

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07302 – Геоинформатика» Хамит Нуржана Ержановича на тему «Исследования деформаций высотных зданий с использованием геодезических методов и автоматизированного оборудования»

В первой главе анализ условий строительства и эксплуатации метрополитена показывает, что подземные сооружения функционируют в сложной геодинамической среде под воздействием природных и техногенных факторов, что обуславливает необходимость применения научно обоснованных методов оценки их устойчивости и допустимых критериев деформаций. Современные исследования подтверждают важность перехода к комплексной системе мониторинга, объединяющей дистанционное зондирование (InSAR), инструментальные измерения (GNSS, нивелирование), лазерное сканирование и цифровое моделирование для точного выявления и прогнозирования опасных деформаций. В этом процессе сочетание ГИС-технологий и модульного цифрового моделирования позволяет учитывать пространственно сложные объекты и оперативно обновлять параметры моделей на основе реальных данных, в то время как мировой опыт демонстрирует возможность определения вертикальных и горизонтальных перемещений с миллиметровой точностью с помощью спутниковой интерферометрии. Результаты анализа подчеркивают необходимость формирования единой научно-методической базы для интеграции методов мониторинга, координации геодезических и спутниковых технологий, применения современных моделей прогнозирования деформаций и оценки рисков, что обосновывает актуальность разработки комплексной геодинамической методики мониторинга для метрополитена Алматы.

Интенсивное освоение подземного пространства г. Алматы, развитие метрополитена и высокая плотность городской застройки обуславливают необходимость применения современных подходов к мониторингу геодинамических процессов, а своевременное выявление опасных изменений напряжённо-деформированного состояния горного массива и тоннельных конструкций требует внедрения комплексной системы наблюдений. Исходными данными для разработки методики служат результаты наземных геодезических наблюдений, высокоточные GNSS-измерения, аэрокосмические, геофизические и геологические материалы, а также аналитические модели напряжённо-деформированного состояния массива. Интеграция этих данных в единую цифровую платформу на основе ГИС обеспечивает комплексный анализ деформаций и формирование пространственно-временной модели геодинамических процессов, что особенно актуально в условиях роста геодинамической активности, усложнения инженерно-геологических условий и повышения требований к безопасности эксплуатации подземных сооружений.

По результатам третьей главы установлено, что интеграция геодезических и геоинформационных методов является наиболее эффективным подходом к оценке геодинамических процессов в зоне метрополитена Алматы. Многосенсорный мониторинг на основе принципа «полевые измерения – моделирование» обеспечивает выявление пространственно-временных закономерностей деформаций и раннее обнаружение опасных зон. Применение GNSS, нивелирования, тахеометрии, БПЛА-фотограмметрии и подземной полигонометрии позволяет получать достоверные данные о смещениях и устойчивости тоннелей, а использование 3D ГИС и САД-платформ реализует полный цикл обработки и анализа пространственной информации. В результате сформирована интегрированная система мониторинга, повышающая обоснованность инженерных решений и уровень эксплуатационной безопасности объектов метрополитена.

Была сформирована комплексная схема мониторинга напряженно-деформированного состояния тоннельных сооружений на участке «Сарыарқа – Б. Момышұлы», и интеграция наземных и подземных наблюдений с ГИС-анализом и цифровым моделированием доказала возможность более полного и достоверного анализа геодинамической обстановки и устойчивости тоннелей. Применение методов InSAR/PSI дополняет подземные измерения, позволяя выявлять пространственные закономерности деформаций на больших территориях и контролировать динамику вдоль трассы метро. Обработка данных Sentinel-1A показала возможность выявления потенциально опасных зон в период 2020–2025 гг. Предложенный комплекс «подземная геодезия + 3D/ГИС-модель + цифровое моделирование + InSAR/PSI» формирует методологическую основу для создания карт геомеханических рисков, выделения участков с высокой скоростью вертикальных и наклонных смещений, локализации зон концентрации напряжений, сопоставления расчетных и фактических деформаций, а также обоснования приоритетов усиленного мониторинга и инженерных мероприятий. Цифровое моделирование показало, что напряжения сосредотачиваются вдоль контура обделки тоннеля и ослабевают по мере удаления, а характер напряженно-деформированного состояния на глубинах примерно 32 м и 19,5 м различен, что обосновывает необходимость дифференцированного мониторинга для разных глубин и применения индивидуальных порогов срабатывания.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационного исследования «Разработка методики геодезического мониторинга геодинамических процессов Алматинского метрополитена на основе цифровых технологий» является необходимость научно обоснованного обеспечения безопасности, устойчивости и надежной эксплуатации подземных сооружений в условиях сложной геодинамической обстановки мегаполиса [10].

Интенсивное освоение подземного пространства города Алматы, развитие метрополитена и высокая плотность городской застройки требуют

применения современных методов мониторинга геодинамических процессов, тогда как своевременное выявление опасных изменений в напряженно-деформированном состоянии тоннелей и горных пород предполагает внедрение комплексной системы наблюдений. Исходными данными методики являются полевые геодезические наблюдения, высокоточные измерения GNSS, аэрокосмические, геофизические и геологические материалы, а также аналитические модели. Их интеграция на единой цифровой платформе на базе ГИС позволяет проводить комплексный анализ деформаций и формировать пространственно-временные модели геодинамических процессов, что является актуальным в условиях роста геодинамической активности, инженерно-геологической сложности и усиления требований к безопасности.

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. Расширение линий метрополитена в городе Алматы, включая ветки «Сарыарқа» и «Момышұлы», приводит к интенсивному освоению подземного пространства и усиливает влияние геодинамических факторов (сдвиги грунта, колебания горных пород, техногенные и гидрогеологические изменения) на устойчивость тоннелей. В связи с этим требуется интегрированная методика геодезического мониторинга с применением высокоточных GNSS, автоматизированных станций и ГИС, которая обеспечивает оценку деформаций, выявление опасных зон и способствует безопасной эксплуатации метрополитена, а также устойчивому развитию будущих веток.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением комплекса геодезических, цифровых методов, обеспечивающих многоканальный контроль геодинамических процессов в зоне прохождения линий Алматинского метрополитена. В исследовании использовались инструментальные наблюдения за смещениями конструкций подземных сооружений, анализ временных рядов GNSS-измерений, данные аэрокосмических съемок, а также современные методы математического моделирования напряженно-деформационного состояния массива горных пород в условиях городской застройки.

Актуальность темы.

Подземные участки линий метрополитена проходят под территориями со сложными инженерно-геологическими условиями, высокой плотностью городской застройки и насыщенностью инженерными коммуникациями. В зону влияния строительства и эксплуатации тоннелей метро и подземных станций попадают жилые кварталы, объекты критической инфраструктуры, транспортные развязки и инженерные сооружения. Это предьявляет повышенные требования к обеспечению безопасности и сохранности окружающей городской среды.

Разработка научно-технической методики мониторинга геодинамических процессов Алматинского метрополитена позволит сформировать надёжную систему инструментальных наблюдений,

интегрирующую данные GNSS, роботизированных станций, цифровых моделей поверхности и геоинформационных технологий, что обеспечит повышение безопасности эксплуатации подземных сооружений и устойчивое развитие городской инфраструктуры.

Новизна темы диссертационной работы заключается в разработке комплексной методики исследования и мониторинга геодинамических процессов в зоне влияния Алматинского метрополитена, основанной на интеграции геодезических, спутниковых и цифровых ГИС технологий.

Впервые предлагается методика, предусматривающая комплексное применение:

- Разработана наземная и подземная пространственно-геодезическая основа и 3D модель;
- Предложена геодинамическая модель на основе БПЛА-фотограмметрия + SBAS-InSAR;
- Основана цифровая модель напряженно-деформированного состояния на основе Examine 2D.

Цель исследования - Алматы метрополитенінің тоннельдері мен станциялары аймағындағы геодинамикалық процестерді жоғары дәлдікпен бақылау және болжау үшін геодезиялық, ГАЗ, сандық модельдеу әдістерін біріктіретін кешенді геодинамикалық мониторинг жүйесін әзірлеу.

Объектом исследования являются участки геодинамического влияния линий Алматинского метрополитена на направлениях «Сарыарқа» и «Момышұлы».

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

1. Изучение существующих методов прогнозирования геодинамических процессов земной поверхности при строительстве тоннелей метрополитена с учетом геологических и техногенных особенностей Алматинского региона;
2. Научное обоснование параметров зоны влияния сдвига и деформации сетей «Сарыарқа» и «Момышұлы» на основе численного моделирования и анализа данных наблюдений;
3. Разработка алгоритма интеграции данных инструментального наблюдения, результатов спутникового мониторинга и геоинформационных систем с целью построения цифровой модели подземных сооружений и деформаций земной поверхности;
4. Внедрение методов геоинформационного анализа (ГИС) для пространственной оценки геодинамических и деформационных процессов в зоне влияния алматинского метрополитена, а также моделирование и визуализация потенциально опасных участков подземной и наземной инфраструктуры.

Поставленные задачи последовательны и логичны, определяют внутреннее единство научно-исследовательской работы и направлены на достижение поставленной цели исследований.

Методика исследований основана на комплексном анализе и обобщении результатов геодезических и аэрокосмических наблюдений за

геодинамическими процессами в зоне влияния Алматинского метрополитена. В исследовании используются методы высокоточных GNSS-измерений, спутникового радарного интерферометрического мониторинга (InSAR), инструментальных наблюдений и цифровой обработки данных для выявления, моделирования и интерпретации деформаций земной поверхности и подземных сооружений.

Положения, выносимые на защиту

На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

– Точность геомеханического моделирования и геодинамического мониторинга на обследованных участках Алматинского метрополитена зависит от формирования инженерно-геометрических 3D-моделей высокоточных комплексных геодезических исследований, выполненных на поверхностных и подземных участках;

- методика технологической обработки ГИС геодезического мониторинга при эксплуатации тоннелей и станций алматинского метрополитена на основе результатов опытных геодезических наблюдений обосновывается научными рекомендациями;

- От инженерных решений напрямую зависит составление цифровой модели напряженно-деформированного состояния массива горных пород вблизи тоннеля на основе программ ГИС на участке станций Алматинского метрополитена «Сарыарка» и «Бауыржан Момышулы»

Практическая значимость диссертации заключается в разработке системы геодезического и аэрокосмического мониторинга геодинамических процессов Алматинского метрополитена, обеспечивающей повышение достоверности наблюдений за деформациями подземных сооружений и поверхности земли

Публикации и апробация работы. Результаты, полученные в ходе диссертационной работы: в «Civil Engineering Journal» (Q1), входящем в базу данных Scopus и Web of Science, в 2025 году вышла одна статья. В течение учебного года в КазНУ им.Аль-Фараби была опубликована диссертация на международную конференцию молодых ученых и студентов «Фараби элем» и одна статья на X юбилейный Международный молодежный форум «Зеленый мост из поколения в поколение».

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 133 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 9 таблиц.