

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Конюхов Дмитрий Сергеевич

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ
КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЙ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
С УЧЕТОМ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ

Специальность 2.5.22

Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация
производства

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант: доктор технических наук,
профессор Куликова Елена Юрьевна

Москва, 2023

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Актуальность темы определяется необходимостью ввода в функциональную структуру национальной системы градостроительства инновационных прогрессивных моделей компактного, жизнеспособного города с устойчивым развитием. В основу мировой практики развития подземной урбанистики закладывается принцип комплексного подхода к использованию строительных технологий, включая использование геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы управления подземным градостроительством.

В последние годы существенно выросли темпы освоения подземного пространства крупных городов России. Москва – наиболее динамично развивающийся мегаполис в РФ. До конца 2027 года здесь планируется построить 329 км новых линий метрополитена. Для этого задействовано 23 тоннелепроходческих комплекса (ТПМК) диаметром 6 м и 4 ТПМК диаметром 10 м. Программой реновации жилищного фонда предусматривается снос более 5 100 жилых домов и строительство на их месте новых жилых микрорайонов с сопутствующими инфраструктурными объектами, что также невозможно без активного использования подземного пространства.

Строительство ведётся в условиях плотной городской, в том числе исторической, застройки, в основном в котлованах, с временным креплением «стена в грунте», и закрытым способом с применением щитов с активным пригрузом забоя. В среднем на 1 пог. км линии строящегося метрополитена приходится порядка 17 – 20 существующих зданий и сооружений. В зоне влияния строящегося котлована в среднем располагается порядка 5-7 зданий, в некоторых случаях их число доходит до 10 - 12.

На территории Москвы под воздействием техногенных факторов развивается гравитационное и динамическое уплотнение пород, сдвижение пород в массиве, гравитационные процессы, эрозия, гидростатическое взвешивание и сжатие рыхлых водовмещающих пород, механическая и химическая суффозия, а также проявление современных тектонических движений и изменение сейсмических характеристик грунтовых массивов и отдельных их грунтовых составляющих. Наиболее существенное влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) породного массива оказывают: воздействие наземной городской застройки и жизнедеятельность города, строительство и эксплуатация подземных сооружений, откачка подземных вод и нарушение их инфильтрационного баланса. При этом, более 40% аварийных ситуаций при строительстве является следствием нарушения технологии работ.

При строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки наибольшую важность приобретает минимизация влияния на НДС породного массива, существующих зданий и сооружений. Таким образом, разработка научно-методического обеспечения системы комплексного планирования стратегии реализации технологий городского подземного строительства (ТППС) с учетом геотехнических рисков и выявление основных технологических параметров горно-строительных работ, оказывающих влияние

на НДС породного массива, обоснование организационно-управленческого механизма обеспечения сохранности сложившейся застройки, как производной от этого влияния, а также разработка инновационных технических решений, в основу которых заложена минимизация геотехнических рисков, являются решением крупной научной проблемы, имеющим важное значение для повышения технико-экономической эффективности подземного строительства и эксплуатационной надежности существующей застройки. Необходим процесс гармонизации градостроительной деятельности в плане создания максимального потенциала обеспечения стадии «публичного» управления. Стадии реализации такого потенциала невозможны без дальнейшего развития системных научных обоснований, в том числе с учетом зарубежного опыта.

Цель работы – развитие методологии комплексного планирования, выбора и обоснования стратегии реализации ТППС в условиях плотной городской застройки с использованием интерактивного управления параметрами ТППС на основе данных геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском для повышения технико-экономической эффективности производства.

Основная идея работы состоит в обосновании стратегии интерактивного управления технологиями подземного строительства, базирующейся на системном подходе, концепции, научно-методических и системотехнических принципах системы комплексного планирования стратегии реализации ТППС, которая позволяет эффективно и целенаправленно осуществлять плотную городскую застройку с учетом геотехнических рисков. Такой подход должен заключаться в недопущении негативного технологического влияния на существующие здания и сооружения и обеспечивать приоритет безопасности строительства над всеми другими факторами. Проектируемое строительство не должно ухудшать качество жизни населения и негативно влиять на сложившуюся городскую застройку. Система управления организацией строительства и технологической безопасностью должна иметь возможность корректировки технологических параметров производства работ.

Задачи работы:

1. Анализ состояния инновационного сектора строительных технологий и критериев выбора технологий строительства подземных объектов, обеспечивающих минимальное негативное воздействие на НДС породного массива, снижение геотехнических рисков и повышение эксплуатационной надежности сложившейся застройки.

2. Обоснование базисных аспектов управления процессами строительства подземных объектов. Моделирование, с применением современных численных методов, технологических деформаций дневной поверхности при устройстве ограждающих конструкций котлованов методом «стена в грунте» и проходке тоннелей щитовым способом с активным пригрузом забоя.

3. Формирование концепции, основных системотехнических и научно-методических принципов и положений, алгоритма интерактивного управления ТППС на основе данных геотехнического мониторинга и внедрения инновационных технических решений.

4. Обоснование организационно-управленческого механизма мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве, контроля технологических параметров производства подземных работ и качества строительства с проведением оперативной корректировки параметров ТГПС (регулирование технологических параметров проходки (давление пригруза забоя, объём тампонажа заобделочного пространства, заполнение защитового пространства) по результатам мониторинга за технологическими деформациями зданий на поверхности при ведении горно-строительных работ) и т.д.

5. Разработка механизма повышения конкурентоспособности ТГПС и рекомендаций по использованию теоретических и практических результатов исследований. Оценка технико-экономического эффекта от внедрения метода интерактивного управления параметрами ТГПС на объектах Московского метрополитена

Научная новизна:

1. Скорректированы и адаптированы применительно к строительным технологиям и технологиям строительства подземных объектов понятия «стратегия реализации строительных технологий» и «интерактивное управление технологическими параметрами горнопроходческих работ», как системы организационно-управленческих решений с учетом инновационной составляющей и минимизацией случайных факторов, представленных в виде функциональных зависимостей технологических деформаций существующей застройки, определяемые в процессе геотехнического мониторинга, от параметров технологии подземных работ.

2. Разработаны целевые функции критериев-индикаторов качества технологий горно-строительных работ открытым и подземным способами, которые закладываются в основу организационно-управленческого механизма производства технологических операций в условиях плотной городской застройки, сложных горно-геологических и гидрогеологических условиях. С использованием данных критериев выделены три класса прогрессивных строительных технологий.

3. С привлечением двухуровневого экспертного анализа проведено ранжирование современных способов подземного строительства по степени технологического воздействия на НДС породного массива, конструктивную надежность эксплуатируемых зданий и сооружений, что позволило разработать их классификацию по условиям территориального зонирования крупных городов и трансформировать систему комплексного планирования реализации строительных технологий с повышением уровня их инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности.

4. С учетом основных причин расхождения результатов математического моделирования с данными натурных наблюдений, сформированы расчётно-эмпирические зависимости технологических деформаций дневной поверхности и существующих зданий, как функций от отношения глубины котлована к расстоянию от края фундамента до края ограждающей конструкции при устройстве «стены в грунте» траншейного типа в горно-геологических

условиях г. Москвы с учётом геометрических параметров крепи, что позволило разработать стратегию перевода строительных технологий в требуемое конкурентоспособное состояние с повышением уровня промышленно-экологической безопасности. Данная составляющая дополнена организационно-управленческим механизмом мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве.

5. Методологические и методические подходы к разработке модельного представления стратегии реализации строительных технологий дополнены установленными эмпирическими зависимостями деформаций дневной поверхности от относительной глубины заложения тоннеля и типа горно-геологических условий, позволяющие без использования методов математического моделирования выполнить предварительную оценку технологических деформаций зданий при проходке тоннелей щитовым методом с активным пригрузом забоя и/или произвести верификацию результатов численного моделирования. В основу этих дополнений заложены установленные эмпирические величины предложенного коэффициента технологического перебора с учётом типа горно-геологических условий, относительной глубины заложения тоннеля и отношения величины зазора между диаметром режущего органа щита и наружным диаметром крепи для щитов диаметром 4 – 10 м.

Практическая значимость: разработка интерактивного организационно-управленческого механизма контроля технологических параметров производства подземных работ и качества строительства с оперативной корректировкой параметров ТГПС и разработкой технологических регламентов, мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве, при внедрении которого в практику научно-технического сопровождения проектирования и строительства объектов метрополитена г. Москвы достигается снижение аварийности и стоимости мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности существующей застройки и минимального вмешательства в окружающую среду.

При выполнении данной работы использовались следующие **методы исследований:** натурные экспериментальные геофизические исследования состояния грунтового массива при оценке влияния технологических параметров проходческих работ на изменение горно-геологических условий территории; натурные экспериментальные геодезическо-маркшейдерские наблюдения для установления зависимостей деформаций существующей застройки от принятой технологии ведения строительных и проходческих работ и отдельных технологических параметров; системный анализ, обратный анализ, ретроспективный анализ, ситуационный анализ, математическое моделирование совместной работы системы «подземное сооружение – вмещающий породный массив» в плоской и трёхмерной постановках; комплексный подход к решению научно-методических, теоретических и экспериментальных задач. Экспериментальные исследования проводились на 39-ти объектах гражданского строительства и 115 объектах метрополитена. При обработке результатов исследований применены методы математической статистики, компьютерная обработка, анализ и интерпретация экспериментальных данных.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. В условиях плотной городской застройки необходим ввод в систему комплексного планирования стратегий реализации технологий подземного строительства критериальных параметров ранжирования, которые позволяют систематизировать их по степени воздействия на окружающую среду и сложившуюся застройку на 3 класса. Применение технологий 2 и 3 классов максимизирует конкурентные преимущества и минимизирует технологические деформации зданий на поверхности до 40 – 60% по сравнению с другими способами.

2. Концепция комплексного планирования стратегий реализации технологий подземного строительства с повышением эффективности организации производства должна базироваться на использовании и внедрении в структуру организационно-управленческого аппарата методов математического моделирования и расчётно-эмпирического метода прогнозирования технологических деформаций при открытом способе работ, обеспечивающими сходимость с результатами натурных наблюдений с точностью до 91%, что позволяет достигнуть требуемого уровня объективности и достоверности в условиях высокой динамичности изменения горно-геологических и горнотехнических условий строительства.

3. Методология комплексного планирования стратегий реализации ТППС должна включать алгоритм интерактивного управления технологическими параметрами горнопроходческих работ, применение которого позволяет исключить случайные факторы при производстве подземных работ или изменении технологических решений вследствие влияния фактических горно-геологических, гидрогеологических или градостроительных условий.

4. Организационно-технологические меры, принимаемые в рамках реализации технологий подземного строительства должны основываться на организационно-управленческом механизме мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве, контроле технологических параметров производства подземных работ и качества строительства и должны быть направлены на оперативную корректировку параметров ТППС и разработку технического регламента.

5. Реализация теоретических основ и практических приложений организационно-технологической и организационно-экономической направленности выполнения производственных процессов в области инновационных технических и технологических решений подземного строительства должны осуществляться с учетом новых системотехнических и научно-методических принципов, что позволяет достичь требуемого уровня обобщения и систематизации контролируемых параметров качества производства подземных работ с учетом и оценкой организационно-технологической и организационно-экономической надежности и устойчивости выполняемых производственных процессов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждаются:

1. использованием апробированных методов математической статистики, сертифицированного программного обеспечения для выполнения численных экспериментов и обработки экспериментальных данных;
2. использованием геофизического и геодезическо-маркшейдерского оборудования, соответствующего требованиям современных ГОСТов, наличием свидетельств о поверке к применяемому оборудованию;
3. сходимостью результатов численного моделирования и расчётов по предлагаемым методикам с натурными измерениями до 91%.
4. положительным опытом практического внедрения разработанного комплекса мероприятий на объектах подземного строительства города Москвы.

Личный вклад автора состоит в:

1. разработке теоретических положений, изложенных в диссертации;
2. непосредственном участии в проведении натурных экспериментальных и модельных исследований по теме диссертации;
3. самостоятельном выполнении аналитической обработки массива данных экспериментальных и модельных исследований, проведении анализа;
4. разработке научно-методологического аппарата интерактивного управления технологическими параметрами горнопроходческих работ;
5. разработке практических рекомендаций по внедрению, верификации и апробации результатов исследований при комплексном планировании и выборе стратегий реализации ТППС на примере промышленных объектов Москвы и Московской области.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты работы внедрены при строительстве объектов Московского метрополитена: Бутовская линия: ст. «Улица Старокачаловская» - ст. «Новоясеневская»; Таганско-Краснопресненская линия: ст. «Выхино» - ст. «Котельники»; Люблинско-Дмитровская линия: ст. «Марьяна Роща» - ст. «Петровско-Разумовская»; Большая кольцевая, Калининско-Солнцевская и Некрасовская линии; доложены на заседании Научно-технического совета по строительству объектов метро и транспортной инфраструктуры Департамента строительства города Москвы и учтены при разработке нормативно-технических документов Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, Некоммерческого партнёрства «Национальное объединение строителей» (НОСТРОЙ) и АО «Мосинжпроект»: СМП НОСТРОЙ 3.27.3-2014 «Освоение подземного пространства. Комплексное использование подземного пространства в мегаполисах»; СТО-82-01 АО «МОСИНЖПРОЕКТ» «Научно-техническое сопровождение строительства в АО «МОСИНЖПРОЕКТ»»; СП 120.13330.2022 «Метрополитены»; СП 249.1325800.2016 «Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами»; СП 381.1325800.2018 «Сооружения подпорные. Правила проектирования и строительства»; СП 473.1325800.2019 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования»; СП 474.1325800.2019 «Метрополитены. Правила обследования и мониторинга строительных конструкций подземных сооружений»; Методические рекомендации проведения

контроля качества на объектах тоннеле- и метростроения. - Минстрой РФ, 2020.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации были доложены, опубликованы в трудах и получили одобрение на 32-х международных научно-технических форумах, симпозиумах и конференциях, в том числе: 15th World Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space (Saint-Petersburg, 2016 г.); International Tunneling Symposium in Turkey «Challenges of Tunneling» (Istanbul, Turkey, 2017); XXVI, XXVII и XXIX Международные научные симпозиумы «Неделя горняка»; Научно-технический форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства» (Минск, Беларусь), 2018; Word Tunnel Congress «Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art» (Naples, Italy, 2019); 1st International Conference on Exploration and Utilization of Underground Space (Wuhan, China, 2019); The Second Eurasian Conference and Symposium RISK-2020 (Tbilisi, Georgia, 2020); 17th World Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space ACUUS 2020: "Deep Inspiration" (Helsinki, Finland, 2021); World Tunnel Congress 2022 «Underground solutions for a world in change» (Copenhagen, Denmark, 2022).

Публикации. Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в 70 печатных работах, в том числе в 2 монографиях, 17 журналах, рекомендованном ВАК Минобрнауки РФ и 8 изданиях, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science. Зарегистрирован 1 патент.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, списка использованных источников из 297 наименований, содержит 431 страницу, 168 рисунков, 38 таблиц и 8 приложений.

Автор диссертации искренне благодарит своих учителей: докторов техн. наук, профессоров М.Г. Зерцалова, В.Е. Меркина и И.Я. Дормана; научного консультанта – доктора техн. наук, профессора Е.Ю. Куликову; руководителей АО «Мосинжпроект» в лице В.П. Кивлюка и Н.Ф. Бабушкина и Генерального директора АО «УРСТ» Д.Д. Герасимова за предоставленную возможность проведения научно-практических исследований и внедрения их результатов в практику подземного строительства г. Москвы; сотрудников Горного института НИТУ «МИСИС» в лице докторов техн. наук, профессоров: А.Г. Панкратенко – заведующего кафедрой СПСиГП, В.В. Мельника – заведующего кафедрой геотехнологии освоения недр и профессора той же кафедры В.В. Агафонова – за неоценимую помощь и поддержку.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель, задачи исследования, представлены основные научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу теоретических основ и практических исследований в области обоснования системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС.

Ретроспективный анализ реализации стратегий технологий подземного строительства Московского региона в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий показывает, что неудовлетворительная эффективность их составляющих обусловлена, в первую очередь, неудовлетворительным функционированием системы управления реализацией стратегии. В последние годы в большинстве экономических исследований практического плана, посвященных этой проблеме, указывается на актуальность и необходимость разработки методологической базы выбора и обоснования организационно-управленческого аппарата механизма реализации стратегии. В рамках диссертационной работы предлагается этого механизма, как системной совокупности структурных элементов и инструментов теоретического и практического плана, применительно к процессу управления выбора и обоснования эффективных и экономических ТГПС.

Организационно-управленческий механизм стратегий реализации ТГПС можно рассматривать в виде совокупности пяти алгоритмически взаимосвязанных управленческих процессов динамической направленности (рис. 1), имеющих причинно-следственные связи, обусловленные особенностями структуры стратегического управления. В рамках настоящей работы используется функциональный подход, основанный на исследовании операций, закладываемых в базу разработки, анализа и оптимизации управленческих функций.

Управленческая модель предусматривает ввод составляющей развития теории принятия сложных решений. В ее основу заложена акторная составляющая управленческой деятельности. Типологизация управленческих решений выступает в этом случае как средство разрешения компромиссных ситуаций и части целеполагания.

Стратегия освоения подземного пространства должна базироваться на научно обоснованном планировании развития ТГПС на кратко, средне – и отдаленную перспективу, основанном на процедурах принятия технических и технологических решений, закладываемых в основу выбора приоритетных направлений его освоения, обеспечивающих соответствующий уровень промышленно-экологической безопасности и достижение максимального экономического эффекта. К числу таких организационно-управленческих решений можно отнести: процесс выделения первоочередной номенклатуры приоритетных объектов подземного строительства; выбор пространственного расположения и временного тренда строительства с установлением очередности реализации проектов, способов подготовки вмещающего массива и выбора технологии строительства.



Рис.1. Структура стратегического управления организационно-управленческим механизмом стратегий реализации строительных подземных технологий

В основу современной методологии научно-методического обеспечения системы комплексного планирования стратегии реализации технологий подземного городского строительства с учетом геотехнических рисков можно отнести проведенные исследования теоретического и практического плана ряда ученых и исследователей, таких как: Е.В. Потапова, Г.Г.Пивняк, Г.С.Франкевич, С.Г.Шеина, А.В.Ищенко, В.Л.Беляев, Т.М.Скуратова, Т.Г.Ковалёва, А.В.Марова, Н.Керро, А.И.Осокин, А.Б.Серебрякова, И.Ю.Зильберова, Е.А.Томашук, Е.А.Король, М.С.Хлыстунов, В.И.Прокопьев, А.А.Лapidус, Д.В.Топчий, И.С.Шевченко, С.А.Ситдииков, А.А.Макаров, И.А.Синянский, Н.И.Манешина, М.Д.Антонов, В.А.Марченко, К.В.Петрова, В.Erofaloff, E.Nenasheva, I. Yu, E.Likhachev и др. Исследованию проблем управления технологиями открытого и подземного освоения недр посвящены работы В.В.Ржевского, В.И.Ганицкого, С.С.Резниченко, В.В.Агафонова, Ю.И.Анистратова, А.И.Арсентьева, А.С.Астахова, К.Е.Виницкого, Б.М.Воробьева, В.А.Галкина, В.М.Зыкова, С.Л.Климова, В.Т.Коваля, Ю.Н.Кузнецова, С.С.Лихтермана, Е.В.Петренко, А.А.Петросова, М.А.Ревазова, Ю.В.Шувалова, В.А.Харченко, В.С. Хохрякова, М.А.Ястребинского. Проблемам комплексного освоения подземного пространства мегаполисов посвящены исследования ведущих отечественных и зарубежных специалистов: Б.А.Картозия, С.Н.Алпатова, Н.Г.Бобылёва, Д.Н.Власова, С.Н.Власова, Г.Е.Голубева, З.Вайда, М.Г.Зерцалова, А.Ф. Зильберборда, Я. Келемена, А.В. Корчака, Е.Ю. Куликовой, А.Н. Левченко, В.Г. Лернера, Л.В. Маковского, В.Е. Меркина,

М.М. Папернова, В.В. Поддубного, М.С. Рудяка, В.И. Теличенко, Н. Admiral, J. Carmody, A. Cornado, D. Kaliampakos, R. Sterling и многих других. Изучению влияния ТГПС на НДС системы "подземное сооружение - вмещающий породный массив" посвящены работы таких учёных, как Н.С. Булычёв, В.А. Гарбер, Ю.К. Зарецкий, М.Г. Зерцалов, М.А. Иофис, М.А. Карасев, Б.А. Картозия, А.В. Корчак, В.Е. Меркин, И.Д. Насонов, А.Н. Панкратенко, А.Ю. Прокопов, А.Г. Протосеня, Н.К. Розенталь, К.В. Руппенейт, А.С. Самаль, С.А. Юфин и многих других. Задачи минимизации технологического воздействия подземного строительства на существующую застройку и окружающую среду рассматривались в работах Д.М. Голицынского, И.Я. Дормана, С.Г. Елгаева, Б.А. Картозии, А.В. Корчака, Н.И. Кулагина, Е.Ю. Куликовой, С.В. Мазеина, А.Г. Мазегора, М.А. Мутушева, М.О. Лебедева, Б.И. Федунца, В.В. Чеботаева, Е.В. Щекудова и др.

Анализ существующих методов оценки качества строительства показывает необходимость использования показателей, позволяющих оценить снижение надежности и безопасности строительства, с учётом допущенных отклонений, от проектного значения. В настоящий период недропользования разработаны ТГПС, которые в широком диапазоне гидрогеологических и горно-геологических условий позволяют не только построить любой объект, но и минимизировать деформации существующих зданий и сооружений, прилегающих к месту строительства. Однако в организационном плане, при реализации таких проектов в каждом конкретном случае необходимо научное обоснование принимаемых технологических решений с привлечением аппарата и методов моделирования ситуации и оценкой возможных последствий строительства, которое требует ввода в систему комплексного планирования стратегии реализации ТГПС с учетом геотехнических рисков, целевых индикаторов качества ведения подземных работ в условиях природно-техногенной среды.

В систему стратегического управления реализацией ТГПС должен включаться анализ внутренней и внешней среды реализации проектных решений, современных ТГПС, обоснования и внедрения оптимальных и рациональных технологий строительства в сферу инженерной и организационно-управленческой инфраструктур с последующей оценкой, анализом и контролем уровня их результативности и выработкой корректирующих стратегических целеполаганий, что требует обобщения и систематизации контролируемых параметров качества производства подземных работ с учетом и оценкой организационно-технологической и организационно-экономической надежности и устойчивости производственных процессов.

Основные контролируемые параметры производства подземных работ в основном нормируются СП 22.13330.2016, СП 45.13330.2017, СП 70.13330.2012, СП 120.13330.2012, СП 248.1325800.2016 и СП 361.1325800.2017. Все контролируемые параметры можно разделить на 4 группы, приведённые на рис. 2.

При строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки наибольшую важность приобретает минимизация влияния

подземного строительства на существующую застройку. С этой целью могут применяться методы, приведённые на рис. 3.

Контролируемые параметры, оценивающие влияние ТППС на безопасность существующей застройки, можно систематизировать следующим образом: параметры, характеризующие НДС породного массива и строительных конструкций; ограничения, накладываемые на условия производства работ или на размещение вновь возводимых конструкций по отношению к существующим подземным сооружениям; технологические параметры, в основном связанные с динамическими воздействиями, передаваемыми через грунты основания на конструкции зданий и подземных сооружений, а также «технологические деформации» существующих зданий и сооружений в результате ведения горно-строительных работ. Обобщение и систематизация контрольных параметров качества производства подземных работ показывают, что существующая система нормативных показателей качества включает в себя 103 контрольных параметра, ни один из которых не учитывает влияние технологии строительства на безопасность существующей застройки.

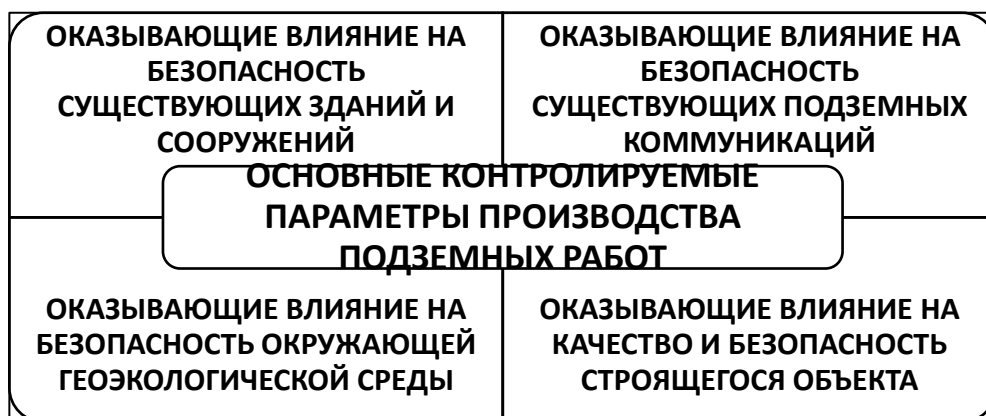


Рис. 2. Классификация контролируемых параметров при производстве подземных работ

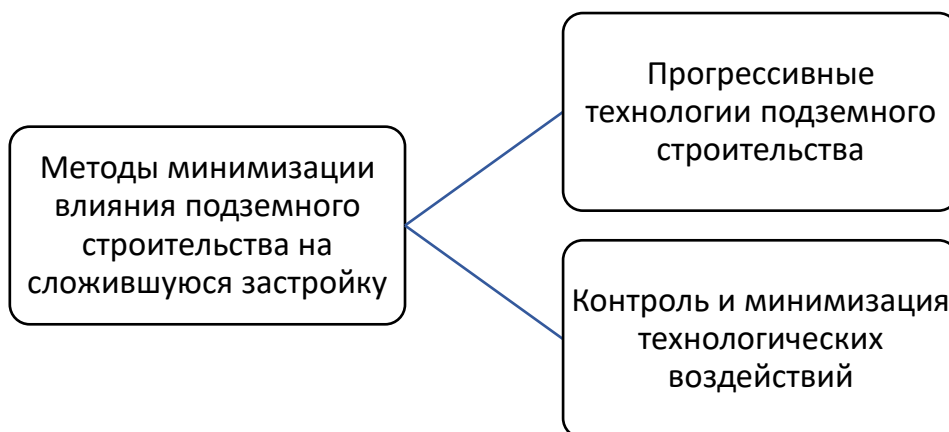


Рис. 3. Методы минимизации влияния подземного строительства на существующую застройку

Согласно действующим нормам, для обеспечения безопасности строительства, существующих зданий и сооружений, необходимо организовать

геотехнический мониторинг, который можно рассматривать как метод, позволяющий количественно охарактеризовать обратную реакцию существующей техногенной среды на параметры ТГПС. В качестве основных количественных параметров, определяющих степень безопасности такого воздействия, используются предельно допустимые деформации – максимальная осадка и относительная разность осадок. Кроме этого, допускается измерение напряжений в конструкциях и грунтовом массиве, параметров вибрации, однако данные параметры либо не нормируются, либо устанавливаются санитарными нормами, т.е. прямой количественной взаимосвязи с конструктивной надежностью здания они не имеют. Рядом авторов предлагается в качестве основного критерия такой оценки рассматривать кривизну подошвы фундамента и крен.

Существующая система комплексного планирования стратегии реализации ТГПС, в соответствии с СП 22.13330.2016 предусматривает, что предельно допустимые значения деформаций существующих зданий ориентированы только на обеспечение безопасности застройки, расположенной в зоне влияния строительства открытым способом и не могут быть применены при закрытом способе. При закрытом способе работ их величины могут быть увеличены от 2 до 7 раз в зависимости от конструктивной схемы здания или должен быть изменен критериальный подход. В связи с этим необходимо провести анализ и ранжирование современных ТГПС с точки зрения минимального воздействия на безопасность природно-технической системы.

На основе вышеизложенного обосновано, что требуется корректировка, трансформация и развитие системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС с учетом плотности городской застройки, геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы управления подземного градостроительства, что позволяет в конечном итоге количественно оценить обратную реакцию существующей застройки на параметры ТГПС, повысить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность реализуемых проектов с учетом соблюдения интересов всех стейкхолдеров.

Во второй главе разработаны концепция, научно-методические и системотехнические принципы создания системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС. Обзор эволюции развития стратегического менеджмента связан с именами Б.Альстрэнда, И.Ансоффа, Г.Минцберга, Дж.Лэмпела, М.Портера, А.Чандлера, Ф.Селзника, К.Эндрюса, которые сформировали 10 школ, объединенных по функциональным и методологическим принципам в 3 основные группы: 1 – формирования стратегий на основе SWOT-анализа; 2 – планирования с формализацией на основе процессов стратегического и сценарного планирования; 3 – позиционирования с формализацией на основе генерических стратегий. Выделив негативные и прагматические составляющие различных школ, на основе сравнительного, системного, комплексного, общенаучного и специального методологических подходов, в диссертационной работе сформирован продуктивный подход к процессу синтеза различных концепций, которые были трансформированы в систему

комплексного планирования стратегии реализации ТГПС, представленную на рис. 4.

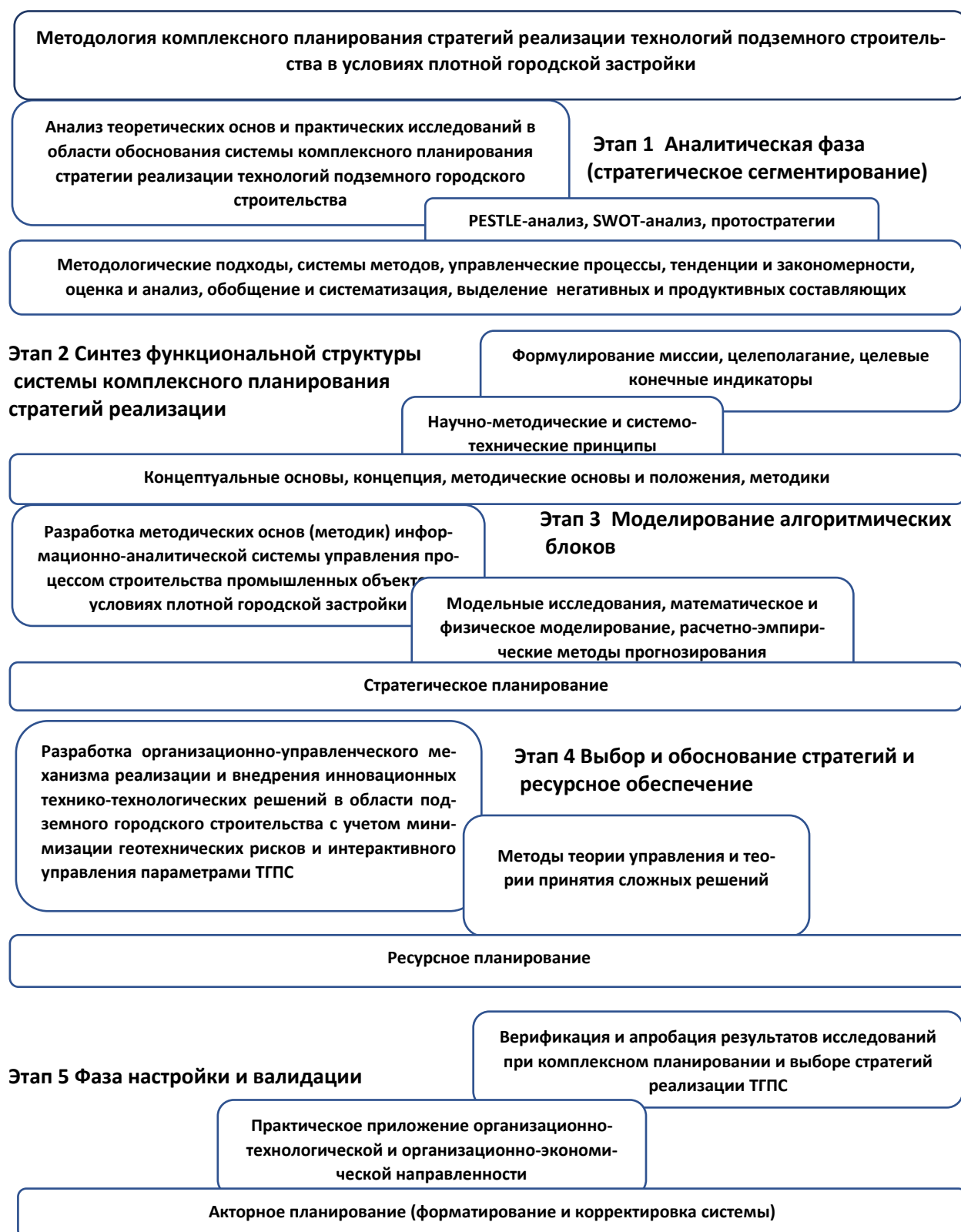


Рис. 4. Алгоритм иерархической соподчиненности разработки методологии комплексного планирования стратегий реализации ТГПС

Для построения единой системы комплексного планирования и управления стратегиями реализации ТГПС необходимо сформировать организационно-

управленческую структуру, которая определяет выделение и реализацию основных видов деятельности и составные элементы эффективной в экономическом плане реализации стратегий с установлением системы внутренних связей и обеспечения их адаптивной координации с формированием упорядоченного баланса. При этом именно технологические особенности определяют специфичность процесса принятия управленческих решений, которая проявляется в следующих аспектах. Одновременно с увеличением объёмов подземного строительства, во всём мире наблюдается рост новых («высоких», «передовых», «щадающих», «прогрессивных») ТППС, качественное развитие строительной и тоннелепроходческой техники. Задачи минимизации технологического воздействия подземного строительства на сложившуюся природно-техногенную среду рассматривались в работах Б.Н.Астраханова, К.П.Безродного, Д.М.Голицынского, С.Г.Елгаева, Ю.А.Крюковского, Н.И.Кулагина, С.В.Мазеина, А.Г.Мацегора, М.А.Мутушева, М.О.Лебедева, А.Н.Панкратенко, М.С.Плешко, Б.И.Федунца, В.В.Чеботаева, Е.В.Щекудова, С.Н.Chen, Y.C.Tsai, T.R.Wen и др.

Впервые понятие прогрессивных технологий подземного строительства, по-видимому, было введено Б.А.Картозия и Е.В. Петренко и названо ими «высокие» технологии, затем сформулировано В.М. Мостковым и дополнено С.Н. Власовым. Предлагается следующим образом развить представление о прогрессивных технологиях горно-строительных работ: прогрессивные технологии – это технологические процессы, машины и механизмы, позволяющие максимально безопасно сформировать природно-техническую геосистему. Т. е., к прогрессивным технологиям горно-строительных работ можно отнести только те из существующих методов и применяемое оборудование, которые обеспечивают максимально возможные механизацию и автоматизацию строительства, качество и безопасность возведения подземных сооружений, сохранность и безопасную эксплуатацию существующей застройки, минимальное влияние строительства на НДС породного массива. Основные критерии прогрессивных технологий горно-строительных работ приведены на рис. 5.

Системное планирование стратегий реализации строительных ТППС является одной из областей, характеризующихся высокой степенью интеллектуальной сложности, требует принятия организационно-управленческих решений путем привлечения широкого круга производственных процедур и правил, анализа процесса их «генерирования» и адаптации к конкретным горно-геологическим условиям реализации с формированием условий оптимальной взаимосвязки и взаимного согласования функционирования всех звеньев. Для установления соответствия современных технологий выделенным критериям, проведен их анализ с учётом производства работ в условиях плотной городской застройки, в различных горно-геологических условиях, наиболее оптимальных для их применения, а также учитывая особенности выполнения технологических операций. В результате было выделено: 17 способов устройства ограждений котлованов с 5-ю типами их промежуточного крепления, 4 способа полужакрытого производства работ и 11 методов проходки закрытым

способом, применяющихся в условиях плотной городской застройки, систематизированы эффективность и ограничения на их применение.

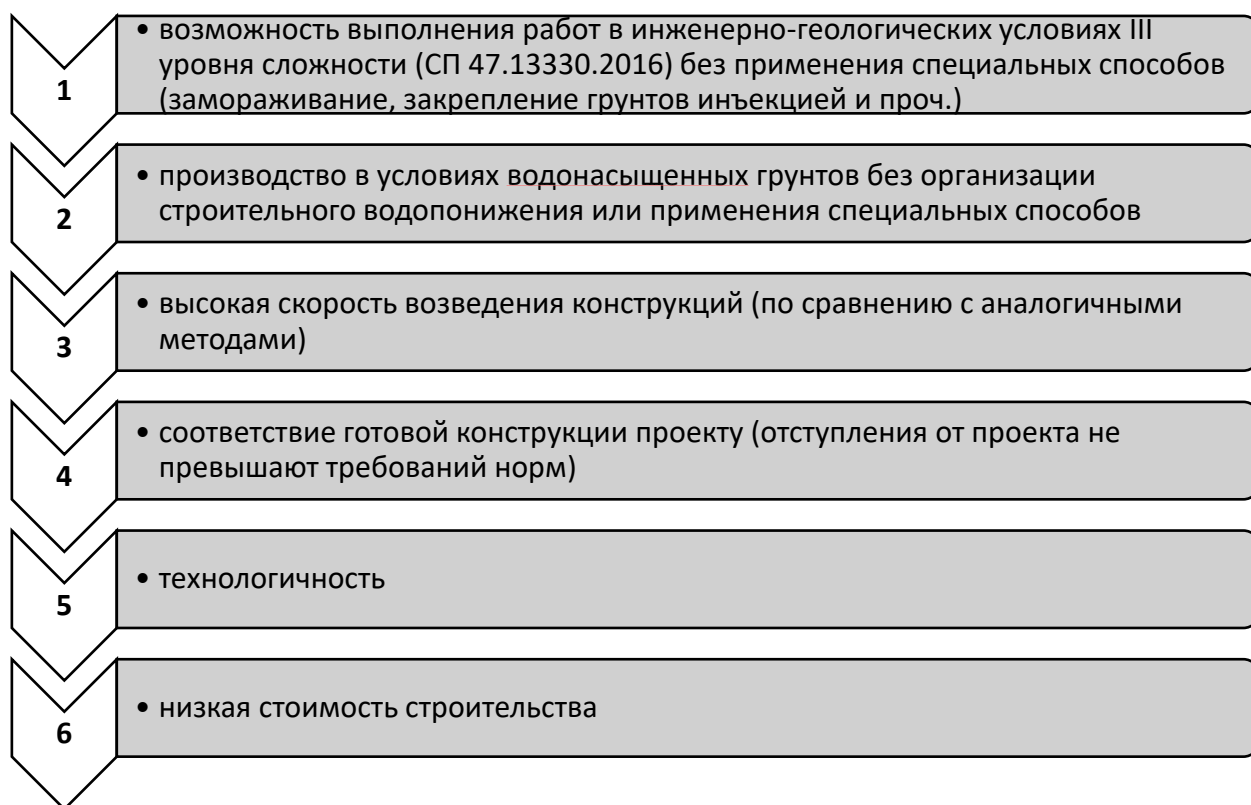


Рис. 5. Основные критерии прогрессивных технологий горно-строительных работ

В зависимости от вероятности проявления в период строительства и эксплуатации неблагоприятных горно-геологических процессов, должна быть выбрана конструкция сооружения, адекватно взаимодействующая с вмещающим породным массивом, и принят оптимальный способ производства работ для уменьшения и предотвращения воздействия негативных процессов. Вместе с тем, нужно постоянно учитывать влияние, которое оказывает подземное сооружение и способ его возведения на окружающую среду и принимать меры для обеспечения ее безопасности. Поэтому были разработаны рекомендации по применению прогрессивных технологий горно-строительных работ в горно-геологических условиях, характеризующихся неблагоприятными процессами, встречающимися в г. Москве.

В процессе выбора технологии горно-строительных работ выполняется комплекс технических мероприятий, связанных с минимизацией деформаций существующих зданий и сооружений. Все методы обеспечения сохранности зданий систематизированы автором следующим образом:

1. Прямые – усиление оснований, фундаментов и строительных конструкций. Любое технологическое воздействие на существующее здание в процессе выполнения защитных мероприятий будет сопровождаться технологическими деформациями этого здания. 2. Компенсирующие – геотехнические экраны, компенсационное нагнетание и проч. Применение технологий этой группы сопровождается неравномерными деформациями защищаемых

зданий, их регулярными подъёмами и опусканиями, перераспределениями напряжений в грунтовом массиве и в конструкциях самих зданий. 3.

Технологические – выбор технологии производства горно-строительных работ и управление ее параметрами, обеспечивающие минимальное влияние на НДС породного массива и конструктивную надежность эксплуатируемых зданий. Мероприятия последней группы являются наиболее эффективными, т.к. позволяют исключить или снизить до минимума объёмы дополнительных работ, минимизировать вмешательство в горно-геологическую и техногенную среды мегаполиса.

Научный подход к формированию процедуры разработки стратегии реализации строительных технологий с использованием концепции интегрированной поддержки принятия решений, как одного из ключевых факторов обеспечения их конкурентоспособности, требует учета научно-методических и системотехнических принципов синтеза организационно-технических решений ТППС. В разных районах крупных городов условия производства работ существенно различаются. Эти различия, в первую очередь определяются: плотностью застройки; её возрастом и техническим состоянием; близостью строительной площадки; наличием охранных зон; воздействием строительства на окружающую среду. Поэтому, для обоснования стратегических подходов и критериев выбора технологических параметров строительства, обеспечивающих минимальное негативное воздействие на существующую застройку и геологическую среду, были сформулированы дополнительные критерии прогрессивных технологий горно-строительных работ, показанные на рис. 6.

Автором, с применением экспертного метода оценки, было проведено ранжирование ранее выделенных способов горно-строительных работ. Для этого использовались результаты анкетирования 16-ти независимых экспертов. При ранжировании мнений экспертов принималась бальная система рангов, при этом высшим является наименьший ранг. Оценка согласованности мнений экспертов рассчитывалась по формуле Кендалла. Результаты ранжирования приведены в Приложении 3 к Диссертации. Была проведена оценка прогрессивных технологий горно-строительных работ по дополнительной группе критериев, определяющей условия работы в городе. При этом учитывалась предложенная автором систематизация воздействий на окружающую среду при строительстве подземных сооружений: строительно-технологические воздействия, возникающие в результате технологического воздействия при ведении горно-строительных работ; силовые воздействия, возникающие при изменении НДС породного массива во время строительства подземного сооружения и производственно-технологические воздействия, связанные с эксплуатацией оборудования, размещаемого в подземном сооружении. Обязательным элементом концептуального подхода к созданию системы комплексного планирования стратегии реализации ТППС должен являться контроль качества подземных работ на основе эффективного использования неразрушающих геофизических методов. Для формирования комплекса мероприятий по интерактивному управлению ТППС впервые введены три класса прогрессивных технологий: I – простой; II – средний и III – сложный. Ранжирование по

дополнительной группе критериев проводилось с учётом введенных классов, которым соответствовала 3-х балльная система рангов (Приложение 4 к диссертации). Результаты ранжирования по классам приведены в табл. 1, а в диссертации обосновано 1-е научное положение.

Таблица 1

Классы прогрессивных технологий подземного строительства

I класс	
1.	Погружение металлических свай и шпунта копром
2.	"Стена в грунте" из свай РИТ
II класс	
1.	Погружение металлических свай и шпунта вдавливанием
2.	"Стена в грунте"
2.1.	траншейная, изготавливаемая грейфером
2.2.	из jet-свай
2.3.	из jet-свай с химическими добавками
2.3.	буромесительным методом
3.	Крепление ограждающей конструкции котлована постоянными грунтовыми анкерами
4	Новоавстрийский тоннельный метод
5.	ТПМК с активным пригрузом забоя
5.1.	аэрационным
5.2.	комбинированным
III класс	
1.	Погружение металлических свай и шпунта высокочастотным вибропогружателем
2.	"Стена в грунте"
2.1.	траншейная, изготавливаемая фрезерным оборудованием
2.2.	сборно-монолитная с листовой арматурой
2.3.	сборно-монолитная с предварительным напряжением
2.4.	с тонкой противofiltrационной завесой, изготавливаемой по технологии jet-grouting
3.	Сборные распорные элементы ограждения котлована многократного применения
4.	Полузакрытый способ строительства
4.1.	Сверху-вниз
4.2.	Вверх-вниз
4.3.	Снизу-вверх
5	ТПМК с активным пригрузом забоя
5.1.	гидравлическим
5.2.	грунтовыми

Наличие разнообразных технологий подземного строительства определяет и активизирует их развитие с учетом системотехники на базе их эффективного проектирования и функционирования с прослеживанием разнообразных и индивидуальных пространственных и временных связей. Путем анализа обобщенных принципов, которые закладываются в основу научно-методического обеспечения комплексного планирования выбора стратегий реализации ТГПС (инженерно-экономического, функционально-системного, имитационно-моделирующего и вероятностно-статистического), в работе

выделены следующие дополнительные принципы, которые должны учитываться при разработке научно-методического обеспечения комплексного планирования стратегий реализации ТППС: а) системности; б) целеполагания; в) компетенции; г) иерархичности; д) обратной связи.

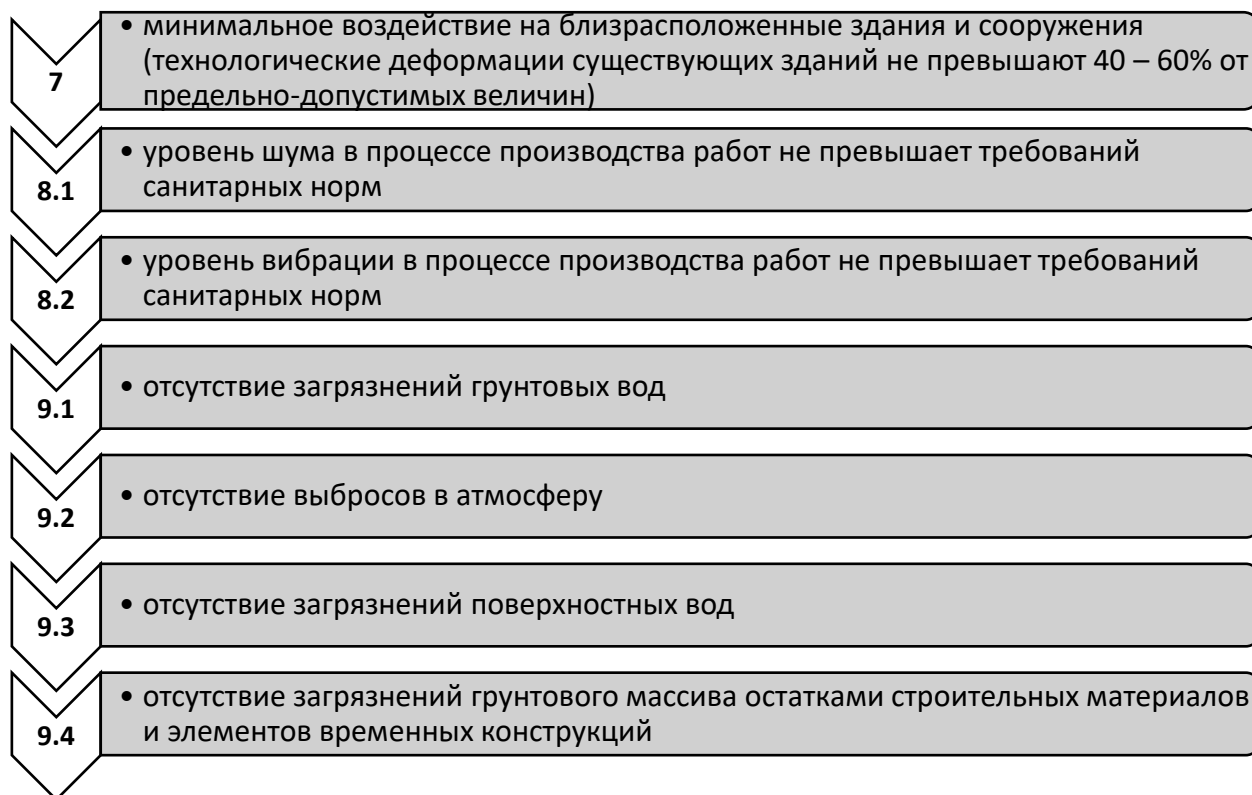


Рис. 6. Дополнительные критерии прогрессивных технологий горно-строительных работ

Третья глава посвящена разработке методических основ информационно-аналитической системы управления процессом строительства промышленных объектов в условиях плотной городской застройки.

В условиях ведения подземных работ с учетом воздействия природно-техногенной среды при подземном строительстве возможно выделение инвариантов процессов управления при создании системы комплексного планирования стратегии реализации ТППС с учетом геотехнических рисков, что требует привлечения методологических основ системотехнического подхода. При этом модель проблемной ситуации и целеполагания предлагается оценивать в виде:

$$[U, Z, H, G, Y, \Psi, W, K, P], \quad (1)$$

где U – множество альтернативных вариантов использования строительных технологий; Z – множество сопутствующих процессу строительства неуправляемых и управляемых промежуточных факторов; G – множество альтернативных вариантов исходов целеполагания; Y – конечный результативный вариант; H – модельное представление операции управления, W – количественное выражение эффективности операции управления; Ψ, K – операнды системы управления; P – обозначение системы модельных предпочтений.

Системотехнический анализ проблемы комплексного подхода к использованию строительных технологий, включая использование геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы управления подземным градостроительством базируется в этом случае на следующей последовательности действий, представленной на рис. 7.

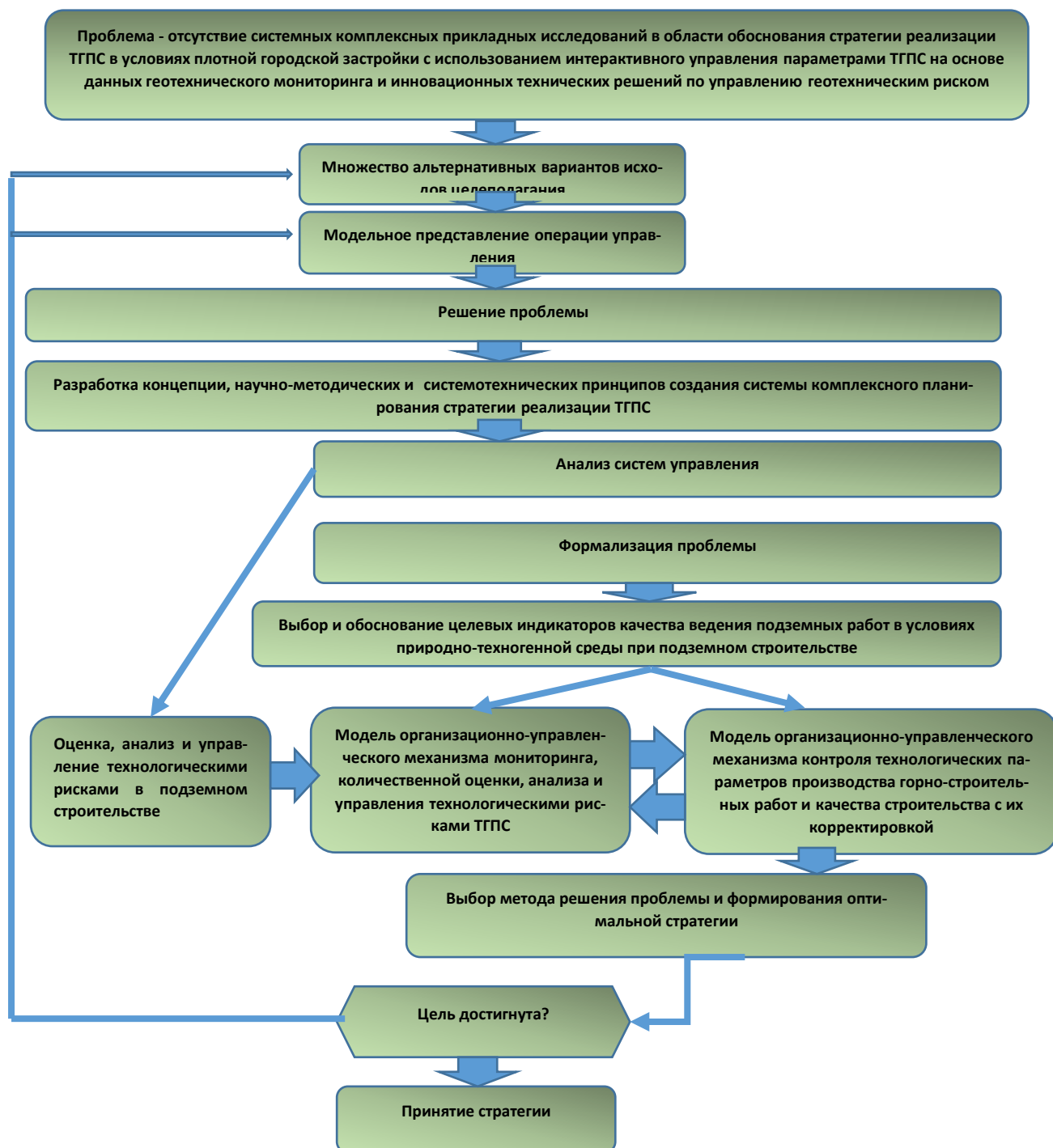


Рис. 7. Логическая последовательность действий с учетом использования системотехнического подхода

Необходимость использования различных ТГПС в условиях плотной городской застройки предопределяет их активное развитие с учетом связей

межсистемного характера, устанавливающих разнообразие подходов к системе управления их реализации.

Применение любых ТГПС в условиях плотной городской застройки приводит к возникновению «технологических деформаций» существующих зданий. В современной нормативной и технической литературе в последние годы этой теме уделяется много внимания, однако само понятие технологических деформаций в литературе отсутствует. Предлагается следующая формулировка: «технологические деформации» - это деформации оснований, фундаментов и строительных конструкций от воздействий технологического характера в процессе строительства. В качестве технологических деформаций предлагается рассматривать: осадку, крен и кривизну подошвы фундамента. При этом крен и кривизна подошвы фундаментов, могут определяться, как функции осадки.

$$S_{adt}(X_j) = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_j) \rightarrow \begin{Bmatrix} A_1 & \dots & A_j \\ B_1 & \dots & B_j \\ C_1 & \dots & C_j \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

$$\rho_{adt}(X_j) = F(S_{adt}(X_j)), \quad (3)$$

$$i_{adt}(X_j) = F(S_{adt}(X_j)), \quad (4)$$

где: S_{adt} , ρ_{adt} , i_{adt} – технологические осадка, кривизна подошвы фундаментов и крен, соответственно;

Таким образом, технологические деформации представляют собой функцию, зависящую от трёх групп факторов:

А. Внешние факторы: F_1 – горно-геологические условия; F_2 – гидро-геологические условия; F_3 – среднее давление под подошвой фундамента существующего здания.

В. Проектные факторы: F_4 – расстояние от места производства работ до фундамента здания по нормали в горизонтальной плоскости; F_5 – расстояние от места производства работ до фундамента здания по глубине; F_5 – конструктивные параметры возводимого сооружения, оказывающие влияние на технологию производства работ. Последний фактор является функцией целого ряда параметров, определяемых: способом строительства; габаритными размерами возводимой конструкции и т.д.;

С. Технологические факторы. Каждый из этих факторов представляет собой отдельную группу параметров: F_6 – характеристики и технологические особенности применяемого оборудования; F_7 – технологические параметры производства работ; F_8 – нормативные критерии качества.

Проведённый обзор технической литературы и нормативно-технических документов показывает, что: практически все имеющиеся методики расчёта технологических деформаций ориентированы только на технологические операции открытого способа работ; существует ограниченный перечень аналитических методик расчёта технологических деформаций, разработанных 20 и более лет назад и зачастую не соответствующих параметрам современной строительной техники; современные нормативные рекомендации СП

248.1325800.2016 и СП 361.1325800.2017 не соответствуют фактическим данным наблюдений за технологическими деформациями и зависят от качества математического моделирования совместной работы подземного сооружения с вмещающим породным массивом; некоторые методики не учитывают ряд конструктивных параметров возводимых конструкций; эмпирические методики определяются горно-геологическими условиями региона, для которого они разрабатываются; методы математического моделирования технологических деформаций не имеют чётко зафиксированного алгоритма таких расчётов; для горно-геологических условий г. Москвы не приводятся методы определения технологических деформаций наиболее часто используемой прогрессивной технологии III класса - «стена в грунте» траншейного типа; в большинстве источников не указывается степень сходимости результатов расчётов с данными натурных наблюдений.

Автором проведён ряд экспериментальных исследований по наблюдению за деформациями существующей застройки в процессе строительства подземных сооружений в открытых котлованах Московского региона. Наблюдения велись на 39-ти объектах гражданского строительства и 115 объектах метрополитена. Проведенные экспериментальные исследования, а также выполненные ранее обобщение и анализ данных литературных источников показывают, что применение прогрессивных ТГПС позволяет существенно снизить деформации существующей застройки, обеспечить оптимальные условия её сохранности и безопасной эксплуатации. При этом, можно заключить, что глубина воздействия на грунтовый массив в процессе выполнения технологических операций, оказывает определяющее влияние на деформации окружающей застройки. Это влияние, вне зависимости от горно-геологических условий, категории технического состояния существующих зданий и технологии производства работ, проявляется при глубинах котлована порядка 5, 8 и 12 м. Указанные величины глубин, определяются не изменением НДС системы «крепление котлована – породный массив», а типовыми глубинами установки распорных креплений. В среднем технологические осадки существующих зданий, в пределах имеющегося ряда наблюдений, составляют:

- при усилении фундаментов существующих зданий - 48% от предельно допустимой осадки здания;
- при устройстве ограждающих конструкций котлована - 43% от предельно допустимой осадки здания.

На рис. 8 приводится степенная аппроксимация функций $S_{adt}=F(L/h)$ методом наименьших квадратов результатов натурных наблюдений за технологическими осадками зданий при устройстве «стены в грунте» траншейного типа. Эмпирическая зависимость осадок зданий окружающей застройки S_{adt} от соотношения L/h , где L – расстояние от края фундамента до края «стены в грунте», h – глубина котлована, имеет вид:

$$S_{adt} = 0.65 \left(L/h \right)^{-1.15}. \quad (5)$$

В среднем, вне зависимости от типа грунта, технологическая осадка существующих зданий при устройстве «стены в грунте» траншейного типа

составляет 32% от расчётной, полученной методами математического моделирования, что превышает рекомендации СП 248.1325800.2016.

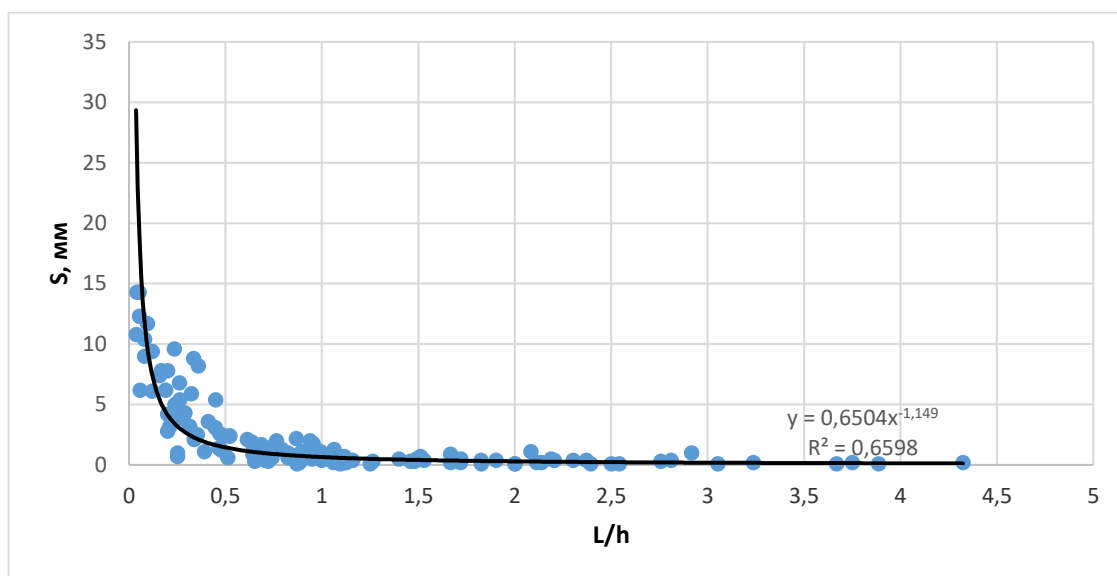


Рис. 8. График зависимости $s = f(L/h)$ по результатам экспериментальных исследований

Для оценки достоверности проведённых аппроксимаций был использован коэффициент детерминации R^2 , показывающий, что максимальная ошибка аппроксимации не превышает 26%. С целью верификации полученного выражения использовались результаты наблюдений за осадками зданий, не вошедших в выборку для статистического анализа. При этом, сопоставление расчётной и замеренной величин технологических осадок показывает среднюю величину сходимости 88%.

Полученная эмпирическая зависимость технологических осадок при устройстве «стены в грунте» траншейного типа в горно-геологических условиях г. Москвы от глубины котлована и расстояния от края фундамента до края ограждающей конструкции, позволяет прогнозировать технологические деформации с достаточно высокой точностью. Однако она не позволяет учесть в расчёте условия конкретной строительной площадки, поэтому для повышения точности расчётов и распространения её на любые горно-геологические условия было выполнено численное моделирование для различных типов геологических условий. Для этого была проведена систематизация основных причин неудовлетворительной сходимости результатов расчётов с данными экспериментальных исследований. Анализ систематизаций горно-геологических условий строительства, позволил сформировать 4 типа грунтовых условий для последующих модельных исследований (табл. 2). Проведенные численные исследования эффективности применения «типовых» математических моделей поведения грунта под нагрузкой, применяемых в зарубежных программных комплексах коммерческого назначения, показали, что наиболее близкое к экспериментальным данным отечественных и зарубежных литературных источников даёт «Hardening Soil Model» при учёте поэтапности строительства.

Важным фактором, влияющим на сходимость результатов расчётов с натурными данными, является выбор расчётной схемы. Выполненные численные исследования показали, что расчётные осадки при математическом моделировании в трёхмерной постановке примерно на 4% превышают фактически замеренную величину. С учётом полученных данных о выборе оптимальной модели поведения грунта под нагрузкой, последовательности расчётов и расчётной схемы, для исследования технологических деформаций, возникающих при устройстве «стены в грунте» траншейного типа, проведены модельные исследования устройства ограждения котлована с последующей его разработкой в различных грунтовых условиях.

Таблица 2

Типы горно-геологических условий и физико-механические характеристики пород для модельных исследований

	«Глина»	«Суглинок»	«Супесь»	«Песок»
Модуль деформации грунта E , кН/м ²	10000	10000	10000	10000
Коэффициент Пуассона ν	0,42	0,35	0,3	0,3
Удельный вес γ , кН/м ³	19,5	19,5	19,5	19,5
Сцепление c , кН/м ²	33	18	11	2
Угол внутреннего трения φ , °	11	18	22	23
Угол дилатансии ψ , °	0	0	0	0

Рассматривались 4 модельных котлована глубиной от 6 до 12 м с ограждением «стена в грунте» траншейного типа толщиной 0,6 м, с одним и двумя ярусами распорок. Численное моделирование технологического процесса изготовления «стены в грунте» выполнялось методом конечных элементов. Эксперимент включал в себя 4 типа горно-геологических условий. В качестве переменных факторов использовались: горно-геологические условия, глубина котлована, типы крепления и расчетной модели. Рассматривалось 3 типа расчетных моделей.

Первая расчётная модель. Поведение грунта под нагрузкой описывалось «Hardening Soil Model». При этом учитывалось наличие ослабленной зоны, возникающей при разработке траншеи. Устройство «стены в грунте» моделировалось поярусно по захваткам.

Вторая расчётная модель – Кулона – Мора при той же методике эксперимента.

Третья расчётная модель – усовершенствованная задача с моделированием разрыхления верхних слоев грунта. Поведение грунта под нагрузкой описывалось моделью упрочняющегося грунта по аналогии с первой задачей. Разрыхление слоя грунта, подстилающего вынимаемый массив, учитывалось с помощью функции разгрузки.

Всего было выполнено 48 численных экспериментов, в результате которых получены картины НДС породного массива.

Сопоставление полученных функций для расчётных моделей (без учёта горно-геологических условий) и экспериментальных данных путем вычисления коэффициента корреляции Пирсона показало сходимость полученных расчетным путем по модели 3 и результатов натурных наблюдений технологических осадок на 91%. Это говорит о том, что усовершенствованная расчетная модель грунта с разрыхляемым верхним слоем выбрана и усовершенствована достаточно верно. Она позволяет получать максимально вероятные значения технологических осадок поверхности грунта за пределами «стены в грунте» и может быть использована для их прогнозирования.

В табл. 3 приводится сопоставление расчётных данных с рекомендациями по определению технологических деформаций СП 248.1325800.2016. Для удобства сопоставления, типы грунтов при численном моделировании (см. табл. 2) сведены к рекомендациям СП 248.1325800.2016. Из табл. 3 видно, что технологические осадки при устройстве «стены в грунте» траншейного типа для песчаных грунтов, в зависимости от принятой расчётной модели, составляют от 15 до 37% от прогнозируемого расчётного значения деформации при откопке котлована, а для глинистых грунтов – от 20 до 50 %, что существенно превышает требования норм.

Максимальная технологическая осадка возникает при устройстве ограждения котлована в песчаных грунтах и её абсолютное значение до 2,5 раз превышает аналогичную величину в глинах.

Таблица 3

Сопоставление технологических деформаций при открытом способе работ по результатам выполненных расчётов и рекомендаций СП 248.1325800.2016

Тип ограждения котлована	Тип грунта	Значение технологической осадки, % прогнозируемой			
		Рекомендуемое СП 248.1325800.2016	Расчётное		
			«Hardening Soil Model»	Упругая задача	Усовершенствованная задача
Стена в грунте	Песчаный	5-15	37	26	15
	Глинистый	5-10	50	44	20

Для оценки абсолютных значений осадок можно воспользоваться аппроксимирующими функциями:

- для «песков»:

$$S_{adt,s} = 0.0045t L/h^{-0,47}, \quad (6)$$

- для «супесей»:

$$S_{adt,sl} = 0.004t L/h^{-0,45}, \quad (7)$$

- для «суглинков»:

$$S_{adt,l} = 0.0029tL/h^{-0,42}, \quad (8)$$

- для «глин»:

$$S_{adt,c} = 0.0022tL/h^{-0,43}. \quad (9)$$

где t – толщина «стены в грунте», мм, L – расстояние от края фундамента до края «стены в грунте», h – глубина котлована

Предложенный расчётно-эмпирический метод вычисления технологических деформаций при устройстве «стены в грунте» траншейного типа в различных типах горно-геологических условий обеспечивает сходимость с результатами натурных наблюдений с точностью до 91%. Данная модель позволяет получать максимально вероятные значения технологических осадок поверхности грунта за пределами «стены в грунте» и может быть использована для их прогнозирования. Тем самым доказано 2-е научное положение.

Четвертая глава посвящена разработке организационно-управленческого механизма реализации и внедрения инновационных технико-технологических решений в области городского подземного строительства с учетом минимизации геотехнических рисков и интерактивного управления параметрами ТГПС.

Все виды горных производств основаны на использовании подземных строительных технологий и имеют сложную иерархию производственных процессов, что позволяет их отнести к категории высокотехнологичных. В этих условиях эффективное управление параметрами ТГПС можно обозначить в виде критического фактора стратегии реализации подземных строительных технологий. В качестве основополагающей целевой направленности технологической стратегии принимается конкурентное технологическое преимущество использования подземных строительных технологий, которое направлено на достижение конечных целевых производственных и экономических индикаторов с обеспечением должного уровня промышленно-экологической безопасности и геотехнического риска в условиях среды функционирования. При существующей многовариантности альтернативных подходов к достижению конкурентоспособности ТГПС важно использовать комплексный подход к планированию их реализации в широком спектре горно-геологических и горнотехнических условий, что на основе системного подхода будет способствовать оптимальной интеграции технологической, управленческой, организационной и производственной стратегии в целостную систему. При разработке системы комплексного планирования стратегий реализации ТГПС, необходимо идентифицировать комплекс частных технологических задач и соответствующие технологии. На этой стадии проводится рассмотрение всех существующих и инновационных разработок и усовершенствований используемых технологических производственных процессов, которые содействуют и обеспечивают должную степень реализации стратегии.

Для решения этой задачи сформулирована системная методология исследования технологического воздействия на окружающую среду и сложившуюся застройку, которая включает в себя изучение следующих процессов: включение в окружающую среду объекта подземного строительства; извлечение части компонентов из окружающей среды (откопка грунта в котловане, снос существующих строений и проч.); изменение сложившихся связей или процессов (барражный эффект, теплоперенос из эксплуатируемых подземных сооружений в грунтовой массив, откачка грунтовых вод и проч.); изменение НДС, физико-механических или химических свойств геологической среды; изменение технического состояния окружающей застройки.

При этом мероприятия по интерактивному управлению ТГПС на основе данных геотехнического мониторинга должны базироваться на следующих принципах: интеграции – комплексного воздействия нового строительства и технологии ведения работ на природную, техническую, социальную, экономическую, экологическую системы; превентивности – оценка технологического воздействия должна производиться на стадии проектирования, учитываться при принятии решений и не допускать негативные технологические влияния на окружающую среду и сложившуюся застройку и связанные с ними, технические, социальные и экономические последствия; альтернативности, представляющем собой выявление и анализ альтернативных методов строительства, позволяющих минимизировать воздействия на окружающую среду и сложившуюся застройку; приоритетности, под которым подразумевается приоритет безопасности строительства над всеми другими факторами; достоверности, определяющем контрольные и предельно-допустимые параметры наблюдений; совместимости – проектируемое строительство не должно ухудшать качество жизни населения и негативно влиять на окружающую среду и сложившуюся застройку; гибкости – система интерактивного управления ТГПС должна иметь возможность корректировки технологических параметров производства работ на всех стадиях жизненного цикла проекта.

В качестве метода управления технологической безопасностью подземного строительства предлагается интерактивное управление параметрами ТГПС на основании сбора информации, её последующего анализа, учёта ранее выполненных исследований и обратной связи с причинами, вызвавшими реакцию объекта мониторинга. На основании описанных принципов разработан алгоритм интерактивного управления ТГПС на основе данных геотехнического мониторинга (рис. 9):

1. Анализ принятых технологических решений по строительству. На этом этапе необходимо проанализировать принятые в проекте технические решения, последовательность выполнения технологических операций,

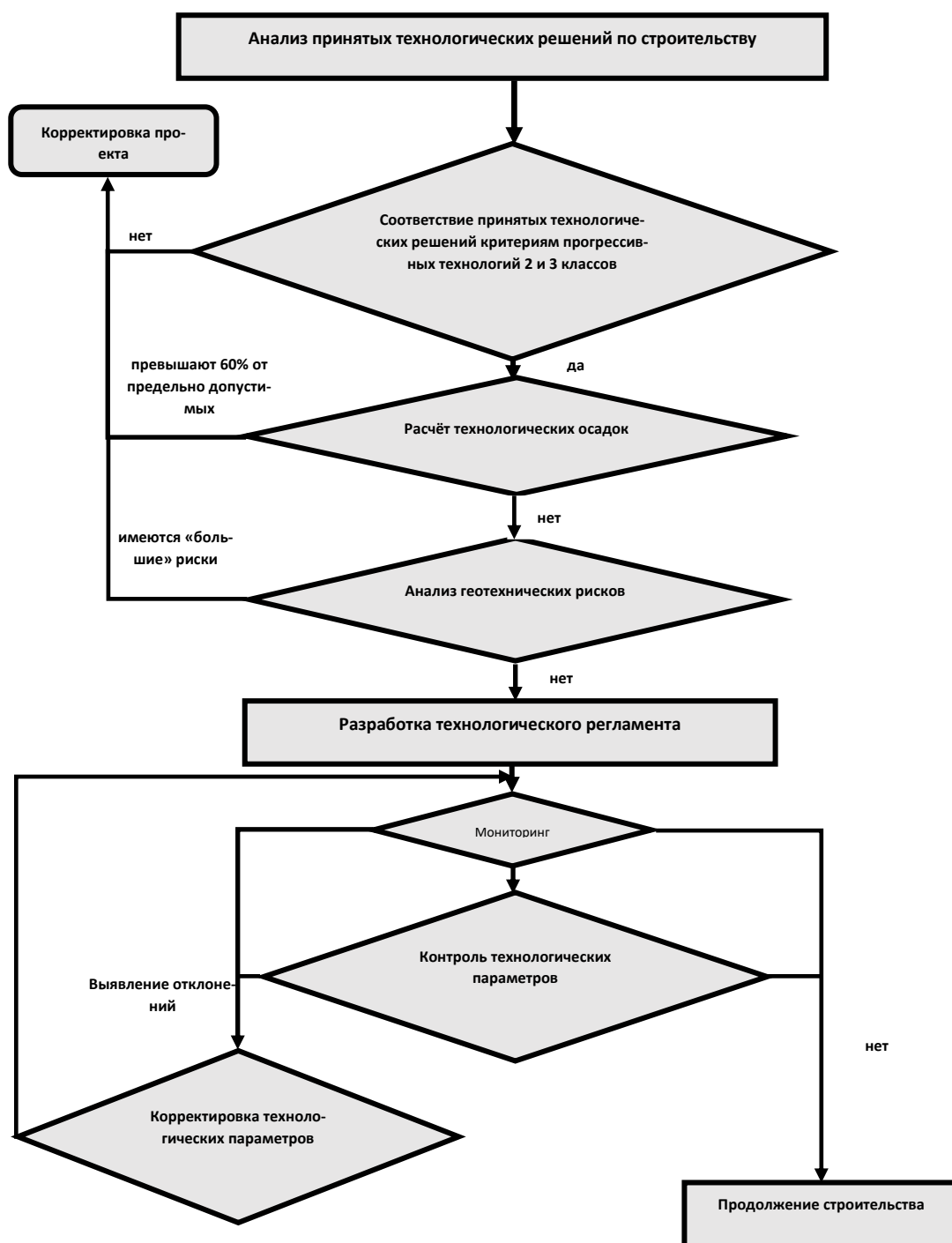


Рис. 9. Алгоритм интерактивного управления ТГПС на основе данных геотехнического мониторинга

применяемые машины и механизмы с точки зрения влияния на предельно-допустимые деформации зданий и сооружений и на окружающую среду в целом. При выполнении экспертного анализа проектной документации необходимо учитывать: горно-геологические и гидрогеологические условия, их степень сложности, полноту и достаточность изысканий, материалы ранее выполненных исследований применительно к конкретному региону; сведения о градостроительной освоенности территории; материалы обследования технического состояния зданий и сооружений; анализ материалов по предыдущему использованию территории, включая исторические сведения, данные о

снесенной ранее застройке, грунтах культурного слоя, о имевшем месте ранее строительстве, аварийных ситуациях и их причинах; учёт при проектировании современных конструктивных, технических и технологических решений строительства, применение эффективных и безопасных материалов, строительных машин и эксплуатационного оборудования. При проведении анализа необходимо руководствоваться ранжированием прогрессивных технологий и по возможности исключать из проекта применение технологий, не соответствующих классификации табл. 5.

На этом же этапе необходимо проведение геофизических исследований грунтового массива в пределах габарита проектируемого объекта подземного строительства или по трассе строящегося тоннеля. Результаты геофизических исследований должны учитываться на последующих стадиях, в том числе при разработке технологического регламента на строительство.

2. Прогноз технологических деформаций по предложенным зависимостям. На этом этапе, кроме непосредственно расчёта технологических деформаций, должна быть выполнена верификация результатов геотехнических расчётов, проведенных с использованием методов математического моделирования.

3. Анализ геотехнических рисков, который позволит выявить наиболее опасные технологические операции при строительстве и минимизировать их влияния на безопасность существующей застройки и среды функционирования. Технологические риски определяют самые большие сложности в процессе принятия конечных проектных технологических решений, так как служат основой для формирования уровня неопределенности. Ввиду отсутствия в настоящее время термина «технологический риск», это понятие сформулировано следующим образом: «технологические риски – это геотехнические риски, проявление которых обусловлено технологическими процессами ведения горно-строительных работ, применяемыми машинами и оборудованием, а также горно-геологическими и гидрологическими условиями, которые могут повлиять на безопасность выполнения технологических операций». Исходя из этого, предложенная структура управления предусматривает идентификацию всех факторов риска использования ТГПС с их последующей качественной интерпретацией, объективной и надежной количественной оценкой. В структуру системы управления введены составляющие выявления допустимого уровня технологического риска, который не приведет к проявлению негативных последствий использования ТГПС, разработка номенклатуры мероприятий по снижению его уровня и др. Влияние проявлений и воздействий различных изменяющихся параметров внутренней и внешней среды функционирования учитывается при этом путем ввода временного фактора. Система количественной оценки и стратегического прогноза проявления технологических рисков направлена на выбор и обоснование оптимальных вариантов строительства и использования ТГПС с адекватной технологическим рискам системой предупредительных мероприятий, обеспечивающих должный уровень промышленно-экологической безопасности и технологического риска в условиях среды функционирования.

4. Оперативная корректировка параметров ТГПС путем реализации организационно-управленческого механизма контроля технологических параметров производства работ и качества строительства. Технология процессов управления, как элемент организационно-управленческого механизма, предусматривает организацию системы информационного обеспечения управленческих решений и передачи информации посредством контроля качества выполняемых технологических операций и скрытых работ. Важной составляющей этого управляющего процесса служит формирование статистической оперативной базы данных в виде динамических рядов, которая позволяет реализовать аппарат корреляционно-регрессионного анализа с корреляционными моделями, способных обеспечить прогнозную оценку качества выполняемых технологических операций. Особую значимость в структуре механизма эффективного управления стратегией реализации ТГПС приобретает система моделирующих технологий по выполнению оперативного контроля и учёта качества выполнения регламентных плановых работ, процессов и операций, встроенная в систему организационного обеспечения этого управленческого механизма. Организация трансформации и накопления статистической информации должна быть дополнена вводимыми в организационную структуру элементами, отображающими их объективный контроль и анализ, что позволяет регулировать и координировать операции выполняемых технологических процессов.

Контроль качества технологических операций и скрытых работ, кроме фиксации нормативных параметров (см. рис. 2) и соблюдения требований технологического регламента, должен включать в себя использование геофизических методов для контроля качества таких работ, как качество изготовления «стены в грунте», тампонаж заобделочного пространства и проч. При этом необходимо сопоставлять и анализировать расчётные и фактические значения технологических параметров, влияющих на безопасность среды функционирования и существующей застройки. При необходимости, выполнять повторные геотехнические расчёты методом обратного анализа с последующей корректировкой проекта.

Для обеспечения безопасности строительства должен быть разработан технологический регламент, предусматривающий указания, требования и рекомендации по выполнению всех технологических операций, оказывающих влияние на безопасность зданий и окружающей среды.

5. Мониторинг должен вестись за: технологическими деформациями в процессе строительства с применением современных высокоточных систем автоматизированного мониторинга; техническим состоянием зданий и сооружений; НДС породного массива; параметрами вибрационных и др. технологических воздействий в процессе производства работ. Предлагаемая система мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве, контроля технологических параметров производства подземных работ и качества строительства, организационно-управленческих процедура оперативной корректировки параметров ТГПС, технологические регламенты строительства должны быть неотъемлемыми

частями системы комплексного планирования стратегии реализации строительных технологий и положены в основу организационно-управленческого механизма реализации и внедрения инновационных технико-технологических решений в области ГПС с учетом минимизации геотехнических рисков и интерактивного управления параметрами ТГПС. Таким образом, обосновано 3-е научное положение.

Разработанный методический инструментарий позволяет использовать его при разработке проектной документации, ее экспертизе, организации научно-технического сопровождения строительства (НТСС) и геотехнического мониторинга, при ведении строительного контроля заказчиком, подрядчиком и государственным строительным надзором, в процессе страховой оценки рисков и сдачи законченного строительством объекта в эксплуатацию. Обосновано 4-е научное положение.

В *пятой главе* выполнены верификация и апробация результатов исследований при комплексном планировании и выборе стратегий реализации ТГПС строительства на примере промышленных объектов Московского региона путем проведенных крупномасштабных исследований на базе совместного агрегирования известных методов верификации научных исследований в единую систему. С использованием данного подхода в процесс верификации были вовлечены объекты исследований строящегося метрополитена г. Москвы.

При закрытом способе строительства технологическая составляющая от общей величины замеренной осадки достигает 90%. При этом, согласно выполненному автором анализу сходимости результатов геотехнических расчётов, выполненных различными исследователями, с данными мониторинга, точность математического моделирования влияния проходки тоннелей щитами диаметром 6 м на существующие здания составляет 70,6%, щитами с диаметром 10 м – 6,5%. Таким образом, необходима разработка достаточно простых аналитических выражений, позволяющих, при минимальном наборе исходных данных с достаточно высокой точностью прогнозировать деформации существующей застройки при строительстве тоннельных сооружений с использованием механизированных щитов с активным пригрузом забоя. С этой целью были проанализированы результаты мониторинга при проходке щитами в песчано-глинистых грунтах на глубине до 20-30 м с диаметрами рабочего органа 6 м. Эмпирическая зависимость, полученная методом наименьших квадратов для щитов диаметром 6 м:

$$s = 3,6 \cdot 10^{-4} d_r \left(L/h \right)^{-0.65}. \quad (10)$$

L – расстояние до оси тоннеля, м, d_r – диаметр рабочего органа щита, м, h – глубина заложения оси тоннеля, м

Максимальная ошибка аппроксимации – 26 %, при этом сопоставление сходимости результатов численных расчётов с данными мониторинга даёт величину 70,6%, т.е. точность расчётов по предлагаемой эмпирической формуле

на 3,5% превышает точность математического моделирования и может использоваться при верификации геотехнических расчётов.

Эмпирическая зависимость для щитов диаметром 10 м:

$$s = 7,56 \cdot 10^{-4} d_r \left(L/h \right)^{-0.78}. \quad (11)$$

Максимальная ошибка аппроксимации – 73,4%, при этом сопоставление сходимости результатов численных расчётов с данными мониторинга даёт величину 6,5 %, т.е. точность расчётов по формуле (11) в 11,3 раза превышает точность математического моделирования. Выражение (11) может использоваться при верификации геотехнических расчётов.

Таким образом, полученные эмпирические зависимости позволяют на основании минимальных данных о проектируемом строительстве (глубина тоннеля и расстояние до здания) предварительно оценить деформации здания в результате проходки тоннеля щитами с диаметром рабочего органа 6 и 10 м и грунтовым пригрузом забоя в песчано-глинистых грунтах г. Москвы. Выражения (10) и (11) позволяют выполнить предварительную оценку деформации зданий на поверхности с более высокой точностью по сравнению с методами математического моделирования, а также могут быть использованы при верификации результатов численного моделирования.

На рис. 6 показано, что при моделировании закрытого способа строительства одной из причин неудовлетворительной сходимости геотехнических расчётов с натурными данными является технологический перебор грунта V_L . Коэффициент технологического перебора грунта при механизированной проходке тоннелей определяется: несоответствием диаметра резания наружному диаметру обделки: при применении щитов с внешним расположением рабочего органа, в среднем диаметр ротора на 3 – 5 % больше диаметра обделки тоннеля; неполным заполнением тампонажным раствором заобделочного пространства; отсутствием заполнения или неполным заполнением пространства за оболочкой щита глинистым или медленно твердеющим тампонажным раствором. Таким образом, перебор грунта вызывается технологическими факторами и приводит к технологическим деформациям поверхности.

В РФ величины коэффициента перебора грунта регламентируются СП 249.1325800.2016 для строительства тоннелей диаметром до 4 м в зависимости от типа грунта в забое. Они существенно превышают значения коэффициентов технологического перебора, полученные зарубежными исследователями. На основании анализа литературных данных и технологических параметров работы ТПМК установлено, что на величину коэффициента технологического перебора грунта влияют: относительная глубина заложения тоннеля h/d ; связность грунта; отношение величины зазора между диаметром режущего органа щита и наружным диаметром обделки, определяемое как:

$$\zeta = \frac{d_r - d}{d}. \quad (12)$$

где ζ - коэффициент, характеризующий соотношение величины зазора a между диаметром режущего органа щита d_r и наружным диаметром обделки d к внешнему диаметру тоннеля.

Для разработки методики вычисления коэффициента технологического перебора грунта автором проведен анализ результатов мониторинга при проходке перегонных тоннелей Некрасовской и Большой кольцевой линий Московского метрополитена. Предлагается 2 варианта расчёта указанного параметра:

1. Эмпирический коэффициент технологического перебора – рассчитывался методом обратного анализа по известной зависимости:

$$V_{ie} = \frac{s_f \cdot i \cdot \sqrt{2\pi}}{S} \quad (13)$$

где s_f – фактическая осадка в точке наблюдений, расположенной на расстоянии i от оси тоннеля, S – площадь забоя.

2. Приведенный коэффициент технологического перебора, определяемый по требованиям СП 249.1325800.2016, с учётом распределения грунтов по площади забоя:

$$V_{lp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Lni} S_i}{S} \quad (14)$$

где S_i – площадь участка забоя с нормативным коэффициентом технологического перебора V_{Lni} , соответствующим данному типу грунта по СП 249.1325800.2016.

Зависимости

$$V_L = f\left(h/d_r, \xi\right) \quad (15)$$

для щитов диаметром 6 м и 10 м построены по данным экспериментальных исследований автора. Для расширения области исследований использованы результаты натурных наблюдений М.В.Тупикова при проходке коллекторных тоннелей условным диаметром 4 м.

Полученное расчетно-эмпирическое выражение позволяет при проходке в смешанных грунтах рассчитывать коэффициент технологического перебора с учётом относительной глубины заложения тоннеля:

$$V_{le} = 0.49 \frac{h}{d_r} + 0,96. \quad (16)$$

Уравнение аппроксимации зависимости между эмпирическим и приведённым коэффициентами технологического перебора позволяет, базируясь на нормативных значениях СП 249.1325800.2016 рассчитывать эмпирический коэффициент технологического перебора с учётом горно-геологических условий в забое тоннеля:

$$V_{le} = 0.69V_{lp} + 0,53 \quad (17)$$

На основании проведённых исследований составлен алгоритм расчёта коэффициента технологического перебора, представленный на рис. 10.

Разработанные методологические основы интерактивного управления параметрами ТГПС, как метода управления технологической безопасностью подземного строительства нашли применение на строящихся объектах метрополитена г. Москвы. Экономический эффект от внедрения составил 7,38 млрд. руб.

Интерактивное управление параметрами ТГПС включено во все этапы жизненного цикла строительного проекта и обеспечивает высокое качество и

безаварийное строительство в условиях плотной городской застройки и сложных горно-геологических и гидрогеологических условий Москвы.

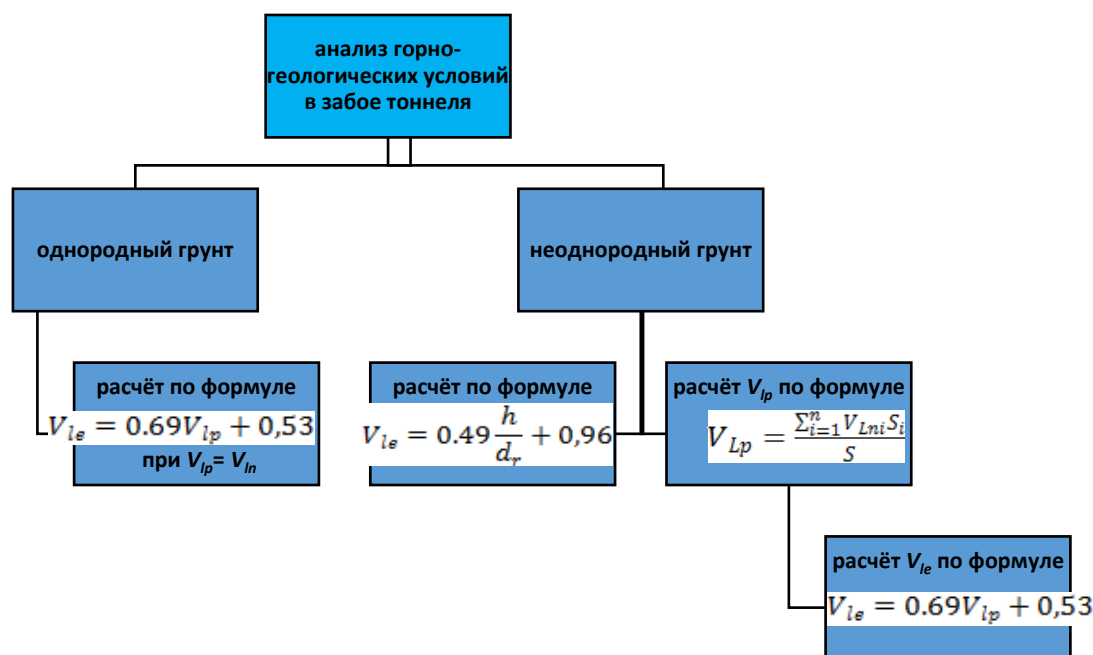


Рис. 10. Алгоритм расчёта коэффициента технологического перебора

При строительстве подземных сооружений промышленного и гражданского назначения отдельные научные положения диссертации и методологические основы интерактивного управления параметрами ТГПС в целом могут быть использованы: при разработке проектной документации для принятия обоснованных технических и технологических решений, обеспечивающих безопасность строительства и природно-технической среды, системного анализа причин и последствий принятых технических решений и аварийных ситуаций, своевременного и обоснованного исключения из практики проектирования неэффективных решений; при государственной экспертизе проектов – для верификации результатов геотехнических расчётов методами математического моделирования; при НТСС и геотехническом мониторинге, как метод управления технологической безопасностью строительства и инструмент анализа данных мониторингов; при строительном контроле заказчика для оценки требуемого уровня качества и безопасности строительства; при строительном контроле подрядчика для проверки соответствия выполняемых работ требованиям проектной документации и технологических регламентов, проверки качества скрытых работ; при государственном строительном надзоре с целью выявления соответствия требованиям нормативных документов, технических регламентов, проектной документации, в первую очередь в части соответствия требованиям безопасности; при страховой экспертизе для оценки строительных рисков; при сдаче законченного строительством объекта в эксплуатацию – для оценки качества и степени безопасности объекта и его влияния на ГТС. Тем самым обосновано 5-е научное положение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований решена крупная научная проблема разработки научно-методического обеспечения системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС с выявлением основных технологических параметров горно-строительных работ, оказывающих непосредственное влияние на НДС породного массива, организационно-управленческого механизма обеспечения сохранности сложившейся застройки, как производной от этого влияния, а также разработка инновационных технических решений, в основу которых заложена минимизация геотехнических рисков, имеющие важное значение для повышения технико-экономической эффективности подземного строительства и эксплуатационной надежности существующей застройки в рамках развития технологий освоения подземного пространства крупных городов РФ.

На основании проведенных экспериментально-теоретических исследований основополагающие результаты практического и научного плана, полученные лично автором, локализуются вокруг следующих составляющих:

1. В результате проведенного анализа теоретических основ и практических исследований в области обоснования системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС, основных тенденций и закономерностей освоения городского подземного пространства с учетом промышленно-экологической безопасности, основных целевых индикаторов качества ведения подземных работ в условиях природно-техногенной среды, обобщения и систематизации контролируемых параметров качества производства подземных работ с учетом и оценкой организационно-технологической и организационно-экономической надежности и устойчивости производственных процессов обосновано, что требуется корректировка, трансформация и развитие системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС с учетом плотности городской застройки, геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы соответствующего обеспечения управления в сфере подземного градостроительства, что позволяет, в конечном итоге, количественно оценить обратную реакцию существующей застройки на параметры технологии подземных работ, повысить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность реализуемых проектов с учетом соблюдения интересов всех стейкхолдеров.

2. В рамках заявленного концептуального подхода к созданию системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС, обобщения и анализа современных прогрессивных ТГПС, непосредственных факторов, оказывающих влияние на природно-техническую систему при применении современных технологических решений освоения подземного пространства разработаны научно-методические и системотехнические принципы синтеза организационно-технических решений ТГПС. Эти принципы базируются на предложенных автором двух группах критериев прогрессивных технологий горно-строительных работ, учитывающие особенности производства

технологических операций в условиях плотной городской застройки, сложных горно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических условиях.

Для формирования комплекса мероприятий по интерактивному управлению ТГПС в условиях плотной городской застройки впервые введены три класса прогрессивных технологий. С применением экспертного метода оценки, выполнено ранжирование современных способов горно-строительных работ и предложена их классификация, позволяющая выделять методы строительства, минимизирующие технологические деформации зданий на поверхности до 40 – 60% по сравнению с другими способами.

3. На основе исследований, выполненных автором в области разработки методических основ (методик) информационно-аналитической системы управления процессом строительства промышленных объектов в условиях плотной городской застройки выявлены методологические особенности обоснования целевых индикаторов качества ведения подземных работ в условиях природно-техногенной среды при подземном строительстве, реализована процедура математического моделирования и модельных исследований технологических деформаций при открытом способе ведения работ. Установлено, что повышение эффективности организации производства возможно в условиях использования расчётно-эмпирического метода прогнозирования технологических деформаций при открытом способе работ, которые вызваны воздействиями технологического характера при ведении горно-строительных работ. Установлена функциональная зависимость технологических деформаций от трех групп факторов: внешних, проектных и технологических, являющихся функциями 9-ми типов параметров.

4. С учетом инновационных технико-технологических решений в области городского подземного строительства, мониторинга, количественной оценки, анализа и управления технологическими рисками в подземном строительстве, контроля технологических параметров производства подземных работ и качества строительства, организационно-управленческих процедур оперативной корректировки параметров ТГПС, разработки технологического регламента строительства разработан организационно-управленческий механизм реализации и внедрения инновационных технико-технологических решений в области городского подземного строительства с учетом минимизации геотехнических рисков и интерактивного управления параметрами ТГПС, мониторинга.

5. На основании статистического анализа результатов экспериментальных исследований и мониторинга на 154-х строящихся объектах Московского региона и 48 численных экспериментов на 3-х типах расчётных моделей котлованов глубиной 6, 9 и 12 м с 1-м и 2-мя ярусами распорных креплений, расположенных в 4-х зонах горно-геологических условий, разработана расчётно-эмпирическая методика вычисления технологических деформаций при устройстве «стены в грунте» траншейного типа обеспечивающая точность вычислений до 91%. Получены эмпирические зависимости осадок существующих зданий при проходке в песчано-глинистых грунтах на глубине до 30 м, учитывающие технологические особенности работы щитов с грунтовым

пригрузом забоя и позволяющие выполнить предварительную оценку деформации зданий на поверхности и верификацию результатов численного моделирования с точностью более 73%, что превышает точность геотехнических расчётов методом математического моделирования и позволяет разработать и прогнозировать соответствующие организационно-управленческие меры по устранению негативных явлений при ведении подземных строительных работ.

6. Установлено, что коэффициент технологического перебора грунта - это основной параметр технологии горнопроходческих работ, определяющий величину технологической осадки при механизированной проходке тоннелей и являющийся функцией соотношения диаметра резания ротора и наружного диаметра обделки, степеней заполнения тампонажным раствором заобделочного пространства и глинистым или медленно твердеющим тампонажным раствором пространства за оболочкой щита. Разработанный алгоритм позволяет рассчитывать коэффициента технологического перебора для щитов с активным пригрузом забоя диаметром от 4 до 10 м, с учётом горно-геологических условий в забое щита.

7. Сформулированы системная методология исследования технологического воздействия производимых строительных работ на природно-техническую геосистему и основные принципы интерактивного управления технологиями строительства подземных объектов. На их основе разработан алгоритм интерактивного управления технологическими параметрами горно-строительных работ на основе данных геотехнического мониторинга, позволяющий исключить случайные факторы при производстве подземных работ или изменении технологических решений вследствие влияния фактических горно-геологических, гидрогеологических, или градостроительных факторов.

8. В рамках защищаемых научных положений при внедрении системы комплексного планирования стратегии реализации ТГПС с выявлением основных технологических параметров строительных и горнопроходческих работ, оказывающих непосредственное влияние на НДС породного массива на строящихся объектах метрополитена г. Москвы: Бутовская линия. Участок ст. «Улица Старокачаловская» - ст. «Новоясеневская»; Таганско-Краснопресненская линия. Участок ст. «Выхино» - ст. «Котельники»; Люблинско-Дмитровская линия. Участок ст. «Марьяна Роща» - ст. «Петровско-Разумовская»; Третий пересадочный контур. Участок ст. «Хорошевская» - ст. «Петровский парк»; Калининско-Солнцевская линия. Участки ст. «Деловой центр» - «Парк Победы», ст. «Раменки» - ст. «Рассказовка». Кожуховская линия. Участок ст. «Авиамоторная» - ст. «Некрасовка» экономический эффект от внедрения организационно-управленческих и технологических решений составил 7,38 млрд. руб.

9. Изложенные в работе теоретические положения и алгоритмическое обеспечение интерактивного управления параметрами ТГПС должно быть в обязательном порядке включено во все этапы жизненного цикла строительного проекта, так как обеспечивают более высокое качество и безаварийное строительство в условиях плотной городской застройки и сложных горно-геологических и гидрогеологических условий Москвы.

При строительстве подземных сооружений промышленного и гражданского назначения отдельные научные положения диссертации и методологические основы интерактивного управления параметрами ТППС в целом могут быть использованы при разработке проектной документации, системного анализа причин и последствий принятых технических решений и аварийных ситуаций, при государственной экспертизе проектов, при НТСС и геотехническом мониторинге, при строительном контроле и государственном строительном надзоре, при страховой экспертизе, при сдаче законченного строительством объекта в эксплуатацию.

10. Перспектива дальнейших исследований проблем эмпирического характера в области организации горного производства (ведение подземных строительных работ), по мнению автора, связана с развитием методологии стратегического целеполагания в рамках современной концепции резильентности (жизнеспособности) ТППС с учетом их специфики в контексте динамики и интегральности при реализации организационно-управленческих мер и регулировании отношений в области градостроительного зонирования, планирования, нормирования и инженерных изысканий.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Власов Д.Н., Говорова Т.Б., Конюхов Д.С. Инженерные вопросы реконструкции сложившихся районов Москвы // Механизация строительства, № 6, 2002. – с. 6-8.
2. Конюхов Д.С., Свиридов А.И., Конюхова Е.К. Современные подходы к систематизации инженерно-геологических условий г. Москвы. // Вестник МГСУ, № 5, 2011. С 88-92
3. Конюхов Д.С. Основные экологические проблемы инженерного освоения подземного пространства. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. № 4, 2001. С 14-15
4. Конюхов Д.С., Свиридов А.И. Расчёт технологических деформаций существующих зданий в процессе изготовления ограждающих конструкций котлованов. // Вестник МГСУ, № 5, 2011. С 99-103
5. Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Симутин А.Н., Устинов Д.В., Хохлов И.Н. Оценка взаимного влияния строительства тоннелей метрополитена и возводимого над ними многоэтажного комплекса. // Транспортное строительство, № 11, 2014. – с.4-6
6. Конюхов Д.С., Устинов Д.В. Применение математического моделирования для оптимизации конструктивных решений подземных сооружений, возводимых в сложных геологических условиях. // Промышленное и гражданское строительство, № 11, 2014. С 57-60
7. Зерцалов М.Г., Казаченко С.А., Конюхов Д.С. Исследование влияния разработки котлована на окружающую застройку. // Вестник МГСУ, № 6, 2014. С. 77-86.

8. Конюхов Д.С. Безопасность существующей застройки при производстве подземных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 158–167.

9. Куликова Е.Ю., Конюхов Д.С., Потокина А.М., Устинов Д.В. Аналитический метод расчета коэффициента технологического перебора грунта при организации производства горно-строительных работ с применением механизированной проходки тоннелей // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2022. - № 6–2. С. 305-315.

10. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Инновационные технико-технологические решения в области городского подземного строительства // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. - №9(135). – С. 30-32

11. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Обобщение и анализ методологических подходов к оценке прогрессивных технологий городского подземного строительства. // Наука и бизнес: пути развития. – 2022. - №9(135). – С. 33-34

12. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Организационно-управленческий механизм контроля технологических деформаций при производстве подземных работ// Наука и бизнес: пути развития. – 2022. - №9(135). – С. 35-36

13. Конюхов Д., Куликова Е., Устинов Д. Математическое моделирование технологических осадков в зоне влияния открытых геотехнических выработок // Русский инженер. – 2022. № 04 (77). – С. 39-43

14. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Анализ и управление технологическими рисками в подземном строительстве// Наука и бизнес: пути развития, № 10, 2022. – с. 48-51

15. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Комплексное планирование стратегий реализации технологий городского подземного строительства с учетом промышленно-экологической безопасности // Наука и бизнес: пути развития, № 10, 2022. – с. 56-63

16. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю. Концептуальные основы создания системы комплексного планирования стратегии реализации технологий подземного городского строительства // Наука и бизнес: пути развития, № 10, 2022. – с. 79-84

17. Конюхов Д.С., Куликова Е.Ю., Потокина А.М. Устройство подземных сооружений в открытых котлованах // Наука и бизнес: пути развития, № 10, 2022. – с. 56-59.

В научных изданиях индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science:

18. Merkin V., Konyukhov D. Development of Moscow Underground Space Plans, Results, Perspectives/ Projects, Results, Potential // Procedia Engineering, v. 165, 2016.

19. Merkin V., Konyukhov D., Simutin A., Medvedev G. Stabilization of Centrifuge Bed Elevation Position by Compensation Grouting Method During Tunnel Boring for Metro Construction. // Procedia Engineering, v. 165, 2016

20. Konukhov D.S., Polyankin A.G. Ensuring the safety of the existing buildings during the construction of the underground in Moscow // Tunnels and

Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). Taylor & Francis Group. – London, 2019.

21. Kulikova, E.Yu., Konyukhov, D.S. On the determination of buildings technological deformations in geotechnical construction // Sustainable Development of Mountain Territories, 2022, 14(2), pp. 187–197

22. Konyukhov, D.S., Kazachenko, S.A. The main factors affecting the convergence of calculated and actual values of deformations of existing buildings // Gornaya Promyshlennost, 2022, 2022(2), pp. 103–111

23. Konyukhov, D.S. Analysis of mechanized tunneling parameters to determine the overcutting characteristics // Mining Science and Technology (Russian Federation), 2022, 7(1), pp. 49–56

24. Konyukhov, D.S. Interactive control of process variables in double-track tunnel driving between subway stations // Mining Informational and Analytical Bulletin [this link is disabled](#), 2022, (5), pp. 84–94

25. Kulikova, E.Yu., Konyukhov, D.S. Accident risk monitoring in underground space development // Mining Informational and Analytical Bulletin [this link is disabled](#), 2022, (1), pp. 97–103

Монографии

26. Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Королевский К.Ю., Конюхов Д.С., Король Е.А. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов. Научное издание. // М.: АСВ, 2010.

27. Теличенко В.И., Король Е.А., Каган П.Б., Конюхов Д.С. Управление программами строительства подземных объектов. Научное издание. // М.: АСВ, 2010.

Патенты

28. Дорошенко А.В., Крымов Б.А., Конюхов Д.С. Участок сопряжения с котлованом тоннеля в период его сооружения // Патент на изобретение № 2760448

Полный список публикаций по теме исследования приведен в Приложении 8 к диссертации.