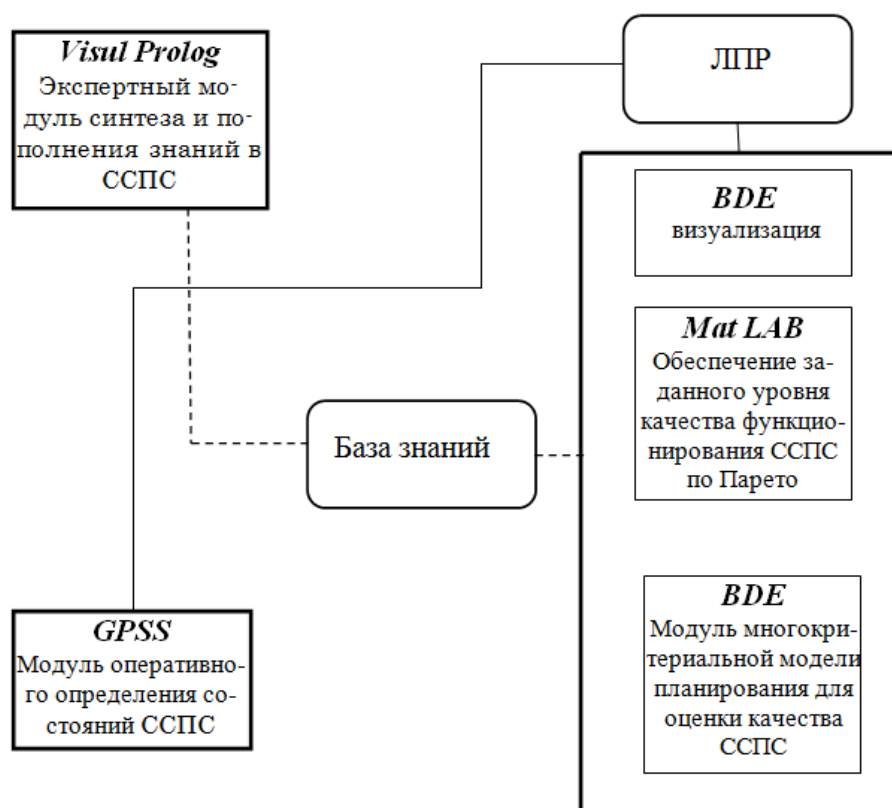


Рис. 8. Инструментальные компоненты модели

Результаты календарного планирования при определении требуемых вариантов организации ССПС по Парето - эффективным оценкам отображаются в базе данных в программе BDE, в которой реализованы задачи поиска вариантов организации элементов ССПС по параметрам качества с наследованием. План i -го варианта организации элементов ССПС рождается на базе плана $i-1$ -го, а план следующего эксперимента базируется на текущем.

Прогнозирование загрузки элементов ССПС с минимальной погрешностью результатов вычислений, возникающих при допущении о Гауссовом распределении, позволяющее определять состояния строительного предприятия, реализовано в среде GPSS. При моделировании получены гистограммы распределения частот требуемых исходов загрузки элементов ССПС, подтверждающие их снижение за счет перераспределения и внедрения робототехнических средств в среднем на 28%.

Экспертная модель синтеза и пополнения знаний для представленной структуры, позволяющая получать оптимальную по Парето структуру базы знаний за счет использования строгих ограничений на принципы мотивации выбора агентов, реализована в системе искусственного интеллекта Visual Prolog-7.7.

Полученная в ходе проведенного эксперимента спектральная характеристика подтверждает гипотезу о том, что полученная функция выбора удовлетворяет свойствам наследования, согласия и независимости от отвергнутых альтернатив, отвечает механизму Паретовой оптимизации.

Алгоритм принятия управленческих решений для предприятия, позволяющий получить решение за минимальное число шагов на основе процедур адаптивного формирования опорной выборки положительного опыта, реализован в среде MatLAB.

Проведена аналитическая оценка эффективности разработанных мероприятий по повышению организационно-технологической надежности строительного производства - повышение в среднем составило 11% при заданном качестве выполнения СМР, что доказывает эффективность разработанных методов и способов нашего исследования.

Таким образом, получена *модель информационного обеспечения строительномонтажных работ в условиях формирования сложных производственных структур позволяющая обеспечить выполнение сетевых графиков производства на всех этапах жизненного цикла строительства за счет применения совмещенных программных модулей: планирования (GPSSWorld), диспетчерского управления (SCADA - TraceMOD) и контроля качества строительного производства по критерию организационно-технологической надежности.*

В томе приложений приводятся документы о внедрении и практической реализации предложенных моделей в практике работы конкретных строительных организаций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Создана комплексная система методов и способов повышения организационно-технологической надежности при выборе вариантов производства строительномонтажных работ, включающая разработанные новые модели и механизмы, доказанные теоретические положения и составленные организационно-технические алгоритмы строительного производства.

2. Разработаны новые модели и механизмы:

- выбора вариантов производства строительно-монтажных работ по критериям минимизации средств исполнителя и срокам выполнения всего комплекса СМР и позволяющая получать производственную программу предприятия, реализуемую с наименее возможными затратами с учетом свойства выпуклости функции затрат, что дает возможность существенно упростить процедуру получения решения, отличающаяся тем, что часть зависимостей между работами носит рекомендательный характер, то есть может быть нарушена, что сопровождается увеличением затрат, но позволяет получать оптимальную очередность выполнения строительно-монтажных работ, включенных в производственную программу предприятия;

- составления расписания работ, отличающаяся учетом ограничений на количество используемых ресурсов типа мощности (бригад) при рекомендательных зависимостях между работами, что позволяет получить зависимость продолжительности проекта от дополнительных затрат;

- прогнозирования и оптимизации параметров технологических процессов для систем организации строительства и его производственной базы с применением перспективных технологий при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности, позволяющий определить рациональные варианты организации работ в динамике за счет использования имитационного моделирования по параметрам организационно-технологической надежности;

- организации инвестиционной деятельности в форме капитальных вложений при применении перспективных технологий в строительстве, обеспечивающая оптимальный машинный парк строительной компании при реализации проекта за счет применения нейросетевых алгоритмов обработки знаний в условиях неопределенности;

- семантическая модель представления знаний для выбора способов возведения элементов строительных конструкций с определением рациональных вариантов организации производства, позволяющая обеспечить согласованность в разнотипных шкалах пространства неоднородных признаков, за счет использования процедуры ускоренного распознавания при множестве вариантов, что позволяет избежать основного недостатка – падения эффективности, а также привязать ее для определения рациональных вариантов сетевых графиков организации строительства;

- информационного обеспечения строительно-монтажных работ в условиях формирования сложных производственных структур, позволяющая обеспечить выполнение сетевых графиков производства на всех этапах жизненного цикла строительства за счет применения совмещенных программных модулей: планирования (*GPSSWorld*), диспетчерского управления (*SCADA - TraceMOD*) и контроля качества строительного производства по критерию организационно-технологической надежности.

3. Теоретически доказаны положения:

- о минимальных сроках завершения работ, позволяющее получать критерий сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации продолжительности выполнения комплекса строительно-монтажных работ;

- о минимальной оценке качества организации строительно-монтажных работ, позволяющее получить доверительные области при анализе эталонных показателей организации технологических процессов в строительстве, методики их определения, а

также обоснования связи их характеристик с параметрами эталонов для выполнения каждой работы календарного графика.

4. Составлены алгоритмы:

- выбора рациональных производственных структур с использованием перспективных технологий в строительстве при наличии различных критериев оценки эффективности и нечетких информативных признаках, позволяющий формировать многоуровневые сетевые графики строительства с возможностью оперативной корректировки фронтов работ;

- выбора способов контроля качества строительно-монтажных работ с использованием квалиметрических методов оценок верхних и нижних границ в многомерных критериальных матрицах показателей качества объектов, что позволяет минимизировать возможные отклонения сроков работ от запланированных;

- выбора рациональных вариантов различных технологий производства строительно-монтажных работ на основе применения высоко-производительных средств механизации и автоматизации по параметрам качества с совмещением поиска эталонных показателей новых технологических процессов при наличии различных несводимых друг к другу критериев оптимальности, позволяющий выявить общие закономерности функционирования путем моделирования и оптимизации организационно-технологических решений в строительстве различной организации и сложности.

5. Созданная комплексная система методов и способов повышения организационно-технологической надежности при выборе вариантов производства строительно-монтажных работ, включающая разработанные новые модели, новые теоретические утверждения, доказанные математически, и составленные алгоритмы организационно-технической надежности строительного производства, внедрена более 20 конкретными предприятиями строительного комплекса в четырех федеральных округах Российской Федерации. Общий экономический эффект от внедрения результатов исследований на март 2020 г. составил свыше 92 млн.руб., что подтверждено соответствующими справками и актами о внедрении.

Рекомендации и перспективы. Полученные в диссертационном исследовании результаты при развитии темы могут быть успешно применены в масштабах отрасли при выборе вариантов производства работ, обеспечивающих минимизацию основных и дополнительных средств, направляемых на сокращение сроков выполнения работ, как в строительных, так и в проектных организациях.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Маилян А.Л.** Разработка алгоритма комплексной оценки поставщиков в ходе реализации проекта//Строительство и архитектура.-Воронеж:Научный вестник ВГАСУ.-2009.-№4(16).-С.130-135.

2. Баркалов С.А. Выбор управленческого решения в условиях неопределенности/Баркалов С.А., **Маилян А.Л.**//Строительство и архитектура. - Воронеж:Научный вестник ВГАСУ.-2009.- №4(16).-С.124-130.

3. Агафонкина Н.В. Эвристические модели распределения ресурсов строительной организации/Агафонкина Н.В., Курочка П.Н., **Маилян А.Л.**// Тула:Известия ТГУ.-2009.- вып.13.-С.195-208.

4. Баркалов С.А. Моделирование процесса формирования производственной программы строительного предприятия/Баркалов С.А., Мизербаев Н.Ф., **Маилян А.Л.**//Тула:Известия ТГУ.-2009.-вып.13.-С.184-195.
5. Дудин А.М. Модель реализации проектов с учетом возможности манипулирования информацией/Дудин А.М., **Маилян А.Л.**, Сычев А.П.// Воронеж:Вестник ВГТУ.-2009.-том 5.-№1.-С.16-20.
6. Агафонкина Н.В. Механизмы комплексного анализа при выборе согласованного варианта проекта/Агафонкина Н.В., Бурков В.Н., **Маилян А.Л.** //Воронеж:Вестник ВГТУ.-2009.-том 5.-№8.-С.128-133.
7. Бурков В.Н. Механизм оптимального определения чередования задач проекта/Бурков В.Н., Кравцов А.Е., **Маилян А.Л.**, Стеганцев Д.Н.//Воронеж: Вестник ВГТУ.-2008.-том 4.-№6.-С.43-47.
8. Маилян А.Л. Модель вертикального агрегирования ресурсов для проектных организаций/**Маилян А.Л.**, Нехай Р.Г.//Экономика и менеджмент систем управления.-№3.2(17).-2015.-С.255-260.
9. Маилян А.Л. Модель выбора рационального варианта технологического процесса строительного производства/**Маилян А.Л.**, Нехай Р.Г.// Экономика и менеджмент систем управления.-№4(18).-2015.-С.72-77.
10. Маилян А.Л. Алгоритм решения обратной задачи распределения неоднородных ресурсов/**Маилян А.Л.**, Нехай Р.Г./Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона», <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3399>,-№4, 2015.
11. Маилян А.Л. Определение частных критериев эффективности субподрядчиков при выполнении строительно-монтажных работ/**Маилян А.Л.**, Нехай Р.Г., Овсянникова А.С.//Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона», <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3400>,-№4, 2015.
12. Зильберова И.Ю. Формирование программ развития с учетом рисков /Зильберова И.Ю., **Маилян А.Л.**//Интернет-журнал «Науковедение» <http://naukovedenie.ru> /Том 7,-№6.-2015.
13. Зильберова И.Ю. Модель экспертного оценивания, основанная на теории измерения латентных переменных/Зильберова И.Ю., **Маилян А.Л.**, Баркалов С.А., Моисеев С.И.//Интернет-журнал «Науковедение» <http://naukovedenie.ru>/Том 7,-№6.-2015.
- 14.Зильберова И.Ю. Оптимизация застройки района с учетом различных ограничений/Зильберова И.Ю., **Маилян А.Л.**, Баркалов С.А., Пинаева М.А.// Интернет-журнал «Науковедение»,Том 7,-№6.-2015 <http://naukovedenie.ru/PDF/121TVN615.pdf>.
15. Зильберова И.Ю. Метод Штифеля в выпуклом программировании/ Зильберова И.Ю., **Маилян А.Л.**, Баркалов С.А., Укусов С.Н./Интернет-журнал «Науковедение»,Том 7,-№6.-2015 <http://naukovedenie.ru/PDF/122TVN615.pdf>
16. Зильберова И.Ю. Задача календарного планирования взаимозависимых проектов с учетом синергетического эффекта их совместной реализации/Зильберова И.Ю., **Маилян А.Л.**, Баркалов С.А.//Интернет-журнал «Науковедение»,Том 7, -№6.-2015 <http://naukovedenie.ru/PDF/123TVN615.pdf>
17. Белоусов В.Е. Алгоритм поиска базового критерия при проектировании сложных технических систем/ Белоусов В.Е., **Маилян А.Л.**// «Строительство и архитектура»,РИОР,Москва,-2019.-Т.7(1).-С.61-65.

18. Баркалов С.А., **Маилян А.Л.**, Строгонова Я.С. Разработка моделей для формирования оптимального расписания строительного-монтажных работ// Экономика и менеджмент систем управления.-№4.3(18).-2015.-С.300-306.

19. Белоусов В.Е. Алгоритм поиска базового критерия при проектировании сложных систем/Белоусов В.Е., **Маилян А.Л.**, Скрипников И.С.//Экономика и менеджмент систем управления.-№1.1(19).-2016.-С.154-159.

20. Баркалов С.А. Автоматизация и управление процессов расчета размерных рядов мощностей в строительном производстве/ Баркалов С.А., **Маилян А.Л.**//Экономика и менеджмент систем управления.-№1.1(19).-2016.-С.149-154.

21. Маилян Л.Р. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства/Маилян Л.Р., Налимова А.В., **Маилян А.Л.**, Айвазян Э.С.//Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона»,-2011,-№ 4.

22. Маилян Л.Р. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон/Маилян Л.Р., **Маилян А.Л.**, Айвазян Э.С.// Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона»,-2013,-№ 3.

23. Маилян Л.Р. Конвейерная технология фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства/Маилян Л.Р., **Маилян А.Л.**, Айвазян Э.С.//Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона»,-2013,-№ 3.

Публикации, индексируемые в базе данных Web of Science и Scopus:

24. Korol E.A., Shushunova N.S., Mailyan A.L. Organizational and Technological Procuring of Roofing Devices with Greening Systems // International science and technology conference «FarEastCon-2019». OP Conference Series: Materials Science and Engineering –2020. - art. no. 032059. - V.753(3) DOI:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/753/3/032059>

25. Zilberova I.Y., Mailyan V.D., Mailyan A.L. Organizational and Technological Stages of the forensic construction and technical expert examination when determining the compliance of a building facility with regulatory and technical documentasion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 698 (2019) 022085. DOI:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022085>

26. Mailyan A.L., Petrosyan R.S. Determination of the optimal option for production of at the convex cost function// E3S Web of Conferences Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019). - art. no. 09039. - V164 (2020). DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016409039>

27. Mailyan A.L., Shushunova N.S. Optimization of the organizational and technological models of the construction and installation works according to the criterion of minimum duration // E3S Web of Conferences Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2019). art. no. 08019. - V164 (2020). DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016408019>

28. Mailyan A.L., Korol E.A., Petrosyan R.S., Antoniadis D.D. Optimal order of construction of facilities in complex development with minimal additional costs//International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, vol.896(MPCPE 2020).DOI:<https://iopscience.iop.org/issue/1757-899/896/1-012052>

29. Mailyan A.L., Afanasiev G.A., Antoniadis D.D., Petrosyan R.S. Formation of optimal performance of works during establishment of the complex of objects optimal sequence of establishing objects complex building//International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, vol.896(MPCPE 2020).DOI:<https://iopscience.iop.org/issue/1757-899/896/1-012053>

Монографии:

30. Баркалов С.А. Исследование систем организационного управления на основе имитационных моделей/Баркалов С.А., Белоусов В.Е., **Маилян А.Л.**// Ростов н/Д.-РГСУ.-2009.- 460 с./Автором выполнено 85с.

31. **Маилян А.Л.** Модели организационно-технологического проектирования при выборе вариантов производства строительного производства работ//Ростов н/Д.-РГСУ.-2010.-154с.

32. Баркалов С.А. Теория и практика имитационного моделирования при управлении социально-экономическими системами/Баркалов С.А., Белоусов В.Е., **Маилян А.Л.**//Воронеж.-Научная книга.-2011.-342с./Автором выполнено 75с.

33. Баркалов С.А. Модели управления конфликтами и рисками/ Баркалов С.А., Новиков Д.А., **Маилян А.Л.**//Воронеж.-Научная книга.-2008.-495с. /Автором выполнено 83с.

34. **Маилян А.Л.** Модели и алгоритмы организационно-технологической надежности при планировании и организации строительного производства /**Маилян А.Л.**, Нехай Р.Г./ Ростов н/Д.-БАРА.-2015.-116с./Автором выполнено 33с.

35. **Маилян А.Л.** Модели и методы организации инвестиционной деятельности в строительном комплексе в форме капитальных вложений/**Маилян А.Л.**, Янин А.Г./Ростов н/Д.-БАРА.-2016.-127с. /Автором выполнено 35с.

36. **Маилян А.Л.** Система методов и способов повышения надежности организационно-технологического проектирования при выборе вариантов производства строительного производства работ//Ростов н/Д.-БАРА.-2020.-254с.

Справочники:

37. Справочник современного строителя/Маилян Л.Р., Белецкий Б.Ф., **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2008.-452с./Автором выполнено 13с.

38. Справочник современного проектировщика/Маилян Л.Р., Чмшкян А.В, **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2008.-566с./Автором выполнено 15с.

39. Справочник современного изыскателя/Маилян Л.Р., Куштин И.Ф., **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2006.-302с./Автором выполнено 15с.

40. Справочник современного организатора строительного производства/ Маилян Л.Р., Хежев Т.А., **Маилян А.Л.** и др.// Ростов н/Д.-Феникс.-2009.-543с. /Автором выполнено 15с.

41. Справочник современного технолога строительного производства/ Маилян Л.Р., Сабанчиев З.М., **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2008.- 490с./Автором выполнено 22 с.

42. Справочник современного механизатора строительного производства /Маилян Л.Р., Сабанчиев З.М., **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2012.-248с./Автором выполнено 25с.

43. Справочник современного инженера жилищно-коммунального хозяйства/Маилян Л.Р., Шеина С.Г., **Маилян А.Л.** и др.// Ростов н/Д.-Феникс.- 2006.-349с./Автором выполнено 25с.

44. Документация в строительстве/Маилян Л.Р., Хежев Т.А., **Маилян А.Л.** и др.//Ростов н/Д.-Феникс.-2011.-302с./Автором выполнено 35с.

В других изданиях:

45. Врублевская С.С. Определение рациональных вариантов закупок на основе сетевой модели/Врублевская С.С, Потапов С.Ю., **Маилян А.Л.**// Ставрополь:Материалы XXXVII конференции СКГТУ.-2008.-том 3.-С.72-77.

46. **Маилян А.Л.** Модель определения вариантов выполнения работ на объектах//Теория систем и системный анализ//Воронеж.-Научная книга.-2009.- С.166-173.

47. **Маилян А.Л.** Модель определения вариантов работ на объектах// Системный анализ и принятие решений//Воронеж.-Научная книга.-2009.-С.217-225.

48. **Маилян А.Л.** Разработка оптимальной последовательности размещений единиц проектирования во времени/**Маилян А.Л.**, Янин А.Г. //Воронеж.-Научный вестник ВГАСУ.-Серия:Управление строительством.-№1(2).-2014.-С.24-29.