

На правах рукописи



Гриднева Ярослава Александровна

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КРУПНОМАСШТАБНЫМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ
НА ПРОТЯЖЕНИИ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

2.1.14 Управление жизненным циклом объектов строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: **Опарина Людмила Анатольевна**, доктор технических наук, доцент, советник РААСН

Официальные оппоненты: **Шейна Светлана Георгиевна**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»

Горбанева Елена Петровна, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доцент кафедры «Технология, организация строительства, экспертиза и управление недвижимостью»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород

Защита состоится 28 февраля 2025 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.300.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного политехнического университета (www.ivgpi.ru).

Автореферат разослан «___» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Касьяненко Наталья Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Тема управления строительными проектами с учётом их жизненных циклов является в настоящее время крайне важной. Особенно это касается крупномасштабных строительных проектов, характеризующихся наличием множества участников, организационных схем взаимодействия, сложностью взаимосвязей между ними, использованием ими различных программных комплексов, большим количеством информации, ресурсов, наличие объектов капитального строительства большой энергетической мощности, усиление межотраслевых и межрегиональных связей. Киевский И.Л.¹ предлагает три критерия структуризации крупномасштабных проектов: объём выполняемых работ, млрд. руб. (1 – более 10 млрд. руб.), объём выполняемых работ тыс. кв. м. (100 – более 1000 тыс. кв.м.), количество одновременно строящихся объектов (10 – более 1000 шт.), количество задействованных организаций и работающих (0,5 – более 1 тыс. чел). Он же отмечает, что реализация крупномасштабных проектов может занимать от 1-2 до 10-15 лет и требует регулярной координации на основе комплексного моделирования процессов, уточнения проектов, изменения нормативов проектирования, взаимоувязки со сложными проектами и системами. Лapidус А.А.² рассматривает крупномасштабный строительный проект как сложную систему, с позиций системотехники, предполагающей соблюдение нескольких основных принципов существования системы. Таким образом, крупномасштабное строительство является сложным разнородным образованием, для успешного управления которым требуется не менее сложная система принятия решений.

В настоящее время разработано достаточное количество проблемно-ориентированных моделей (имитационных, оптимизационных, экспертных), формирующих информационную базу управленческих решений, направленных на реализацию целевых установок строительных организаций, однако проблема целостности системы управления крупномасштабным строительством с учётом жизненного цикла объектов является недостаточно разработанной. Эмпирически сложившееся на практике разнообразие форм организационного управления строительными проектами в действительности отражает лишь незначительную часть возможных форм организационного управления как функции значений основных системообразующих факторов концептуальной модели такого управления. Переход от традиционных организационных методов управления к созданию организационно-технических систем управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла обусловлен системотехническим характером и сложностью задач управления. Разработка таких систем является неизбежным условием технологического развития. Широкое внедрение технологий информационного моделирования и создание цифровых двойников объектов капитального строительства на протяжении жизненного цикла объектов, диктует необходимость их учёта в разработке системы управления. Особенно это касается крупномасштабных строительных проектов.

Степень разработанности темы исследования. В рамках диссертационной работы осуществлено изучение и обобщение научно-теоретических идей и технических разработок российских и зарубежных исследователей применительно к проблеме моделирования современных сложных организационно-технических систем управления крупномасштабными проектами. Ретроспективный анализ основных исторически обусловленных проектно-управленческих подходов осуществлён автором с точки зрения системотехнического взаимодействия «человек-компьютер» и базируется на работах Китова А.И., Глушкова В.М., Кузнецова П.Г., Торгашева В.А., Водянова В.Г., Вайно А.Э., Кобякова А.А., Сараева В.Н., Калева Литару. Существенный вклад в системотехнику организации и управления

¹ Киевский И.Л. Комплексное моделирование процессов координации и управления крупномасштабными городскими проектами рассредоточенного строительства // дисс.... д-ра технических наук / ФГБОУВО «Национальный исследовательский московский государственный строительный университет». 2021

² Лapidус А.А. Формирование организационно-технологических плат форм в строительстве // Научно-технический журнал «Строительное производство». 2023. №3. С. 80-87.

строительством внесли Балицкий В.С., Волков А.А., Челышков П.Д., Гусаков А.А., Гусакова Е.А., Гинзбург А.В., Грабовый П.Г., Каган П.Б., Лapidус А.А., Олейник П.П., Опарина Л.А., Павлов А.С., Серов В.М., Теличенко В.И., Терентьев О.М., Чулков В.О. и другие исследователи. Внедрению технологий информационного моделирования на протяжении жизненного цикла ОКС посвящены работы Шеиной С.Г., Горбаневой Е.П., Мищенко В.Я., Наумова А.Е., Абакумова Р.Г., Кагана П.Б., Лебедева В.М., Волкова А.А., Федосова С.В., Петрухина А.Б., Федосеева В.Н. и других. Несмотря на значительный объем проделанной теоретической и экспериментальной научной работы, модель сложной организационно-технической системы управления крупномасштабными проектами, учитывающая его жизненный цикл, в настоящее время не создана – в трудах указанных учёных представлены лишь частичные решения. Таким образом, данная проблема является актуальной и требует дополнительных исследований.

Целью исследования является разработка сложной организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла.

Задачи диссертационного исследования:

1. Анализ основных научно-теоретических идей и технических разработок российских и зарубежных исследователей применительно к управлению крупномасштабными проектами, отражающих современное состояние проблемы и жизненные циклы проектов и строительных объектов.
2. Синтез основных научных идей методического характера, соответствующих характеру и уровню сложности исследуемой предметной области.
3. Разработка методики инвариантного описания и построения концептуальной модели сложной организационно-технической системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла, представленной атрибутивно и операционально.
4. Разработка методики контроля целостности системы управления крупномасштабным строительным проектом на протяжении его жизненного цикла.
5. Практическое внедрение полученных теоретических результатов.
6. Определение перспективных направлений дальнейших научных изысканий в исследуемой предметной области.

Объект исследования – организационно-технические системы управления крупномасштабным строительством на протяжении их жизненного цикла. Управление жизненными циклами объектов капитального строительства на всех этапах осуществляется посредством реализации строительных проектов, каждый из которых имеет, в свою очередь, свой жизненный цикл. В рамках диссертационного исследования рассмотрены управленческие процессы на этапах планирования, проектирования, строительства (включая ввод в эксплуатацию объектов капитального строительства).

Предмет исследования – концептуальное моделирование организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами в междисциплинарном смысловом поле в соответствии с прогнозными характеристиками шестого технологического уклада.

Научно-техническая гипотеза состоит в возможности повышения эффективности организации управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении полного жизненного цикла посредством создания организационно-технических систем управления шестого технологического уклада.

Научная новизна исследования.

1. Выделены системообразующие факторы моделирования организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами в междисциплинарном смысловом поле, которые устанавливают связи естественных и социальных процессов в системе управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла.

2. Разработана методика инвариантного описания системы управления крупномасштабными строительными проектами, отличающаяся от существующих методик оценкой большего количества информации разнообразной природы с помощью небольшого числа универсальных показателей различной размерности: Человек, Целеполагание, Знак, Информация, Энергия, Пространство и Время жизненного цикла реализации проектов.

3. Создана концептуальная модель организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла, включающая атрибутивное и операциональное описание. Атрибутивное описание модели состоит в развёрнутом качественном описании выделенных инвариантов. Операциональное описание модели представляет из себя алгоритм тензорного проектирования матрицы управления строительством, применяемый впервые.

4. Разработана методика контроля целостности системы управления крупномасштабными строительными проектами, характеризующая эффективность системы управления как целостность заложенных в ней решений, выражаемых совокупностью любых оценок, адекватно отражающих необходимость и возможность их реализации в течение жизненного цикла проектов.

Теоретическая значимость результатов исследования. Сформированная в рамках системного подхода методика инвариантного описания системы управления крупномасштабными строительными проектами позволяет интерпретировать системообразующие факторы как инварианты концептуального моделирования и применить математический аппарат тензорного анализа.

Практическая значимость и реализация результатов исследования. Представленная автором концептуальная модель может использоваться для широкого класса практических задач многокритериальной оптимизации при создании сложной организационно-технической системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла, что способствует повышению эффективности организации управления в строительстве.

Методология и методы исследования. Методической базой диссертационного исследования являются труды отечественных и зарубежных учёных в области моделирования и адаптации сложных систем, перспективные наработки в области организации управления инвестиционно-строительными проектами. Используются методы и модели теории графов, тензорного анализа, алгебраический аппарат многомерных матриц, методы многокритериальной экспертной оценки, методы прикладной статистики.

Личный вклад автора диссертационного исследования заключается в анализе современного состояния, разработке методики инвариантного описания системы управления крупномасштабными строительными проектами, создаваемой на этапе планирования жизненного цикла проектов. Автором осуществлено выделение свободно интерпретируемых и контекстно независимых факторов концептуального моделирования организационно-технических систем управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла, на «элементной базе» которых построена адекватная концептуальная модель. Разработана методика контроля целостности системы управления крупномасштабными строительными проектами на этапах проектирования и строительства. Предложены технические решения по интеграции централизованной и децентрализованной стратегий управления на базе современных информационных технологий и организации системотехнического взаимодействия «человек-компьютер» в рамках единой вычислительной (цифровой) платформы. В ходе апробации теоретических результатов исследования спроектирована многоуровневая концептуальная модель сложной организационно-технической системы управления конкретным строительным проектом на всех этапах жизненного цикла проекта (планирование, проектирование, строительство) с точки зрения функциональных задач, выявлены перспективные направления дальнейших научных изысканий.

На защиту выносятся:

1. Системообразующие факторы моделирования организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла.

2. Методика инвариантного описания организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла в рамках системного подхода.

3. Концептуальная модель организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла, представленная атрибутивно и операционально.

4. Методика контроля целостности системы управления крупномасштабными строительными проектами.

Степень достоверности результатов исследования. Достаточная степень научной достоверности результатов обеспечивается соответствующим характеру и уровню сложности исследуемой предметной области методологическим подходом автора, использованием методических разработок отечественных и зарубежных учёных в области моделирования и адаптации сложных систем, применением современных достижений отечественной строительной науки и практики в области разработки Автоматизированных систем управления строительством (АСУС), успешной апробацией теоретических результатов диссертационного исследования.

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены на научно-практических конференциях: «Строительство – формирование среды жизнедеятельности 2016», «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании 2017», «Строительство – формирование среды жизнедеятельности 2017», г. Москва; XXI ISC on Advanced in Civil Engineering «Construction – The Formation of Living Environment» 25-27.04.2018, Moscow; Всероссийская научная конференция «Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019» г. Москва, МГСУ; IX Международная научно-практической конференция «Технологии, организация и управление в строительстве – 2023» (ТОMiC-2023), Moscow, MGSU. Экспериментальное внедрение результатов исследования выполнено в рамках крупномасштабного инвестиционно-строительного проекта «Агропромышленный комплекс в Бутурлиновском районе Воронежской области», что позволило увеличить экономическую эффективность системного использования инвестиционного капитала в 3,5 раза. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс бакалавров и магистров направления «Строительство» ИВГПУ.

Публикации. Научные результаты достаточно полно изложены в 16 научных публикациях, из которых 3 работы опубликованы в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и 1 работа опубликована в журнале, индексируемом в международной реферативной базе Scopus.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка литературы 200 наименований и 5 приложений. Её содержание изложено на 180 страницах, насчитывает 17 таблиц, 27 рисунков. **Содержание диссертации соответствует пп. 2, 3, 4 Паспорта специальности 2.1.14. – «Управление жизненным циклом объектов строительства».**

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены все основные характеристики диссертационного исследования. Обоснована актуальность выбранной темы, уточнены основные понятия, сформулирована исследуемая проблема. Описаны методология, методы, цели и задачи исследования. Выдвинута научно-техническая гипотеза. Определены объект, предмет, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Конкретизирован личный вклад автора и положения, выносимые на защиту. Обоснована достаточная степень

научной достоверности полученных результатов. Приведены необходимые сведения об апробации работы, выполненные по заявленной теме публикациях, а также о структуре и объёме диссертационного исследования.

В первой главе осуществлено изучение и обобщение научно-теоретических идей и технических наработок российских и зарубежных исследователей применительно к исследуемой предметной области. Жизненные циклы строительных проектов трактуются в разных источниках по-разному, поэтому целесообразно использовать определение жизненного цикла проекта в формулировке нормативного документа ГОСТ Р ИСО 21500-2014 «Национальный стандарт Российской Федерации. Руководство по проектному менеджменту» (утв. Приказом Росстандарта от 26.11.2014 № 1873-ст), раздел 3.10 «Жизненный цикл проекта»: «...жизненный цикл проекта охватывает период времени от начала проекта до его планового окончания или до срочного прекращения...». Жизненные циклы строительных проектов неразрывно связаны с жизненными циклами объектов капитального строительства. Согласно СП 333.1325800.2020 этапы жизненного цикла объекта капитального строительства – временные периоды, в течение которых осуществляются инженерные изыскания, архитектурно-строительное проектирование (включая прохождение экспертизы), строительство (включая ввод в эксплуатацию), эксплуатация (включая текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос и утилизация объекта капитального строительства (ликвидация – для производственных объектов) (рис. 1).

Полный жизненный цикл объекта капитального строительства					
Жизненный цикл строительного проекта			Эксплуатация	Реконструкция (при необходимости)	Демонтаж (снос)
Планирование	Проектирование	Строительство			
<ul style="list-style-type: none"> - инвестиционный замысел - моделирование системы управления проектом - инженерные изыскания - выбор земельного участка - общественные слушания, экологическая экспертиза 	<ul style="list-style-type: none"> - архитектурно-строительное проектирование - организационно-технологическое проектирование 	<ul style="list-style-type: none"> - организационная подготовка к строительству - проведение строительно-монтажных работ - проведение пусконаладочных работ - ввод объекта в эксплуатацию 	<ul style="list-style-type: none"> - эксплуатация объекта - техническое обслуживание объекта - мониторинг объекта - проведение текущих и капитальных ремонтов 	<ul style="list-style-type: none"> - архитектурно-строительное проектирование реконструкции объекта - организационно-технологическое проектирование реконструкции объекта - организационная подготовка к реконструкции - проведение работ по реконструкции - повторный ввод объекта в эксплуатацию 	<ul style="list-style-type: none"> - проект организации работ по демонтажу объекта - рециклинг строительных материалов, изделий и конструкций

Рис.1. Жизненный цикл строительных проектов в общем жизненном цикле объекта капитального строительства

В контексте сформулированной проблемы наибольший исследовательский интерес представляют следующие проектно-управленческие решения: организационные методы управления строительством, МПЭ (метод повышения эффективности), ОГАС («Общегосударственная автоматизированная система учёта и обработки информации»), PERT (Project Evaluation and Review Technique), СПУТНИК-СКАЛАР, КОМПАС, BIM (Building Information Modeling), НООСКОП, GDELT (The Global Data base of Events, Language and Tone). По результатам анализа выделены системообразующие факторы концептуального моделирования сложной организационно-технической системы управления крупномасштабными проектами на протяжении их жизненного цикла в междисциплинарном смысловом поле в соответствии с прогнозными характеристиками шестого технологического уклада, а именно: Человек, Целеполагание, Знак, Информация, Энергия, Пространство, Время.

Во второй главе осуществлён непротиворечивый синтез основных научных и теоретических направлений в области междисциплинарного исследования сложных систем, соответствующих специфике и уровню сложности исследуемой предметной области:

- метод восхождения от абстрактного к конкретному;

- положения системного анализа и системной инженерии;
- системотехника строительства;
- СМД-методология управления Щедровицкого Г.П.;
- методы работы с понятийными конструктами в рамках концептуального анализа, синтеза и проектирования систем управления Никанорова С.П.;
- тензорная теория целостного проектирования сложных крупномасштабных систем в терминах универсальных пространственно-временных мер $[L^R T^S]$ -размерностей Максвелла-Бартини-Кузнецова;
- теория природоподобия и влияние природных физических факторов;
- современные информационные технологии «Интернет вещей» и «Распределённый реестр» и организации системотехнического взаимодействия «человек-компьютер» в рамках социокибернетического подхода Глушкова В. и Лумана Н.;
- логика управления проектами (РМВОК).

На основе синтеза указанных научных идей автором разработана методика инвариантного описания системы управления крупномасштабными строительными проектами, формирующая междисциплинарное смысловое поле общесистемных понятий, позволяющее интерпретировать выделенные в первой главе системообразующие факторы концептуального моделирования как некие инвариантные (неизменно действующие) объекты – соответствующие сущности исследуемой предметной области и в дальнейшем называемые автором «инвариантами моделирования».

В третьей главе представлена разработанная концептуальная модель исследуемой предметной области – система сущностных понятий, определяющая качественные аспекты и закономерности функционирования системы управления как единого целого. Системотехническое описание организационно-технической системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла представлено на рис. 2.

Представленная концептуальная модель включает атрибутивное (инвариантное) и операциональное (алгоритмическое) описание и методику контроля целостности проектируемой системы. Для обозначения природоподобной сути представленной модели уточнено понятие Матрицы управления строительством – как эквивалентной исследуемой предметной области природоподобной геометрической модели, отражающей взаимообусловленность протекающих информационных процессов и топологической структуры системы управления. Атрибутивное представление Матрицы управления состоит в развёрнутом качественном описании выделенных инвариантов (факторов) концептуального моделирования, а именно: Человек (**Ψ**), Целеполагание (**С**), Знак (**Z**), Информация (**I**), Энергия (**E**), Пространство (**L**), Время (**T**). Атрибутивное представление Матрицы позволяет детально описать замысел моделирования исследуемой предметной области, который заключается в оптимизации всех информационных потоков системы управления крупномасштабным строительством на основе природоподобия в соответствии с критерием целостности.

Основой операционального представления Матрицы является параметрически заданное описание её структуры:

$$\begin{cases} y(t) = S(t) \cdot x(t) \\ S(t) = M(t) \cdot \mu \\ M(t) = \{(V_{\Psi j} \cdot \Psi) \cdot (V_{Cj} \cdot C) \cdot (V_{Zj} \cdot Z) \cdot (V_{Ij} \cdot I) \cdot (V_{Ej} \cdot E) \cdot (V_{Lj} \cdot L) \cdot (V_{Tj} \cdot T)\} \end{cases} \quad (1)$$

где: $x(t)$ – входящий сигнал в момент времени t ;

$y(t)$ – выходящий сигнал в момент времени t ;

$S(t)$ – состояние системы в момент времени t ;

$M(t)$ – матрица управления;

μ – мультитензор преобразования (соединения);

$\{\Psi, C, Z, I, E, L, T\}$ – инварианты системы;

$\{V_{\Psi_j}, V_{C_j}, V_{Z_j}, V_{I_j}, V_{E_j}, V_{L_j}, V_{T_j}\}$ – операторы инвариантов из возможного множества j разновидностей операторов для каждого инварианта ($j = 1, 2, \dots, n$);

«*» – знак гиперкомплексного взаимодействия (между системами).

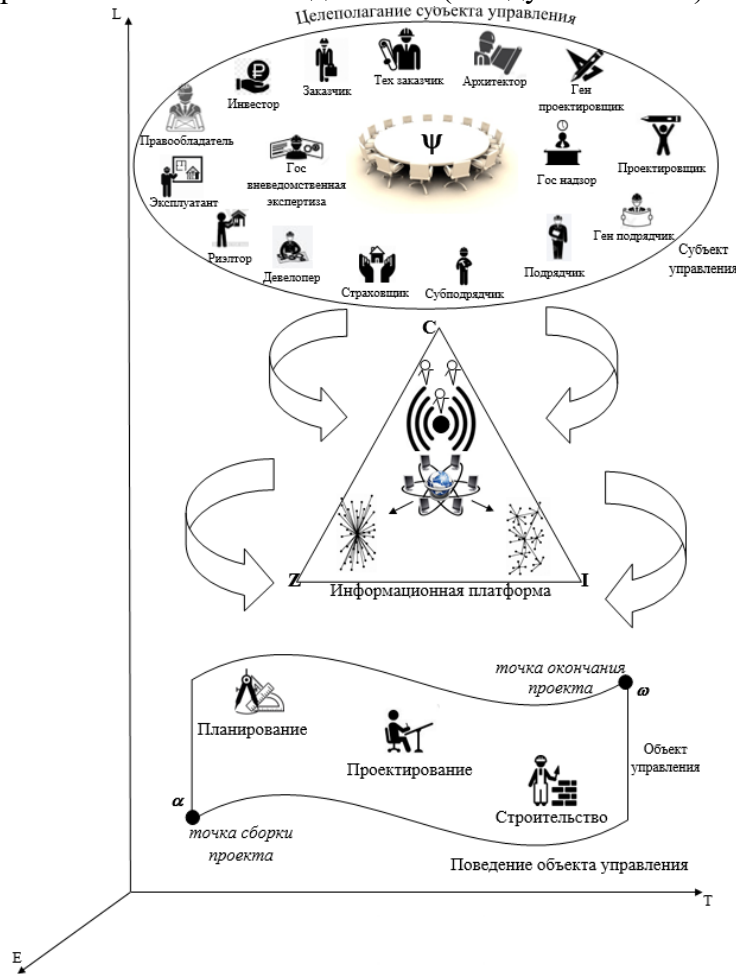


Рис. 2. Системотехническое описание организационно-технической системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла

В технологическом смысле, Матрицу управления можно рассматривать как открытый проточный канал переноса информации во времени и пространстве, который должен обеспечивать требуемую пропускную способность для свободной циркуляции информационного потока. Посредством универсальных пространственно-временных мер $[L^R T^S]$ -размерностей выделенные инварианты $\{\Psi, C, Z, I, E, L, T\}$ системы управления крупномасштабными строительными проектами выражаются в инвариантных физически измеряемых пространственно-временных величинах. С математической точки зрения, качественное различие полученных величин есть различие их размерностей. Использование универсальных мер позволяет получить описание всех частей неизменной сущности исследуемой предметной области на едином универсальном языке и представить систему управления крупномасштабными строительными проектами как группу преобразований с инвариантом мощности, имеющим размерность $[L^5 T^{-5}] = \text{Const}$.

Ψ (Человек) = $[L^6 T^{-6}]$ = скорость переноса мощности (мобильность);

C (Цель) = $[L^5 T^{-6}]$ = изменение мощности;

Z (Знак) = $[L^6 T^{-5}]$ = перенос мощности;

I (Информация) = $[L^5 T^{-5}]$ = полезная мощность;

E (Энергия) = $[L^5 T^{-4}]$ = энергия;

L (Пространство) = $[L^1 T^0]$ = пространство;

T (Время) = $[L^0 T^1]$ = время жизненного цикла реализации проекта.

Таким образом, информационный граф соединения системообразующих элементов (инвариантов) Матрицы управления описывает её структурные свойства и определяет режим функционирования (рис. 3).

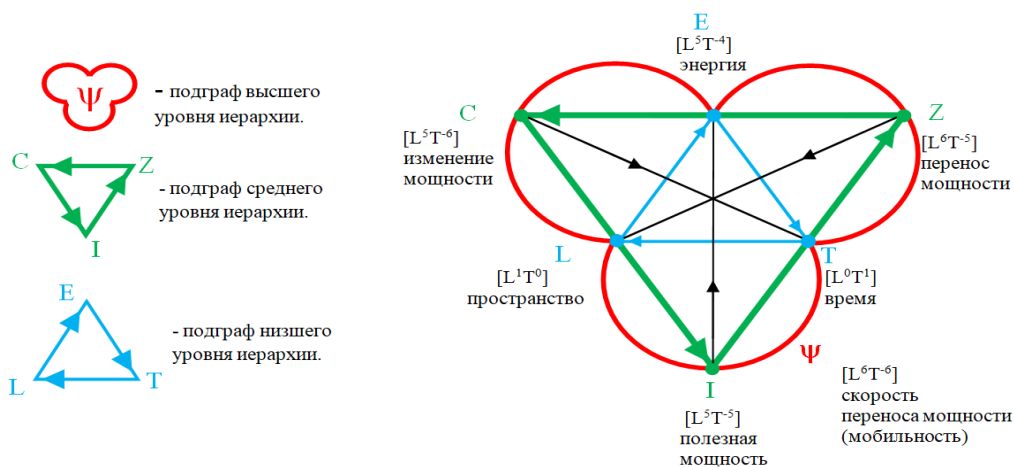


Рис. 3. Геометрическое описание информационного графа Матрицы управления

Информационный граф предоставляет техническую возможность использования сложных алгоритмов обработки информации, определяет сетевую топологию (схемы соединения) используемых в организационно-технической системе управления компьютеров и организационных подразделений лица, принимающего решения (ЛПР). Конфигурация информационной сети (схема обмена данными) влияет на производительность и функциональные возможности системы управления в целом.

Концептуальная схема интегрирующей цифровой платформы (ИЦП) изображена в виде ER-диаграммы (ERD – Entity-Relationship Diagram), отображающей основные сущности (S1, S2, S3), атрибуты и определяющие связи между ними представлена на рис. 4. В качестве теоретико-системного конструкта выбрано представление о динамической целенаправленной системе. Жизненный цикл строительного проекта понимается как единый непрерывный многоэтапный технологический процесс, направленный на решение проектных задач строительства в установленные сроки с соблюдением необходимых требований (например, требований энергетической эффективности). Такая форма представления, в частности, позволяет создать базу данных для интегрирующей цифровой платформы (ИЦП) (S3), которая представляет из себя синтез информационных структур ТИМ (ВИМ) (S1) и РМВоК (S2).

Специфика крупномасштабных строительных проектов, а именно, наличие множества участников, сложность организационного и ресурсного взаимодействия между ними, большого объёма информационных потоков, ставит сложную научную задачу оценки эффективности системы управления. В качестве решения поставленной задачи автором предлагается метод оценки целостности системы управления строительством (СУ), позволяющий осуществлять точный математический расчёт качества функционирования (эффективности) любой СУ на протяжении жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта как целостности заложенных в этой системе решений на основании совокупности любых оценок, адекватно выражающих необходимость и возможность этих решений. Для СУ не существует никакого другого критерия эффективности, кроме эффективности решений. Эффективность СУ проявляется в целостных процессах, которыми являются стадии (этапы) полного жизненного цикла крупномасштабного строительства. Целостность СУ определяется интенсивностью информационного взаимодействия всех её элементов. Чем интенсивнее такое взаимодействие, тем выше уровень целостности и, следовательно, тем эффективнее целенаправленное поведение СУ во внешней среде.

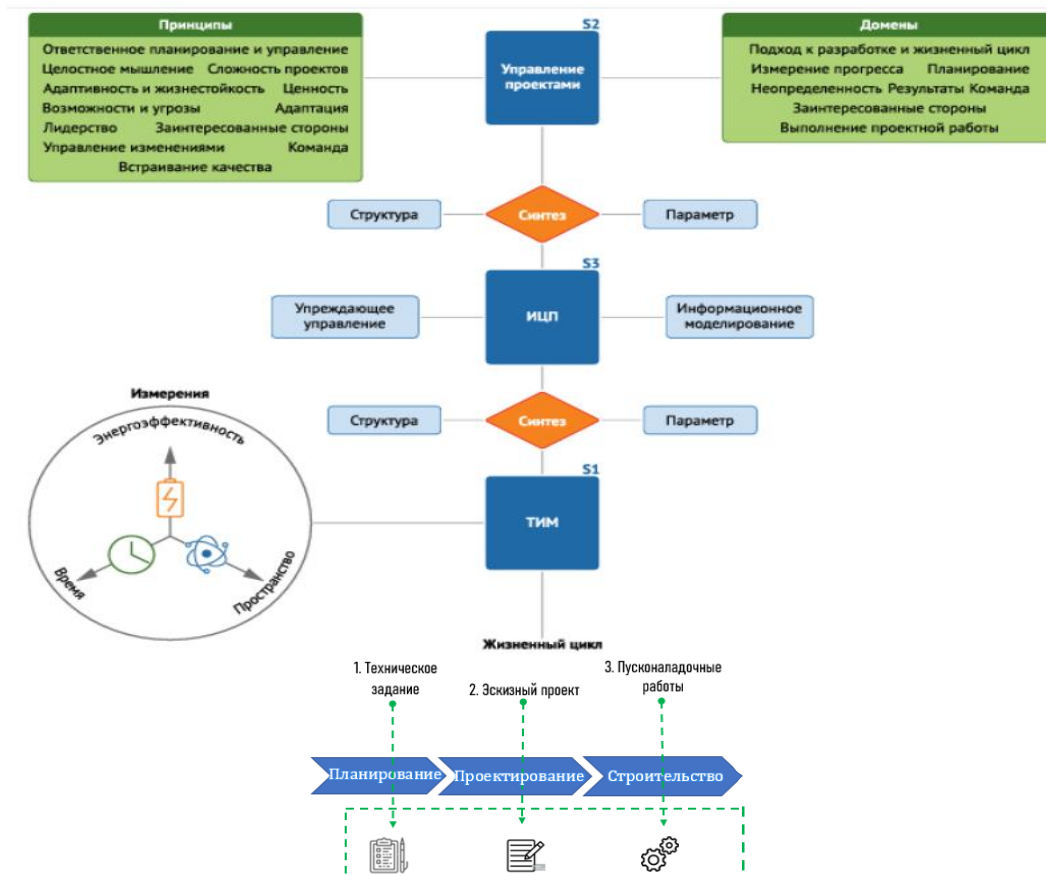


Рис. 4. Концептуальная схема интегрирующей цифровой платформы (ИЦП) управления крупномасштабными строительными проектами

Математическая формализация методики имеет следующий вид.

Пусть работа СУ, состоящей из n элементов, характеризуется некоторой соответствующей совокупностью n сигналов A_i ($i = 1, \dots, n$ – порядковый номер сигнала) от каждого из n элементов. Ввиду несводимости операций, проводимых СУ, к строго детерминированным или вероятностным, для принятия обоснованных оценочных суждений относительно эффективности СУ используется процедура экспертных оценок на ограниченном временном интервале по пяти основным показателям десятибалльной шкалы, допускающим достоверный контроль: мобильность (E), адаптивность (D), полнота (P), устойчивость (R), адекватность (K). Иными словами, экспертам предлагается построить вариационные ряды (временные ряды) показателей эффективности СУ на три момента времени (неделя, месяц, квартал). Обработка результатов измерений производится методом расчёта средних баллов, которые рассматриваются как интегральные оценки, выставленные коллективом опрошенных. Таким образом, с СУ снимаются $n = 5$ сигналов (показателей E, D, P, R, K) в моменты времени $t = 1, 2, 3$.

На основании усреднённых данных итоговой таблицы можно построить матрицу $A = (a_{ij})$, где i – номер параметра ($i = n$), j – номер момента времени ($j = t$):

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матрицу A можно считать одним n -мерным сигналом, изменяющимся во времени. Если все столбцы матрицы A статистически независимы, то это означает, что все n частей рассматриваемого объекта работают вразнобой, диссонируя друг с другом. Такой же вывод

можно сделать, если строки матрицы не зависят друг от друга. Это абсолютная неорганизованность, нецелостность функционирования СУ.

Однако, возможен и альтернативный вариант: существует одномерный сигнал $(b_1..b_t)$, b_i – значение сигнала в момент времени t , все сигналы выражаются через b_i . В этом случае каждый из сигналов несет одинаковую информацию, такую же, как и вся СУ. Это абсолютная организованность, целостность функционирования СУ.

С учётом сказанного, вычисление уровня целостности осуществляется следующим образом. Используя метод главных компонент, по матрице A построена ковариационная матрица B :

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & \dots & b_{1n} \\ \cdot & \dots & \dots & \dots \\ \cdot & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & \dots & b_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

В ковариационной матрице $b_{ij} = b_{ji}$. $B = (b_{rs})$, где $b_{rs} = \sum_i (a_{ri} - \sum_k a_{rk}/t) \times (a_{si} - \sum_k a_{sk}/t)$.

Матрица B неотрицательна и имеет n собственных значений:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0, \text{ при этом } \sum \lambda_i = \sum b_{ii}.$$

Если $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_n = 0$, то n -мерный сигнал (a_{ij}) сводится к одномерному, каждый из n сигналов несет информацию об остальных сигналах. Это абсолютная организованность, целостность.

Если $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = (\sum b_{ii})/n$, то размерность исходного сигнала нельзя понизить. Система эквивалентна такой n -мерной системе, где каждый сигнал не имеет никакой информации о других сигналах. Это абсолютная неорганизованность, нецелостность.

В четвёртой главе представлены результаты практического использования теоретических результатов исследования (апробации) при осуществлении крупномасштабного инвестиционно-строительного проекта «Агропромышленный комплекс в Бутурлиновском районе Воронежской области» (далее по тексту: Проект) – создание комплекса сельскохозяйственных предприятий и организаций на площади 10000 га с объёмом инвестиционного финансирования 59 793 млн. рублей и сроком реализации 8 лет.

Первоначальная модель системы управления Проектом имела достаточно традиционный вид организационной структуры, которая не содержала в себе технических средств поддержки принятия решений и была признана не соответствующей уровню сложности и характеру задач Проекта. Была поставлена задача создания организационно-технической системы управления Проектом. Автором обосновано создание и использование Ситуационного Центра (СЦ) в качестве технического ядра управления таким Проектом, реализующего формат системотехнического взаимодействия «человек-компьютер». Сформулировано новое концептуальное понимание СЦ как биофизической системы «человек-компьютер», воплощающей технологию коллективной мыследеятельности принимающих решения лиц посредством современных технических программно-аппаратных решений и являющейся, по сути, рабочим прототипом АСУС шестого технологического уклада. Определены минимально необходимые режимы работы СЦ: стратегический, оперативный, тактический мониторинг (контроль), чрезвычайный (антикризисный). Обосновано применение конкретной математической модели и соответствующего алгоритма распределения множества информационных потоков на множество дисплеев для комплексной визуализации необходимых данных во всех режимах функционирования СЦ.

Многоуровневая информационная модель сложной организационно-технической системы управления Проектом с точки зрения её функциональных задач представлена на рис. 5.

Сравнительный расчёт эффективности системы управления Проектом производился по методике оценки целостности системы управления применительно к двум вариантам си-

стемы управления (СУ) Проектом: организационному (СУ-1) и организационно-техническому (СУ-2). Экспертам было предложено оценить показатели эффективности в динамике на протяжении одной рабочей недели. Таким образом, были построены вариационные(временные) ряды для каждого из вариантов СУ на три момента времени в течение одной рабочей недели: понедельник, среда, пятница. Результаты представлены в табл. 1 - 3.



Рис. 5. Многоуровневая информационная модель сложной организационно-технической системы управления Проектом с точки зрения её функциональных задач

Табл. 1. Итоговые средние значения показателей эффективности СУ-1

n \ t	Мобильность (E)	Адаптивность (D)	Полнота (P)	Устойчивость (R)	Адекватность (K)
t ₁	2	3	4	2	1
t ₂	3	2	1	1	2
t ₃	2	3	4	2	1

Табл. 2. Итоговые средние значения показателей эффективности СУ-2

n \ t	Мобильность (E)	Адаптивность (D)	Полнота (P)	Устойчивость (R)	Адекватность (K)
t ₁	5	8	4	8	8
t ₂	6	8	7	5	6
t ₃	8	5	8	8	5

Табл. 3. Сравнительное определение уровня целостности моделей управления Проектом на основе экспертных оценок показателей их эффективности

Этапы расчета СУ	Матрица исходных сигналов, А	Главные компоненты ковариационной матрицы, В	Показатель целостности, I	Итоговое сравнение $\frac{I_2}{I_1}$												
СУ-1	$\begin{bmatrix} 2 & 3 & 4 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>n \ λ</th> <th>E</th> <th>D</th> <th>P</th> <th>R</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>λ_n</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> <td>2</td> <td>0,2</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Значения главных компонент в порядке убывания: 2 ≥ 0,2 ≥ 0,2 ≥ 0,2 ≥ 0,2</p>	n \ λ	E	D	P	R	K	λ _n	0,2	0,2	2	0,2	0,2	$I_1 = \frac{2,8}{2} = 1,4$	$\frac{4,9}{1,4} = 3,5$
n \ λ	E	D	P	R	K											
λ _n	0,2	0,2	2	0,2	0,2											
СУ-2	$\begin{bmatrix} 5 & 8 & 4 & 8 & 8 \\ 6 & 8 & 7 & 5 & 6 \\ 8 & 5 & 8 & 8 & 5 \end{bmatrix}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>n \ λ</th> <th>E</th> <th>D</th> <th>P</th> <th>R</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>λ_n</td> <td>2,4</td> <td>2,6</td> <td>2,6</td> <td>2,6</td> <td>2,6</td> </tr> </tbody> </table> <p>Значения главных компонент в порядке убывания: 2,6 ≥ 2,6 ≥ 2,6 ≥ 2,6 ≥ 2,4</p>	n \ λ	E	D	P	R	K	λ _n	2,4	2,6	2,6	2,6	2,6	$I_2 = \frac{12}{2,4} = 4,9$	
n \ λ	E	D	P	R	K											
λ _n	2,4	2,6	2,6	2,6	2,6											

Представленные математические выкладки показывают, что эффективность (целостность) традиционного организационного варианта системы управления Проектом в 3,5 раза ниже эффективности (целостности) предложенного автором организационно-технического варианта системы управления Проектом. С экономической точки зрения, в 3,5 раза увеличилась системная эффективность использования инвестиционного капитала.

Таким образом, применение разработанного авторского подхода к управлению Проектом позволило создать высокотехнологичную, воспроизводимую и масштабируемую бизнес-модель крупномасштабного строительного проекта, заинтересовать потенциальных инвесторов и тем самым осуществить старт Проекта. Успешность апробации доказывает возможность использования представленной концептуальной модели для решения системотехнических проблем управления крупномасштабным строительством.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования позволяют сформулировать выводы и предложения, которые в дальнейшем могут послужить основанием модернизации системы управления строительными проектами, а также определить направления дальнейшего научного поиска в данной предметной области.

1. На основе анализа основных научно-теоретических идей и технических разработок российских и зарубежных исследователей обоснована актуальность проблемы создания организационно-технической системы управления крупномасштабными строительными проектами на протяжении их жизненного цикла в соответствии с прогнозными характеристиками шестого технологического уклада в междисциплинарном смысловом поле.
2. Синтез основных научных идей методического характера, соответствующих характеру и уровню сложности исследуемой предметной области позволил выделить сущ-

ностно значимые системообразующие факторы концептуального моделирования исследуемой предметной области (Человек, Целеполагание, Знак, Информация, Энергия, Пространство, Время) и сформировать в рамках системного подхода методику инвариантного описания исследуемой предметной области, удовлетворяющую условиям методологической полноты настоящего исследования и соответствующего характеру и уровню сложности решаемых задач.

3. На основе инвариантного описания сущности исследуемой предметной области, разработана концептуальная модель организационно-технической системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла. Процесс создания такой системы получает соответствующее инженерно-математическое обеспечение, позволяющее рассчитывать состояние протекающих в системе процессов в зависимости от топологических свойств её структуры (и наоборот).
4. Разработана оригинальная методика контроля целостности системы управления строительством как показателя эффективности системы. Методика позволяет осуществлять точный математический расчёт качества функционирования системы управления крупномасштабным строительством на протяжении полного жизненного цикла как целостности заложенных в этой системе решений на основании совокупности любых оценок, адекватно выражающих необходимость и возможность реализации этих решений.
5. Экспериментальное внедрение результатов исследования выполнено в рамках реального крупномасштабного инвестиционно-строительного проекта, проявило системотехнический характер ключевых проблем современной стройиндустрии и позволило увеличить экономическую эффективность системного использования инвестиционного капитала в 3,5 раза. Теоретические и практические результаты диссертационной работы рекомендованы не только для внедрения в практику управления крупномасштабными инвестиционно-строительными проектами, в практику разработки моделей, методов и алгоритмов стратегического планирования строительной отрасли, а также в учебном процессе ИВГПУ по направлению «Строительство».
6. Перспективные направления дальнейших исследований связаны с внедрением в практику управления строительством новых информационных технологий. Взрывной характер проникновения современных цифровых технологий Интернета вещей и Распределённого реестра в сферу государственного и негосударственного управления вызывает необходимость исследования принципиальной возможности и необходимости системной интеграции данных технологий при автоматизации решения системных задач управления в строительстве. Исследование возможности и перспектив применения современных цифровых технологий в строительстве в системах управления является перспективным направлением развития темы настоящей диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Опарина Л. А., **Гриднева Я. А.** Концептуальная схема управления крупномасштабными инвестиционно-строительными проектами в условиях цифровизации строительства // Строительное производство. – 2023. – № 4. С. 150 – 154.
2. Опарина Л.А., **Гриднева Я.А.**, Барзыгин Е.А. Оценка эффективности системы управления крупномасштабными строительными проектами в течение их жизненного цикла // Строительство и архитектура. – 2024. Т.12 – № 1 (42). С. 6
3. Опарина Л.А., Барзыгин Е.А., **Гриднева Я.А.**, Касьяненко Н.С. Использование инструмента бережливого производства в управлении поставками материалов в течение жизненного цикла строительного проекта // Вестник МГСУ. – 2024. Том 19. Выпуск 5. С. 826 – 835.

4. **Гриднева Я.А.** Physical factors of the conceptual project of «Smart city» // XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering «Construction - The Formation of Living Environment» 25–27 April 2018, Moscow, Russian Federation.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях

5. Гинзбург А.В., **Лобырева Я.А.**, Семернин Д.А. Системный подход при создании комплексных автоматизированных систем управления и проектирования в строительстве // Научное обозрение. 2015. №16. С. 461-464.

6. **Лобырева Я.А.** Логико-методологический анализ «Технологии информационного моделирования зданий BIM» // Сборник научных трудов кафедры ИСТАС НИУ МГСУ. Москва, 2015. С. 114-117.

7. **Лобырева Я.А.** Перспективы создания комплексной автоматизированной системы управления жизненным циклом объектов строительной отрасли // Сборник трудов конференции «Строительство - формирование среды жизнедеятельности 2016». Сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». 2016. С. 587-590.

8. **Гриднева Я.А.** Логика управления проектами как методологическая основа для выработки универсального категориального аппарата в процессе системной интеграции усилий специалистов, учёных и практиков при создании современной АСУС // Сборник трудов конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. сборник материалов международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». 2017. С. 412-415.

9. **Гриднева Я.А.** Логика проектирования информационных систем в строительстве // Сборник трудов конференции «Строительство – формирование среды жизнедеятельности 2017». 2017. С. 598-600.

10. Гинзбург А.В., **Гриднева Я.А.** Оценка целостности системы управления строительством / Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019 [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научной конференции (Москва, 25.11.2019 г.) / Министерство науки и высшего образования РФ, НИИ МГСУ. – Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. С. 118-123.

11. **Гриднева Я.А.** Перспективы интегрированного применения современных цифровых технологий при автоматизации решения системных задач управления в строительстве / Я.А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №12 (102), С. 82-84.

12. **Гриднева Я.А.** Системообразующие факторы информационного моделирования организационно-технического управления строительством / Я.А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №12 (102). С. 85-87.

13. **Гриднева Я.А.** Преодоление коммуникационного барьера «человек-компьютер» при создании современной автоматизированной системы управления строительством (АСУС) / Я.А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – №1 (103). С. 32-34.

14. **Гриднева Я.А.** Матрица управления строительством: экспликация понятия / Я.А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – №1 (103). С. 29-31.

15. **Гриднева Я.А.** Ситуационный центр (СЦ) в системе управления крупномасштабным строительством/ Я.А. Гриднева // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – №3 (105). С. 71-75.

16. Опарина Л.А., **Гриднева Я.А.**, Барзыгин Е.А. Формирование типа жизненного цикла инвестиционно-строительных проектов в современных условиях // Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений Сборник научных трудов. № 11. Иваново, 2023. – С. 16-21.