

Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева

УДК 528.48:69; 131.32

На правах рукописи

ИМАНСАКИПОВА БОТАКОЗ БЕКЕТОВНА

**Мониторинговые исследования деформаций инженерных сооружений
на основе результатов геодезических наблюдений**

6D071100 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
доктор технических наук,
профессор Байгурин Ж.Д.
доктор технических наук,
профессор Ivo Milev

Республика Казахстан
Алматы, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	10
1.1 Виды деформации и трещины в стенах зданий.....	12
1.2 Инженерно-геологические изыскания в строительстве инженерных сооружений	19
1.3 Закономерности и причины образования деформаций инженерных сооружений.....	21
1.4 Изучение причин образований деформаций зданий и сооружений.....	25
1.5 Выводы по разделу.....	28
2 ИССЛЕДОВАНИЕ, АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	30
2.1 Исследование земной поверхности с помощью интерферометрии.....	30
2.2 Анализ и влияние тектонического разлома методом АЗАН.....	37
2.3 Создание высотной опорной геодезической сети.....	43
2.4 Определение деформаций с помощью оптических приборов.....	51
2.5 Современные геодезические приборы, для определения геометрических параметров инженерных сооружений.....	58
2.5.1 Техническая характеристика и применение GPS ATX1230 GG.....	58
2.5.2 Техническая характеристика и применение тахеометра Leica TS02..	60
2.5.3 Техническая характеристика и применение наземного лазерного сканера FARO LASER SCANNER FOCUS 3D.....	61
2.6 Выводы по разделу.....	64
3 СПОСОБЫ, АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	65
3.1 Анализ и современное состояние методов определения деформаций с применением тахеометра, сканера и GPS.....	65
3.2 Наблюдение за трещинами.....	69
3.3 Исследование высотных точек каждого этажа с помощью тахеометра.....	74
3.4 Разработка способа определения горизонтального смещения зданий.....	76
3.5 Выводы по разделу.....	77

4	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛАВНОГО УЧЕБНОГО КОРПУСА КАЗНТУ.....	78
4.1	Лазерное сканирование на основе способа главных компонент.....	78
4.2	Контроль развития деформаций.....	84
4.3	Определение горизонтального смещения зданий с использованием наземного лазерного сканера.....	91
4.4	Прогнозирование деформаций зданий и сооружений по результатам геодезических наблюдений.....	95
4.5	Вывод по разделу.....	98
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	101
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Журнал нивелирного хода.....	107
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Исходные тексты программ с использованием программного комплекса SiRailScan.....	115
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Топографическая съемка КазНТУ им.К.И. Сатпаева...	127
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г Высотные отметки объекта.....	128

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты.

ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.9 – 95 (ИСО 214 – 74) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.

ГОСТ 7.12 – 93 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.

ГОСТ 7.54 – 88 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования.

ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие определения:

Мониторинг – непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров объекта, в сравнении с заданными критериями.

Интерферометрия – метод исследования, основанный на явлении интерференции (сложения) волн. Пространственная интерферометрия применяется в астрономии для исследования тонкой структуры космических источников излучения.

Деформация (от лат. *deformatio* — «искажение») — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга. Деформация представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов. Обычно деформация сопровождается изменением величин межатомных сил, мерой которого является упругое механическое напряжение.

Трещины - это первый признак опасности. Трещины в стенах зданий это диагностический признак осадок фундаментов.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

НИР	Научно-исследовательская работа
ПидЗ	Перемещение и деформация зданий
ГУК	Главный учебный корпус
КазНТУ	Казахский национальный технический университет
АЗАН	Активные зоны аномальных напряжений
СКО	Средняя квадратическая ошибка
ГЭС	Гидроэлектростанция
АЭС	Атомная электростанция
НЛС	Наземное лазерное сканирование
GPS	Global Positioning System
SAR	Synthetic aperture radar
ЦМР	Цифровая модель рельефа
КА	Космический аппарат

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. В Послании президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева «Казахстанский путь 2050» народу Казахстан от 17.01.2014 г. обозначены следующие приоритетные направления: по разработке проекта Второй пятилетки форсированного индустриально-инновационного развития на 2016-2019 годы. К одним из них относится наукоёмкие задачи как в создании и развитии в области архитектуры, градостроительства и строительства, с учётом огромной территории страны и низкой плотности населения. Первыми современными урбанистическими центрами Казахстана станут крупнейшие города – Астана, Алматы, Шымкент и Актобе.

Строительство наземных и подземных объектов, зданий и сооружений имеет огромное значение для нормального функционирования городской среды. Развитие строительства уникальных наземных и подземных сооружений позволит сохранить архитектурно-современный внешний облик центральных районов, ценные городские ландшафты и целые природные комплексы. Несмотря на применение современных технологий строительства уникальных зданий, прецизионных сооружений и подземных объектов важнейшим условием является мониторинговые исследования за негативными воздействиями на окружающий массив, здания, сооружения, коммуникации и природные объекты.

Существующие нормативно-правовые документы и материалы (СНиП РК 1.1-1-2001, СНиП РК .03-30-2006, РДС РК 1.03-11-2014 и др.) содержат основные положения и технические условия при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, и особенно в сейсмических районах Республики Казахстан. Оценка сейсмобезопасности сложных и ответственных объектов следует выполнять, используя научные подходы к обоснованию управленческих решений по результатам обследования. Обследование зданий и сооружений необходимо выполнять специальными методами и средствами измерения с высокой точностью.

Для большинства крупных городов дальнего и ближнего зарубежья, внутри нашего государства за состоянием земной коры имеет важное народнохозяйственное значение, связанное с застройками крупных современных мегаполисов в сложных градостроительных условиях.

Важной составляющей мониторинговых исследований за состоянием зданий и сооружений является прогнозирование поведения и состояния ответственных инженерных сооружений. Для осуществления контроля качества возведения зданий и других строительных объектов, прогнозирования их состояния в течение эксплуатации является геодезический контроль точности геометрических параметров. Контроль геометрических параметров возведенных зданий и сооружений или его отдельных конструкций является основой прогнозирования деформаций строительных объектов по результатам геодезических наблюдений. Результаты геодезических наблюдений о деформациях зданий и сооружений являются основой для математического

моделирования сложного взаимодействия конструктивных параметров здания с грунтовым основанием и внешней средой. Математические модели, построенные на основе геодезической информации, позволяют установить закономерности развития деформационных процессов.

В законе РК «О геодезии и картографии» п.4 четко определены основные направления по проведению геодезических и других специальных работ при проектировании и изысканиях, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений линейного и площадного типа, а также проведение научно-исследовательских работ по этим направлениям[1].

Таким образом, учитывая сложность, уникальность горно-геологических условий и сейсмичность территории г. Алматы, проведение геомониторинга по изучению и развитию деформационных процессов зданий и сооружений и их прогнозирования является актуальной проблемой в области архитектуры, градостроительства и строительства.

Целью работы Разработка и совершенствование технологии проведения мониторинга за деформационными процессами инженерных сооружений на основе результатов геодезических наблюдений.

Основные задачи исследования:

- анализ существующих технологий и способы определения деформаций при возникновении трещин, как диагностический признак осадок фундаментов;
- исследования по использованию современных геодезических приборов для прогноза и контроля над процессами развития деформаций здания;
- апробация результатов выполненных исследований.

Объект и предмет исследования Объектом исследования является Главный учебный корпус КазНТУ им. К.И.Сатпаева. Наблюдение за деформацией здания с использованием современных высокоточных геодезических приборов.

Методика исследований Комплексный анализ и обобщение результатов выполненных теоретических и практических разработок по геомеханическому мониторингу зданий и сооружений с использованием методов обработки результатов геодезических наблюдений.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

Разработана методика для определения горизонтальных и вертикальных смещений и точных геометрических параметров стеновых трещин, при деформации зданий и сооружений.

Научное значение работы заключается в теоретическом и практическом обосновании рекомендуемых разработок по проведению мониторинга за деформационными процессами инженерных сооружений на основе результатов геодезических наблюдений.

Практическая значимость Состоит в создании системы геодезического мониторинга за состоянием зданий и сооружений, что является фактором повышения достоверности результатов геодезических наблюдений и устойчивости, долговечности инженерного сооружения.

На защиту выносятся следующие основные положения

- методика и результаты геодезических наблюдений за деформационными процессами на основе использования современных геодезических технологий;
- математическая модель закономерностей деформаций, позволяющих оптимизировать технологию проведения мониторинговых решений с использованием программных продуктов.

Реализация результатов работ. Основные положения диссертационной работы были использованы для рекомендации по продолжению геодезических наблюдений за процессами осадок фундамента, трещинами стен, обеспечивающие повышение надежности, долговечности, безопасности эксплуатации зданий и сооружений, прогнозной информации деформационных процессов для интерпретации и координации способов геомониторинга и геодезических измерений.

Апробация работы Результаты работы докладывались и обсуждались на:

- Causes of strain of buildings and structures in areas of abnormal stress and surveillance terrestrial laser scanners Life Science Journal (China). 2014. – V.11.-Iss. 9s. – P. 165-170. на базе Scopus;
- 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, Journal, Albena Resort, Bulgaria;
- Международной конференции «Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами» - Алматы, 2012. – С. 360-363; Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика», посвященная 50-летию Института информационных и телекоммуникационных технологий - Алматы, 2012. – С. 323-325;
- Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение» - Алматы, 2014. – С. 425-428;
- Республиканской научно-практической конференции «Картография и геодезия: теория и практика» - Алматы, 2014. – С. 106-108.

Публикации По результатам выполненных исследований опубликовано 16 работ (из них 2 – на казахском языке; 12 – на русском языке, 2 – на английском языке), из них 2 выполнены в соавторстве, 4 – в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 – статья опубликована в базе данных Scopus, 1 – статья опубликована в базе данных Tomson Reuters, 5 – в материалах международных научных конференций.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников (96 наименований, из них 12 на иностранных языках) и 3 приложений, содержит 128 страниц машинописного текста, включая 12 таблиц, 44 рисунков.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

На современном этапе интенсивного строительства инженерных сооружений геодезические наблюдения представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по определению стабильности деформаций зданий. Геодезические наблюдения за зданиями и сооружениями начинают с инженерно-топографических, инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, инженерно-гидрологических и инженерно-экологических (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Основные виды инженерных изысканий для строительства зданий и сооружений

Инженерно-геодезические работы начинают с периода проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Организованные геодезические наблюдения с начала возведения зданий и сооружений, в течение всего строительного периода и в дальнейшем при эксплуатации позволяют принять управленческое решение по своевременной разработке профилактических мер, изучению процессов возможных деформации и прогнозированию изменений в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой [2].

На площадке будущего строительства проводят специальные инженерные изыскания: полевые, лабораторные и камеральные работы. На основе специальных проведенных инженерных изысканий разрабатываются проект

выполнения геодезических работ по созданию системы съемочной сети и опорных знаков, с целью сохранения их устойчивости на весь период строительства и эксплуатаций зданий и сооружений. Опорная геодезическая сеть позволяет в течении строительства объекта проводить контроль правильности выполненных проектных расчетов и выводов. В процессе строительства возможны некоторые отклонения от проектных параметров (уклон, крен, осадки), которые могут вызвать изменения деформационных параметров, основания здания. Это приводит к проведению специальных геодезических наблюдений за деформационными процессами зданий и сооружений. Как известно из практики исследований результаты геодезических наблюдений позволяют произвести анализ, обработку, увязывания факторов, влияющих на процесс деформации и выполнить соответствующее описание и объяснение их.

Вопросам геодезического мониторинга за наблюдением деформаций сооружений уделяется огромное внимание многими зарубежными и отечественными учеными и исследователями. Значительный вклад по выявлению закономерностей деформации сооружений и достоверности прогноза внесли авторы [2-8 и т.д.].

Геодезический мониторинг выполняется для наблюдения за процессами строительных объектов, связанными с инициацией, планированием и прогнозированием геодинамических процессов состояния зданий и сооружений. Главным достоинством геодезического мониторинга является регулярное контролирование и оценка напряженно-деформированное состояние эксплуатируемого здания и сооружения для своевременного выявления отклонения от принятого проектного положения.

Многолетние исследования в области геодезического мониторинга и прогнозирования деформаций сооружений сопряжено со значительной неопределенностью, однако опыт показал, что исследование по прогнозированию на основании геодезических наблюдений в настоящее время можно сделать количественную оценку достаточно точно.

При составлении проекта геодезических наблюдений за деформационными процессами зданий и сооружений управленческие решения могут приниматься в различных условиях: определенности, неопределенности, риска и конфликта. Некоторая группа ученых и исследователей считают, при выборе любого вида геодезического мониторинга не всегда с абсолютной уверенностью можно предполагать и опираться на прогнозирование процесса деформации, так как не учитываются отдельные факторы неопределенности и риска.

Поэтому в момент принятия управленческих решений по геодезическому наблюдению за состоянием зданий и сооружений необходимо учитывать максимально возможные факторы или элементы неопределенности и риска [3].

Как известно, неопределенность означает неполноту или недостоверность информации об условиях реализации решения, наличия факторов случайности или противодействия [3,4]. Недостоверность геодезической информации может привести к негативному результату это может произойти, из-за неточности

измерений, неверному выбору способа или метода измерений с использованием высокоточной геодезической инструментарии и современных технологий проведения процессов измерения.

В настоящее время имеются нормативно-правовые документы и рекомендации по проведению геодезических наблюдений за перемещениями и деформациями сооружений, обеспечивающих охрану труда и техники безопасности в строительстве [9-12 и т.д.]. Разработаны положения по геодезической службе и организаций геодезических работ в строительстве, где уделено особое внимание геодезическим работам, контролю и точности измерений и проведение наблюдений за деформациями сооружений [15]. Геодезические наблюдения за деформацией наземных сооружений выполняют для объективной оценки закономерности и достоверности прогноза с учетом взаимодействия конструкции сооружения с грунтовым основанием и внешней средой. Такой подход необходимо для обеспечения оптимальной пространственно-временной достаточности и точности проведенных геодезического контроля над деформацией.

В СНиПе РК 2.03-30-06 при строительстве зданий и сооружений в горных и сейсмических районах определены населенные пункты РК расположенных в сейсмических районах. К ним относится г.Алматы и населенные пункты Алматинской области. Это является важным фактором для проведения геодезических наблюдений по исследованию вопросов состояния зданий и сооружений и прогнозированию их поведения в период эксплуатации. На основании этого организация геомониторинга по результатам геодезических наблюдений за наземными зданиями и сооружениями города Алматы – как крупного городского мегаполиса является актуальной задачей.

1.1 Виды деформации и трещины в стенах зданий

По классификации при строительстве зданий делятся на жесткие, жестко-пластичные и пластичные. Зданий, имеющие жесткие конструкции, практически не подвергается изгибам, перемещению в горизонтальной плоскости и другим местным деформациям, из-за значительной жесткости сооружений. К зданиям и сооружениям большой жесткости в городских условиях относятся монолитные здания и при осадке таких зданий в вертикальном направлении они действуют, как единый массив.

К жестко-пластичным зданиям в условиях современной городской застройки относятся объемно-блочные, крупноблочные и крупнопанельные здания. Данный тип зданий могут при развитии неравномерных осадок, получать деформирование, выражающихся в искривлении отдельных участков зданий. Распределение нагрузок для таких типов зданий могут возникнуть дополнительные усилия на элементы конструкции, которые не учитываются при проектировании, что в некоторых случаях приводят к образованию трещинам, нарушающих нормальную эксплуатацию здания.

В зависимости от жесткости и характера развития неравномерных осадок в зданиях и сооружениях могут возникнуть согласно принятой классификации

следующие виды деформаций: прогиб, выгиб, крен, перекося, кручение и горизонтальные смещения.

Прогиб или выгиб зданий и сооружений возникает при изгибе подошвы сплошной фундаментной плиты или ленточного фундамента в результате неравномерной податливости основания. Рассматриваемые формы деформации образуются в зданиях большой протяженности. В зависимости от грунтовых условий в одном и том же сооружении на разных участках может возникнуть прогиб и выгиб. В одинаковых грунтовых условиях при увеличении жесткости здания происходит повышение дополнительных усилий в конструкциях, приводящее к уменьшению прогиба или выгиба, при меньшей жесткости происходит обратное явление – интенсивность дополнительных усилий, возникающих в результате перераспределения, снижается, а деформация увеличивается. При прогибе изогнутая поверхность обращена выпуклостью вниз, а наиболее опасная зона деформаций растяжения находится в нижней части сооружения, при выгибе, наоборот, выпуклость обращена вверх и опасная зона находится в верхней части здания.

Крен, или поворот, относительно вертикальной оси происходит в результате несимметричного (внецентренного) нагружения. При симметричном нагружении, крен возможен при неравномерном распределении свойств грунтов под подошвой фундамента в результате несимметричного напластования. Крен является наиболее опасным для высоких зданий и сооружений (водонапорных башен, дымовых труб, антенных сооружений, многоэтажных зданий), так как в результате смещения центра тяжести возникает дополнительный опрокидывающий момент, способствующий, в свою очередь, дальнейшему нарастанию крена, что в конечном результате может вызвать разрушение сооружения [16].

Крен отдельных фундамента в составе всего здания при ограничении горизонтальных деформаций, обусловленных наличием перекрытий, вызывает появление дополнительных усилий в несущих конструкциях (колоннах, стенах, перекрытиях и др.), которые необходимо учитывать при проектировании.

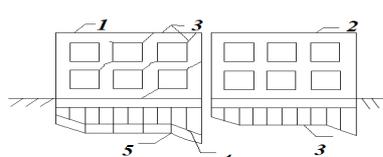
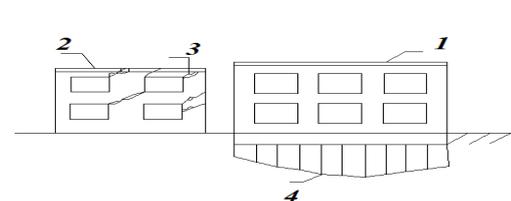
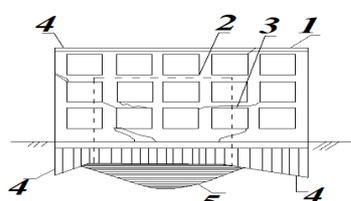
В случае если здание равномерно наклонилось, вдоль какой либо главной своей оси, т.е. частные крены ребер здания по одной оси примерно одинаковы, а по другой близки к нулю, то такую деформацию называют перекося здания. Перекося образуется при неравномерных осадках, происходящих на участках небольшой протяженности при сохранении относительно равномерных вертикальных осадков под всем зданием.

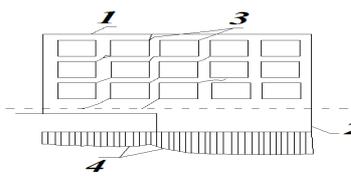
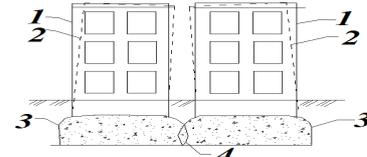
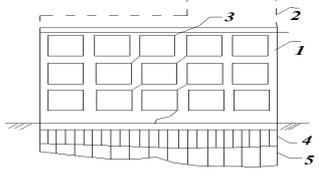
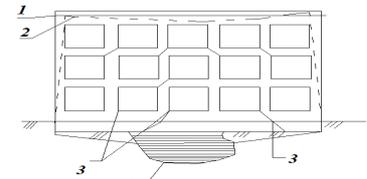
Кручение возникает при различных кренах сооружения по его длине или если крен развивается в разные стороны в двух соседних сечениях сооружения. При такой форме деформирования дополнительные усилия в конструкциях образуются в вертикальных и горизонтальных плоскостях (стены, колонны и др.). Элементы перекрытий, например, испытывают изгиб в горизонтальном направлении.

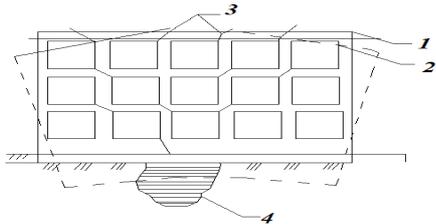
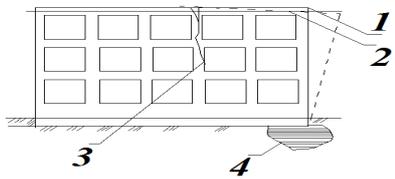
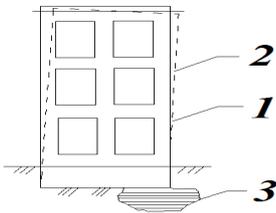
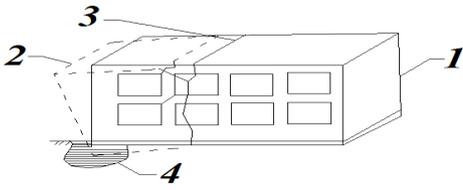
Горизонтальные смещения возможны в фундаментах, на которые опираются конструкции, передающие значительные горизонтальные усилия от распора. Подобный вид деформации возникает и в подпорных стенках.

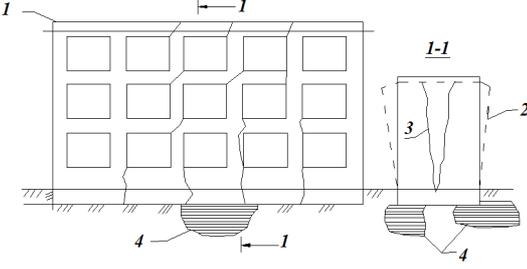
В научной литературе определены характерные случаи деформирования зданий (таблица 1.1) [17-22].

Таблица 1.1 – Примерные виды деформаций установленных по эпюрам осадок

№	Наименование	Графика	Причина
1	2	3	4
1	Деформации при возведении зданий в несколько очередей	 <p>1,2 – соответственно здания первой и второй очередей строительства; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов; 5 – эпюра дополнительных осадок фундаментов.</p>	Неправильное конструктивное решение фундаментов вместе примыкания зданий
2	Деформации при возведении нового здания вблизи существующего	 <p>1 – возводимое новое здание; 2 – существующее здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов; 5 – эпюра дополнительных осадок фундаментов</p>	Неправильное конструктивное решение фундаментов вместе примыкания зданий
3	Деформации при строительстве нового здания на месте снесенного	 <p>1 – возводимое новое здание; 2 – существующее ранее старое здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов нового здания; 5 – граница зоны уплотненного грунта</p>	Отсутствие предпостроечного уплотнения грунтов основания. Отсутствие конструктивных мероприятий, повышающих жесткость здания. Неправильное конструктивное решение фундаментной части здания

1	2	3	4
4	Деформации при ступенчатом фундаменте здания	 <p>1 – возводимое здание; 2 – фундаментальная часть здания; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов</p>	Неправильное конструктивное решение фундаментов вместе примыкания зданий. Отсутствие конструктивных мероприятий, повышающих жесткость здания
5	Деформации в виде встречного наклона при строительстве смежных высотных зданий	 <p>1 – проектное положение смежных высотных зданий; 2 – положение зданий после их наклона (крена), вызванного взаимным влиянием давлений от фундаментов; 3 – границы зоны уплотненного основания 4 – малое расстояние в свету между смежными зданиями</p>	Неправильное конструктивное решение фундаментов зданий. Малое расстояние в свету между смежными зданиями
6	Деформации при настройке дополнительных этажей над зданием	 <p>1 – существующее здание; 2 – надстройка над существующим зданием; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4,5 – соответственно эпюры осадок фундаментов до и после надстройки дополнительных этажей</p>	Отсутствие конструктивных мероприятий, повышающих жесткость здания
7	Деформации в виде прогиба здания при наличии в основании слабого грунта	 <p>1,2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – слабый грунт (линза, участок дополнительного замачивания и др.)</p>	

1	2	3	4
8	Деформации в виде выгиба здания при наличии в основании малосжимаемого грунта	 <p>1,2 – соответственно положения здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – малосжимаемый грунт (линза или инородные малосжимаемые включения)</p>	
9	Деформации в виде перекоса здания при наличии в основании малосжимаемого грунта	 <p>1,2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – слабый грунт (линза, участок дополнительного замачивания и др.)</p>	
10	Деформации в виде крена здания при наличии в основании слабого грунта	 <p>1,2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – слабый грунт (линза, участок замачивания основания вдоль одной из стен здания и др.)</p>	
11	Деформации в виде кручения здания при аварийном замачивании основания	 <p>1,2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – аварийное замачивание грунтов в угловой части здания</p>	

1	2	3	4
12	Деформации в виде разлома здания при аварийном замачивании основания	 <p data-bbox="619 537 1181 788">1,2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – аварийное замачивание грунтов основания на различных участках пятна застройки здания</p>	

Трещины в стенах зданий. К одним из видов деформации относятся трещины в стенах зданий и фундамента. Деформации зданий и сооружений, трещины в фундаментах и несущих конструкциях являются серьезной проблемой, с которой сталкиваются в процессе эксплуатации строительства. Трещина – это первый признак опасности. Трещины в стенах зданий это диагностический признак осадок фундаментов. Напряженно-деформированное состояние конструкции здания вследствие неравномерных осадок фундамента приводят к образованию трещин на фундаментах и на стенах здания (рисунок 1.2).

Наличие трещин понижает конструктивную надежность здания, а иногда и его эксплуатационные качества. Трещины в стенах могут появляться и от других причин, не зависящих от состояния оснований и фундаментов. В любом случае необходимо установить причины повреждений. Причины и виды трещин в стенах:

- а) неравномерная сжимаемость грунтов, включая техногенные причины при строительстве и эксплуатации зданий;
- б) надстройки, пристройки;
- в) разные нагрузки на фундамент в пределах длины здания;
- г) отрывка котлована рядом с существующим зданием;
- д) взаимное влияние соседних фундаментов;
- е) влияние поверхностных нагрузок;
- ж) влияние динамических воздействий;
- з) промерзание и оттаивание грунтов;
- и) температурные деформации;
- к) усадочные деформации;
- л) перегрузка конструкции;
- м) частные случаи.



а) фрагмент стеновой трещины второго этажа б) фрагмент трещины третьего этажа

Рисунок 1.2 – Трещины на стенах в ГУКе

Такие повреждения в виде появления трещин, считаем началом изменения состояния конструкции зданий и сооружений. Из опыта проведения геодезических наблюдений за трещинами, процесс трещинообразования на стенах могут проходить медленно или быстро. Наличие трещин на фундаментах и стенах здания приводит к понижению конструктивной надежности зданий или его эксплуатационных качеств. Факторы, влияющие на образования трещин в стенах здания, могут не зависеть от состояния оснований и фундаментов. Поэтому в своих исследованиях по геодезическому наблюдению причин образования трещин на стенах Главного учебного корпуса нами предложен план работы (рисунок 1.3). Принятия правильного управленческого решения по проведению способа определения параметров

трещин, позволят установить причины повреждения, способы определения геометрических параметров трещин и принять соответствующие меры по безопасности и сохранности здания.

Важно получить точные и достоверные сведения максимально быстро и в достаточном объеме. Поэтому преимущественно следует использовать точные наблюдения, а контролю подлежит каждая трещина в деформирующемся здании.

1.2 Инженерно-геологические изыскания в строительстве инженерных зданий и сооружений

Инженерно-геологические изыскания – это комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, которые выполняются для обеспечения исходной информацией для проектирования и строительства зданий и сооружений. От качества исходных данных (свойство и состояние грунтов, геологическое строение, гидрогеологическое условие, тектонические нарушения и т.д.) зависит устойчивость зданий и сооружений на длительный период их эксплуатации (рисунок 1.4).

В зависимости от ряда причин, например от стадийности проектирования, сложности инженерно-геологических условий, характера и класса ответственности проектируемых зданий и сооружений, те или иные виды изысканий могут не проводиться. В соответствии со СНиПом 1.02.07-87, в состав инженерно-геологических изысканий входят:

- геофизические исследования;
- полевые исследования грунтов;
- гидро-геологические исследования;
- аэровизуальные наблюдения;
- камеральная обработка материалов;
- обследование грунтов оснований существующих зданий;
- сбор, обработка, анализ и использование материалов изысканий прошлых лет;
- лабораторные исследования грунтов;
- стационарные наблюдения.

В зависимости от стадии проектирования выделяются следующие стадии изысканий:

- подготовка предварительной проектной документации, где устанавливают перспективные варианты расположения объектов строительства;
- составление проекта (рабочего проекта) - это компоновка зданий и сооружений. Выбор типов фундаментов;
- составление рабочей документации - проектирование отдельных зданий и сооружений.

На первых двух стадиях обычно применяют метод «ключевых участков», когда с большей детальностью исследуют те участки геологической среды, данные которых можно экстраполировать на прилегающие площади.

Изыскания для рабочей документации ведутся при наличии генплана под конкретные здания, сооружения, коммуникации и другие объекты строительства.

По сложности инженерно-геологические условия территории делятся на три категории:

Таблица 1.2 – Категории инженерно-геологических условий

I (простая)	поверхность площадки горизонтальная, не более двух слоев различных грунтов, подземные воды, опасные геологические процессы и специфические грунты отсутствуют;
II (средней сложности)	Поверхность площадки наклонная, слабо расчлененная, не более четырех слоев различных грунтов, залегающих наклонно или с выклиниванием, два и более выдержанных горизонта подземных вод; опасные геологические процессы имеют ограниченное распространения; специфические грунты не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений;
III (сложная)	поверхность сильно расчленена; более четырех слоев различных грунтов с резко меняющейся мощностью, имеет место линзовидное залегание; горизонты подземных вод не выдержаны по площади и по мощности; опасные геологические процессы широко распространены и влияют на проектирование; специфические грунты оказывают решающее влияние на выбор проектных решений.

Категорию сложности устанавливают по совокупности факторов, но если какой-либо из них оказывает решающее влияние на выбор проектных решений, то ее определяют по этому фактору и увеличивают объем работ только для изучения этого фактора.

В зависимости от стадии проектирования выделяются следующие стадии инженерно-геологических изысканий для строительства зданий и сооружений, которые выполняются в несколько этапов:

- Предпроектный этап - прединвестиционная документация, градостроительная документация и обоснование инвестиции в строительстве. Выбору строительных площадок, транспортных и инженерных коммуникации и основ генеральных схем инженерной защиты от опасных геологических процессов.

- Проектный этап – входят проекты рабочей документации для строительства зданий и сооружений. В рабочей документации производится детализация и уточнение инженерно-геологических условий. Определяет расчетные показатели физико-механических свойств грунтов и специальные стационарные наблюдения за развитием опасных геологических процессов (тектонические нарушения и разломы) и режимом подземных вод.

- Строительный этап – выполняется при строительстве зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях и в условиях стесненной городской застройки. Возможны длительные перерывы во время между окончанием инженерных изысканий и началом строительства объектов.

- Эксплуатационный этап – обследование грунтов основание фундаментов, существующих рядом зданием и сооружений и проведение стационарных наблюдений (локальный мониторинг) за развитием опасных геологических процессов, деформациями зданий и сооружений и другими неблагоприятными факторами.

Инженерно-геологические изыскания для строительства зданий и сооружений выполняется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами (СНиП), (СП ГОС), а также ведомственными строительными нормами (ВСН) и инструкциями.

Таким образом, при качественном проведении комплекса инженерно-геологических изысканий при строительстве зданий и сооружений является основой и гарантией устойчивости грунта, строительного фундамента на длительный период. Это позволяет в значительной степени уменьшить деформационные процессы строительного объекта в сложного городского мегаполиса.

Характер и класс ответственности сооружений существенно сказывается на составе и объеме изысканий, в особенности на завершающей стадии проектирования. Таким образом, стадия проектирования, сложность инженерно-геологических условий, характер, и класс ответственности зданий и сооружений регулируют состав и объем инженерно-геологических изысканий.

1.3 Закономерности и причины образования деформаций инженерных сооружений

Для повышения надежности, долговечности, безопасности эксплуатации сооружений необходима объективная и точная информация взаимодействий конструкций с грунтовым основанием и внешней средой. Такое решение является основой для успешного выполнения концепций по безопасной эксплуатации инженерных сооружений в сейсмоопасных условиях. Достоверная информация геологической изученности на участке строительного объекта, результаты геодезических наблюдений, способствуют определению надежности общего состояния этих сооружений, выбору методов наблюдений и позволяет сделать объективную оценку предельно допустимых значений возможных деформаций.

Основной целью геодезического мониторинга по наблюдению деформационных процессов состояния зданий и инженерных сооружений является [5, 6]:

- определения абсолютных и относительных величин осадок и деформаций;
- выявления причин возникновения и степени опасности деформаций;
- определения характеристик устойчивости оснований и надёжности фундаментов сооружений;
- при строительстве и эксплуатации, а также изменения этих воздействий;
- предупреждения возможных рисков.

При решении этих задач с помощью современных приборов и оборудования устанавливаются размеры, типы и качество устройства фундаментов, деформации сооружений, а также состояние и перемещение грунтов, а также при разработке наблюдательной сети геомониторинга принимаются во внимание особенности сооружений. Местоположение и количество элементов наблюдательной сети для каждого конкретного объекта можно разработать индивидуально [7].

Определение напряженно-деформированного состояния здания необходимо для обеспечения нормальной эксплуатации строительного объекта. Это требует от исполнителей геодезических наблюдений, в зависимости от параметров строительного объекта, создания специального проекта ведения геодезических работ.

Мониторинговые исследования и проведение геодезических наблюдений высокоточными приборами и технологиями за деформациями зданий и сооружений предлагаем выполнять по специально разработанному проекту, который включает в себя следующие основные сведения, показанные на обобщенной схеме (рисунок 1.3).

На основании анализа результатов измерений деформаций делается техническое заключение о состоянии и прогнозе развития выявленных деформаций, разрабатываются рекомендации о продолжении мониторинга и геодезических наблюдений, или, наоборот, – об увеличении числа циклов измерений деформаций и пригодности их к дальнейшей эксплуатации.

Процедура мониторинга деформаций инженерных сооружений включает в себе две стадии [4, 5]:

1. Мониторинг деформации сооружения посредством выполнения серии измерений, выполненных в течение некоторого времени с целью определения изменений геометрических параметров (размеров) этого сооружения в одних, двух или трехмерных размерах относительно первоначального как производной от функции смещения;
2. Мониторинг действующих нагрузок и внутреннего напряжения, которые могут быть измерены непосредственно или получены с помощью специальных измерений.

Деформация инженерных сооружений возникает вследствие воздействия природных и техногенных факторов, формы, размеров и жесткости фундамента, распределения нагрузок внутри постройки [6, 8]. Деформации сооружений могут быть разделены на медленные и быстрые [9]. Медленные деформации происходят в результате постоянных нагрузок (собственная масса сооружения), тепловой нагрузки, сжимающей нагрузки, тектонической деятельности и так далее. Быстрые деформации происходят в результате сильной ветровой нагрузки, сейсмического воздействия или нагрузки от транспортных средств. Эти два типа могут быть определены расстоянием или точками перемещения (сдвига), угловыми перемещениями (вращение) и напряженными стрессовыми условиями.

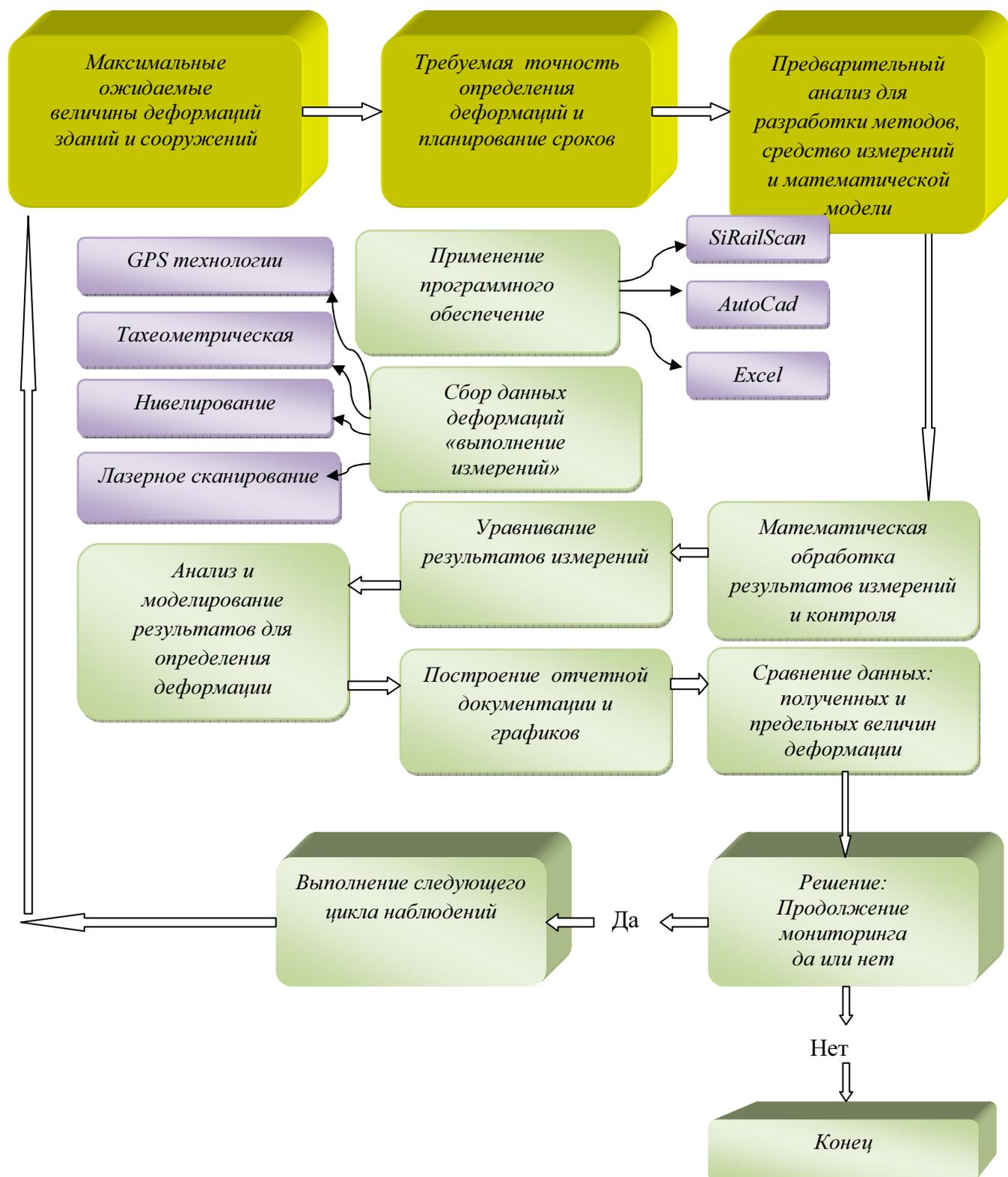


Рисунок 1.3 – Общая схема проекта геомониторинга по результатам геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений

Разность координат и разность наблюдений циклов измерений – два основных метода, используемых для определения деформации инженерных сооружений по геодезическим данным. Метод разности координат рекомендуется для большинства случаев, в которых требуется долгосрочный

периодический мониторинг. Метод разности в наблюдениях используется в основном для краткосрочного мониторинга проектов или как быстрая проверка исходных данных по мере их сбора.

При изучении деформаций сооружений геодезическими методами возникает необходимость назначения или расчета точности измерений [8,10]. Важность этого вопроса несомненна, так как от его решения зависит выбор метода и средств измерений, затраты трудовых и материальных ресурсов и, что самое важное – достоверность получаемых результатов. В нормативных документах требования к точности определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются величинами средних квадратических ошибок (СКО) для возводимых зданий и сооружений на грунтах, которые приведены в таблице 1.2. Выбор метода определения величин деформаций зависит, в основном, от вида сооружений и имеющегося геодезического оборудования.

Классификация инженерных сооружений и их нормативные требования к точности измерений приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Классификация инженерных сооружений и требуемые точности измерений их деформации

Классификация инженерных сооружений		
Первый класс Уникальные инженерные сооружения	Второй класс Ответственные инженерные сооружения	Третий класс Прочие инженерные сооружения
Высокоточные геодезические измерения	Высокоточные и точные геодезические измерения	Точные геодезические измерения
Непрерывный мониторинг	Непрерывный и прерываемый мониторинг	Прерываемый мониторинг
Требуемая точность измерений деформации: в диапазоне (0,02: 0,15) мм	Требуемая точность измерений деформации: в диапазоне (0,1: 0,5) мм	Требуемая точность измерений деформации: в диапазоне (0,5:1,0) мм
Примеры: Ускорители заряженных частиц; атомные электростанции; гидравлические электросети; радиоантенны.	Примеры: тепловые электросети; тоннели; Объекты, длительное время (более 100 лет) находящиеся в эксплуатации.	Примеры: Прочие заводы, цеха, (земляные сооружения)

Деформация инженерных сооружений определяется как геодезическими, так и негеодезическими методами [10,11]. По результатам измерений, выполняемых негеодезическими методами, такими как индикаторы часового типа, уровнемеры, датчики уровня, тензометры и др., получают величины так называемых относительных осадок. Приборы для таких измерений устанавливаются непосредственно на самом сооружении или внутри него с таким расчетом, чтобы они перемещались вместе с сооружениями. При помощи геодезических методов находят абсолютные величины деформаций сооружений по отношению к знакам, установленным на определенном расстоянии от сооружений и принимаемым практически за неподвижные. Для измерений

деформаций инженерных сооружений может быть использовано различное оборудование оптические и цифровые нивелиры, теодолиты, электронные тахеометры, GPS, лазерные сканеры, датчики углов наклона и другие [8-12]. Все результаты измерений деформаций сооружений, полученные с помощью различных методов, синхронизируются по временным меткам и систематизируются в виде графиков для дальнейшей обработки и оценки.

1.4 Изучение причин образований деформаций зданий и сооружений

Здания и сооружения – это наземные объекты, необходимые для удовлетворения тех или иных нужд человека и общества. Здания и сооружения имеют свои конкретные предназначения, т.е. жилые дома, учебные, научные, производственные корпуса, гидроэлектростанции транспортные эстакады и т.д.

Здания по-своему отличаются, от сооружений имеет, внутреннее пространство, предназначенное для проживания людей, проведения научных исследований, учебных производств, лечения и других нужд.

Инженерные сооружения относятся к наземным сооружениям для нужд производственного характера и транспортирования.

Исследование по изучению причин образований деформаций в основном направлено на здание общественного характера главного учебного корпуса КазНТУ имени К.И. Сатпаева рисунок 1.4.

Главный учебный корпус (ГУК) состоит из совокупностей построенных этажей. Отдельные этажи имеют определенное название: подвальный, цокольный, надземный, чердачный, мансардный и технический.

Все эти и другие помещения являются элементами объемно-планировочной структуры здания. Материальную же оболочку здания составляют взаимосвязанные конструктивные элементы – самостоятельные части или элементы здания, каждый из которых имеет свое определенное назначение: стены, фундаменты, крыши и т.п.



Рисунок 1.4 – Главный учебный корпус Казахского национального технического университета (КазНТУ им.К.И. Сатпаева)

В ходе строительства и эксплуатации зданий на конструктивные элементы постоянно воздействуют определенные силы, которые в конечном итоге оказывают нагрузки на общее состояние здания.

Силовые и не силовые нагрузки или воздействия возникают по следующим причинам: от собственной массы здания, от технологического оборудования, от людей, от внешней среды, от геологических, гидрогеологических условий и т.д.

Особое воздействие для зданий оказывают несущие ограждающие и совмещенные конструкции.

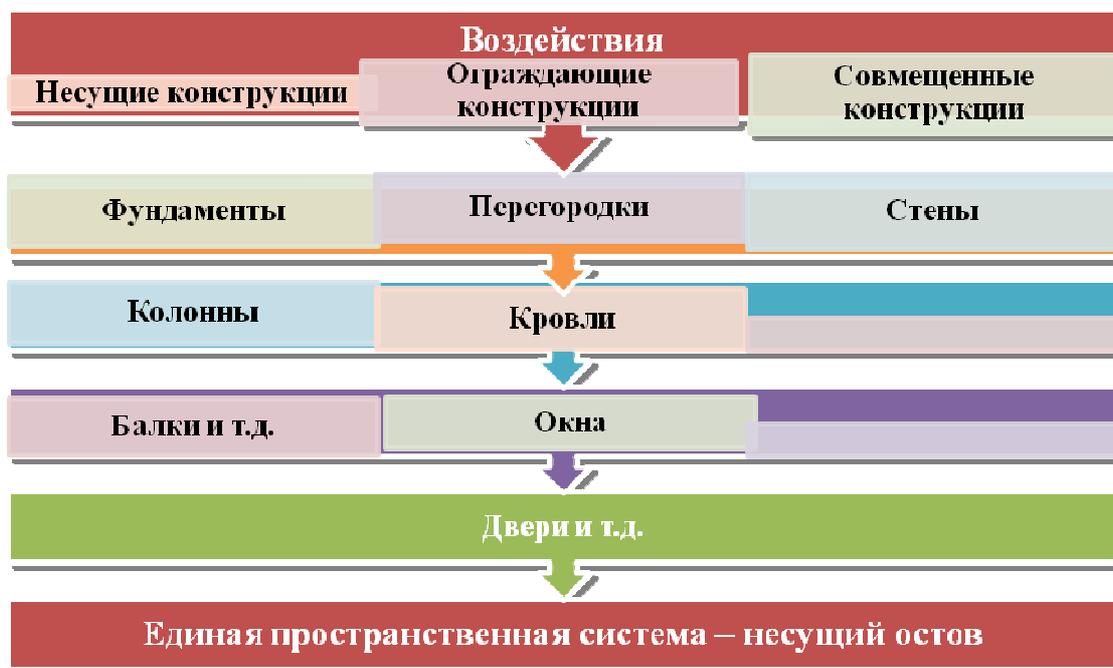


Рисунок 1.5 – Схема силовых и не силовых нагрузок на конструкции здания

Назначение несущих конструкций – воспринимать все виды нагрузок и воздействий силового характера, которые могут возникать в здании и передавать их через фундаменты на грунт.

Определив основные источники воздействия на несущий остов здания в процессе исследования, создает надежное восприятие и передача на основании всех видов силовых и не силовых воздействия, возникающих в процессе эксплуатации зданий.

Необходимо отметить, воздействие на несущий остов зданий делятся на три основных типа: каркасный, стеновый (бескаркасный) и комбинированный (или смешанный) – состоит из различных сочетаний стержневых и плоскостных вертикальных элементов (стоек каркаса и стен).

Анализируя, основные причины образования деформаций зданий явилось основным направлением в проведении исследовательских работ, т.е. предложен план инициационных исследований (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – План инициационных исследований

При строительстве производственных и общественных зданий важным элементом является каркасный остов в виде колон или стояк, т.е. стержневые и вертикальные опоры. Каркасный остов является в настоящее время основным конструктивным элементом здания и находит широкое применение при строительстве жилищных, производственных и общественных зданий.

При проектировании и эксплуатации каркасных зданий, как несущий остов рекомендуется применять следующие конструктивные системы: равные со всеми жесткими узлами; рамно-связевые; связевые; каркасно-стеновые.

В практике строительства каркасных зданий используют диафрагму жесткостей, которые в каждом направлении зданий должно устанавливаться не менее двух диафрагм жесткости. Диафрагмы жесткости располагают симметрично или их объединяет пространственные элементы продольного и поперечного направлений. В сейсмических районах, где подвижки земной коры до 9, 10 баллов в каркасных зданиях с ядрами жесткости рекомендуется располагать симметрично относительно центральных осей здания.

Вся совокупность конструктивных элементов несущего остова многоэтажных зданий в каждом отдельном случае объединена между собой вполне определенным образом, образуя в пространстве единство закономерно расположенных частей, т.е. систему, которую называют конструктивной. Так называют способ размещения несущих горизонтальных и вертикальных конструкций в пространстве, их взаимное расположение и способ передачи усилий.

Согласно СНиП РК 2.03-30-2006 определены предельно допустимые горизонтальные деформации этажи зданий для предотвращения разрушения конструкций несущего остова. Горизонтальные деформации по СНиПу РК 2.03-

30-2006 считается горизонтальный перекос этажа или в целом здания, которое представляет собой разность горизонтальных перемещений верхних и нижних перекрытий зданий. Величина перекосов этажей должно удовлетворять условию

$$\Delta_h \leq h_k \cdot K_2 \cdot \varepsilon,$$

где h_k – высота этажа; K_2 – коэффициент для определения расчетных усилий в несущих конструкциях зданий; ε – коэффициент, принимаемый в зависимости от типа соединений ненесущих и несущих конструкций в здании (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Значения коэффициента ε

Типы соединений между ненесущими стеновыми конструкциями и несущими конструкциями здания	Значения коэффициента ε
1. Обеспечивающие раздельную работу несущих и ненесущих конструкций при сейсмических воздействиях	0,020
2. Не обеспечивающие раздельную работу несущих и ненесущих конструкций при сейсмических воздействиях	0,010

Если величина перекосов одного или нескольких этажей здания не отвечает требованиям, то горизонтальная жесткость этих этажей должна быть усилена.

Таким образом, учитывая силовые и не силовые воздействия, конструктивные системы, диафрагмы жесткости, их расположение относительно центральных осей здания и другие несущие и ненесущие элементы конструкций, которые являются дополнительными причинами образований деформаций зданий для проведения геодезического мониторинга.

При проведении геодезических наблюдений за возможными перемещениями и деформациями зданий следует:

- а) разработка программы измерения и создание рациональных, инициационных направлений исследования;
- б) обоснование схемы расположения и установки различных пунктов и реперов геодезической сети (высотные и плановые);
- в) для наблюдения за системой элементов конструкции зданий дополнительно установить деформационные марки, самодельные и профессиональные маяки;
- г) создать графики циклических инструментальных наблюдений за процессами измерений горизонтальных и вертикальных перемещений зданий;
- д) группирование исходной информации, обработка и анализ результатов геодезических измерений.

1.5 Выводы по разделу

1. Проведен анализ комплекса измерительных и описательных мероприятий по выявлению деформаций сооружений. Определены основные направления по геодезическим наблюдениям непосредственно за зданиями и

сооружениями: инженерно-геологические изыскания, инженерно-геодезические, инженерно-гидрометеорологических и инженерно-экологические изыскания.

2. Определена исходная информация комплекса работ в составе инженерно-геологической съемки для оценки устойчивости грунта, строительного фундамента для определения степени деформационных процессов и их видов в период строительства и эксплуатации здания.

3. Установлены факторы для выявления закономерностей деформаций сооружений и математического синтеза, предложен план проведение геодезических наблюдений трещин высокоточными приборами для обоснования способа измерений их геометрических параметров.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ, АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1 Исследование земной поверхности с помощью интерферометрии

Увеличение разрешающей способности антенн с синтезированной апертурой установленных на космических аппаратах вызвало интерес к более детальному использованию результатов полученных с применением таких антенн для радиолокационного зондирования земли. Комплекс соответствующей аппаратуры называют SAR-системами, по аналогии с космическим сенсором Synthetic aperture radar, установленным на космическом аппарате.

По сравнению с оптико-электронными устройствами, SAR-системы обладают целым рядом преимуществ, главная из которых всепогодность, т.е. возможность наблюдения земной территории в сплошную облачность и даже ночью. Это делает SAR-системы весьма востребованными для оперативного космического мониторинга.

В настоящее время все большее распространение среди космических средств определения вертикальных и горизонтальных перемещений земной поверхности получает радиолокационная интерферометрия, при которой анализируется амплитуда и фаза сигнала, отраженного от поверхности. При этом одно изображение, сделанное с помощью SAR-системы, в большинстве случаев не имеет практического значения, тогда как два одновременных снимка (интерференционная пара), эффективно используются для решения задачи дифференциальной интерферометрии.

Преимущество интерферометрического метода заключается в возможности получать информацию о подвижках земной поверхности для больших территорий (до 3000 кв. км.), а не только в конкретных точках, при измерениях наземными геодезическими приборами. Данный метод эффективен и экономически, так как исключается выполнение дорогостоящих геодезических полевых работ [64]. Периодичность получения радарных данных с космических спутников может колебаться от 11 до 45 дней, в зависимости от типа космического аппарата.

Спутниковая радиолокационная интерферометрия является методом дистанционного зондирования, обеспечивающим высокую точность определения высот и смещений за счет использования фазовой компоненты сигнала.

Каждое радиолокационное изображение содержит амплитудный и фазовый слой. Амплитудный слой в основном используется для осуществления географической привязки снимков, а по фазовой компоненте можно получить информацию о произошедших за время между съемками деформационных изменениях исследуемой поверхности [67-69]. Результирующая фаза Φ , полученная в ходе интерферометрической обработки фазовых слоев интерферометрической пары, состоит из следующих компонентов:

$$\Phi = \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_n, \quad (2.1)$$

где: Φ_{topo} — фазовый набег за счет обзора топографии под двумя разными углами;

Φ_{def} — фазовый набег за счет смещения поверхности в период между съемками;

Φ_{atm} — фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в среде распространения сигнала;

Φ_n —вариации фазы в результате электромагнитного шума.

Слагаемое Φ_{def} в выражении (2.1) не зависит от орбитальных параметров, а определяется только длиной волны и величиной смещения в направлении луча обзора.

Это свойство интерферометрической разности фаз позволяет измерять подвижки земной поверхности на величины, сравнимые с длиной волны радиолокатора, т.е., на сантиметры или даже миллиметры. Для получения абсолютных значений подвижки исследуемого участка земной поверхности необходимо исключить влияние топографической компоненты Φ_{topo} из полной фазы интерферограммы. Из-за необходимости вычитания топографической компоненты из полной фазы интерферограммы для получения величины Φ_{def} этот метод получил название дифференциальной интерферометрии (ДИ) [73].

Методом ДИ можно определять величины смещений земной поверхности путем вычитания из интерферограммы топографической компоненты опорной Цифровой Модели Рельефа (ЦМР). При этом, чем выше точность опорного рельефа по высоте, тем увереннее определяются смещения и отфильтровываются фазовые помехи, повышается когерентность [67, 68]. Для максимально корректного разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности необходима ЦМР наиболее близкая по времени к данным используемым для интерферометрической обработки. Для построения актуальной на данный момент ЦМР использовался метод радарной интерферометрии.

Для отработки технологии обнаружения подвижек земной поверхности методом дифференциальной интерферометрии в качестве тестового участка была выбрана территория корпорации Казахмыс, на которой проводилась интенсивная подземная разработка рудных месторождений, что явилось причиной возникновения деформаций рельефа, просадок и обвалов почвы (рисунок 2.1). Исследуемая область охватывает четыре планшета сто тысячного масштаба.

На выбранном участке с 70 годов велись топографо-геодезические работы по наблюдению за оседанием грунта в связи с интенсивной разработкой рудных месторождений [70]. По данным топографо-геодезических измерений по фиксированным реперным точкам тестового участка было выявлено, что скорость оседания грунта в отдельных точках достигает до 1 см в месяц.

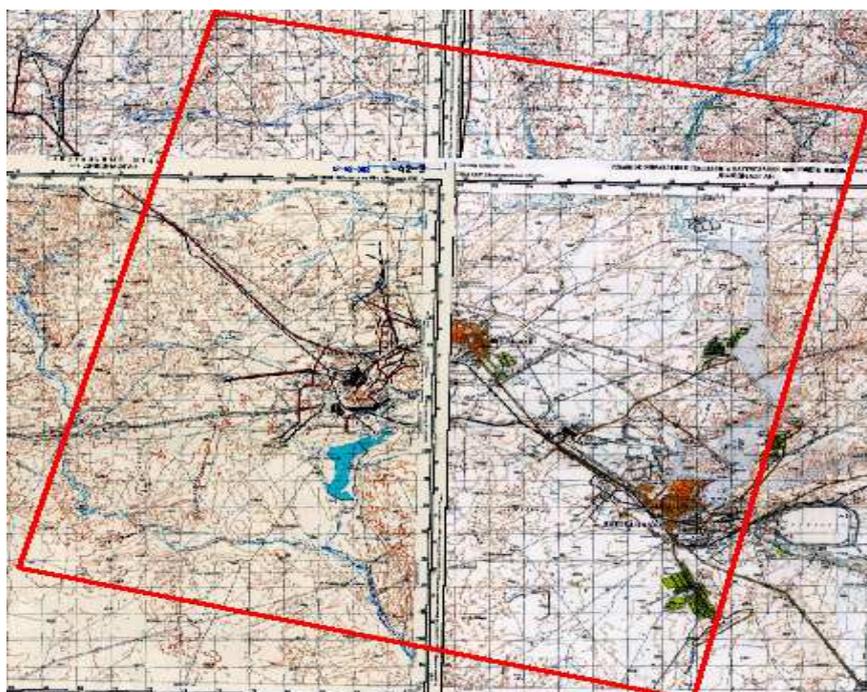


Рисунок 2.1 – Картограмма тестового участка

В результате проведенного анализа технических характеристик космических систем нового поколения, для решения задачи дифференциальной интерферометрии было решено воспользоваться данными полученными аппаратами Cosmo-SkyMed и TerraSAR-X в различных временных режимах [72].

Съемка космическим аппаратом Cosmo-SkyMed проводилась с временной базой 16 дней в течении периода весна-лето 2012 года. Положительными факторами такой съемки являются: получение значительного количества тандемных пар радиолокационных изображений; высокая когерентность; малая декорреляция радиолокационных данных.

Схема покрытия территории тестового участка радиолокационными данными Cosmo-SkyMed изображена на рисунок 2.2. Даты съемки показаны в таблице 2.1.

Из многопроходной съемки с космического аппарата TerraSAR-X была выбрана интерферометрическая пара с наименьшей базовой линией. Даты съемки выбранной пары приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Режим многопроходной съемки Cosmo-SkyMed.

Космический аппарат	дата	территория
Cosmo-SkyMed	2012 04 06	Сатпаев
Cosmo-SkyMed	2012 04 22	Сатпаев
Cosmo-SkyMed	2012 05 08	Сатпаев
Cosmo-SkyMed	2012 05 24	Сатпаев
Cosmo-SkyMed	2012 06 10	Сатпаев
Cosmo-SkyMed	2012 05 26	Сатпаев

Таблица 2.2 – Режим съемки TerraSAR-X

Космический аппарат	дата	территория
TerraSAR-X	2011 10 18	Сатпаев
TerraSAR-X	2012 08 10	Сатпаев

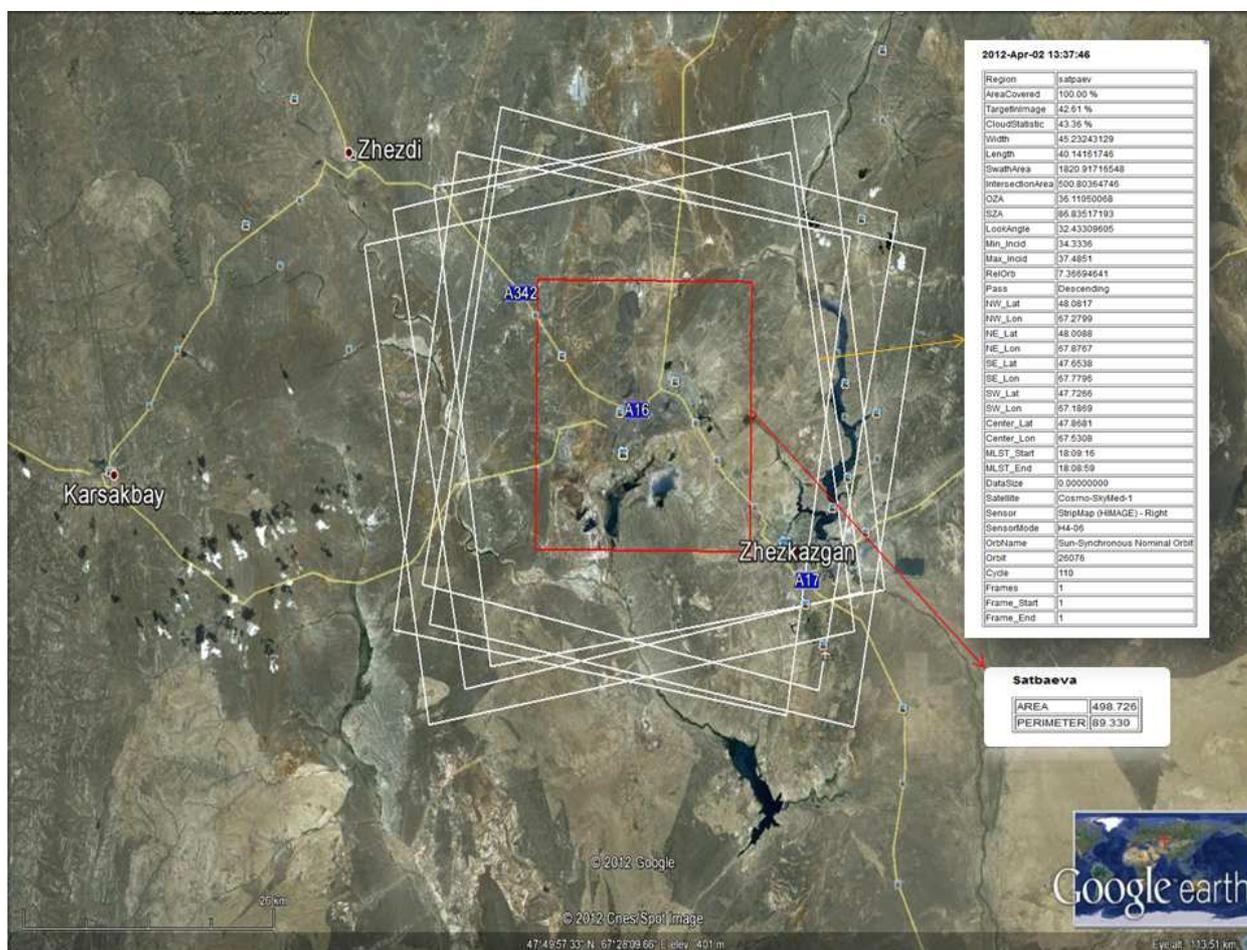
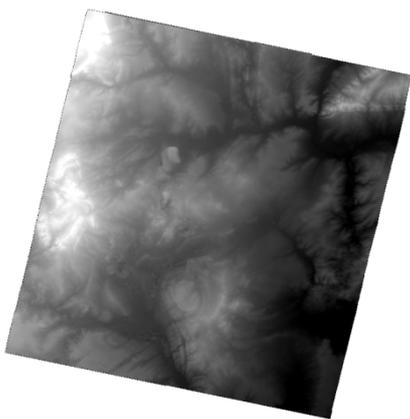
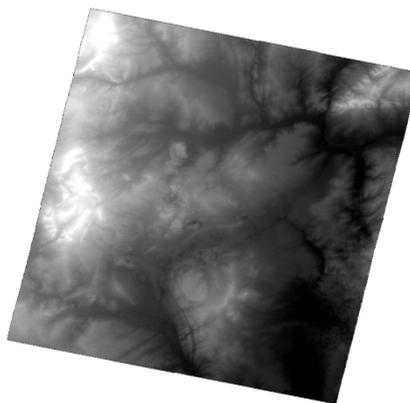


Рисунок 2.2 – Схема покрытия тестового полигона данными радиолокационного зондирования CosmoSkyMed

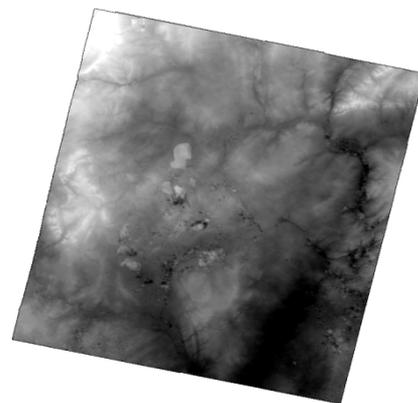
Для достижения необходимой точности элементов ЦМР использовалась многопроходная съемка тестового участка с использованием радиолокационных данных космического аппарата COSMO-SkyMed. Из всех заказанных радарных снимков было выбрано четыре, которые были построены интерферометрическим методом три ЦМР [65, 66]. Для оптимальности сочетания интерферометрических фаз пары выбирались итерационным методом путем подбора временной и пространственной базы. Следует отметить, что минимальное значение пространственной базы (расстояние между двумя радиолокационными сенсорами) определяло лучшую детальность радиолокационных изображений (рисунок 2.3).



ЦМР 0805_2405_2011
перпендикулярная базовая
линия 511 м



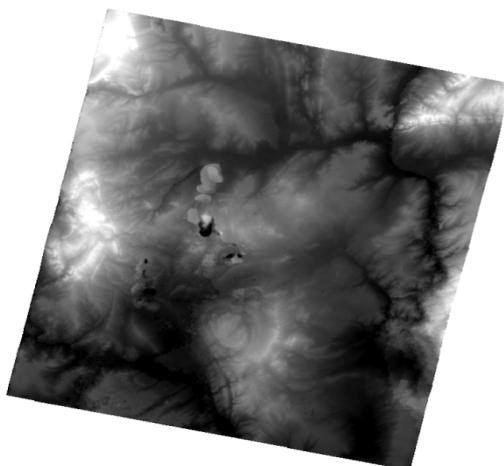
ЦМР 0805_0906_2011
перпендикулярная базовая
линия 518м



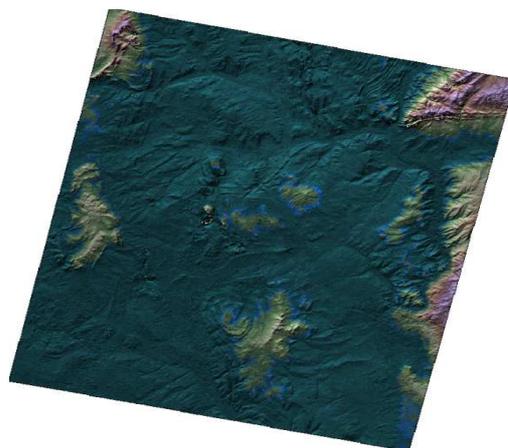
ЦМР 0805_2506_2011
перпендикулярная базовая
линия 127м

Рисунок 2.3 – ЦМР, построенные по интерферометрическим парам данных COSMO-SkyMed с разными временными базами

Итоговый рельеф (рисунок 2.4) был получен усреднением по трем интерферометрическим парам, что значительно повысило точность результирующей ЦМР.



А



Б

Рисунок 2.4 – ЦМР, построенные по данным COSMO-SkyMed:
А – черно-белая палитра, Б – цветная палитра для лучшего визуального восприятия.

Построенная ЦМР, в плане, практически полностью совпадает с топографической картой масштаба 1:100 000, что говорит о ее высокой точности (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Исследуемая методом интерферометрии область на фоне 100 000 планшетов

Построенная ЦМР была использована для разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности с целью получения абсолютных значений смещений земной поверхности на тестовом участке.

Выявление смещений земной поверхности проводилось с использованием радарных снимков с космического аппарата TerraSAR-X с временной базой девять месяцев. Для расчетов была отобрана интерферометрическая пара радиолокационных снимков за 18 октября 2011г и 10 августа 2012г.

Для мониторинга смещений земной поверхности методами ДИ были получены многопроходные пары радиолокационных космических снимков космических аппаратов Cosmo-SkyMed (5 сцен) и TerraSar - X (5 сцен) по которым были построены ЦМР и интерферограмма (рисунок 2.6).

При этом, тандемная пара космических снимков космического аппарата (КА) Cosmo-SkyMed, с максимальной величиной базовой линией (1031 м.) использовалась для построения цифровой модели рельефа (ЦМР), а тандемная пара КА TerraSar - X с минимальным значением базовой линии (200 м.) - для генерации интерферограммы.

Генерация интерферограммы и построение ЦМР осуществлялись в программном комплексе ERDAS Imagine2011 с использованием модуля InSAR [65, 66].

Построенная ЦМР была послужила основой для разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности с целью получения абсолютных значений смещений земной поверхности на тестовом участке [71].

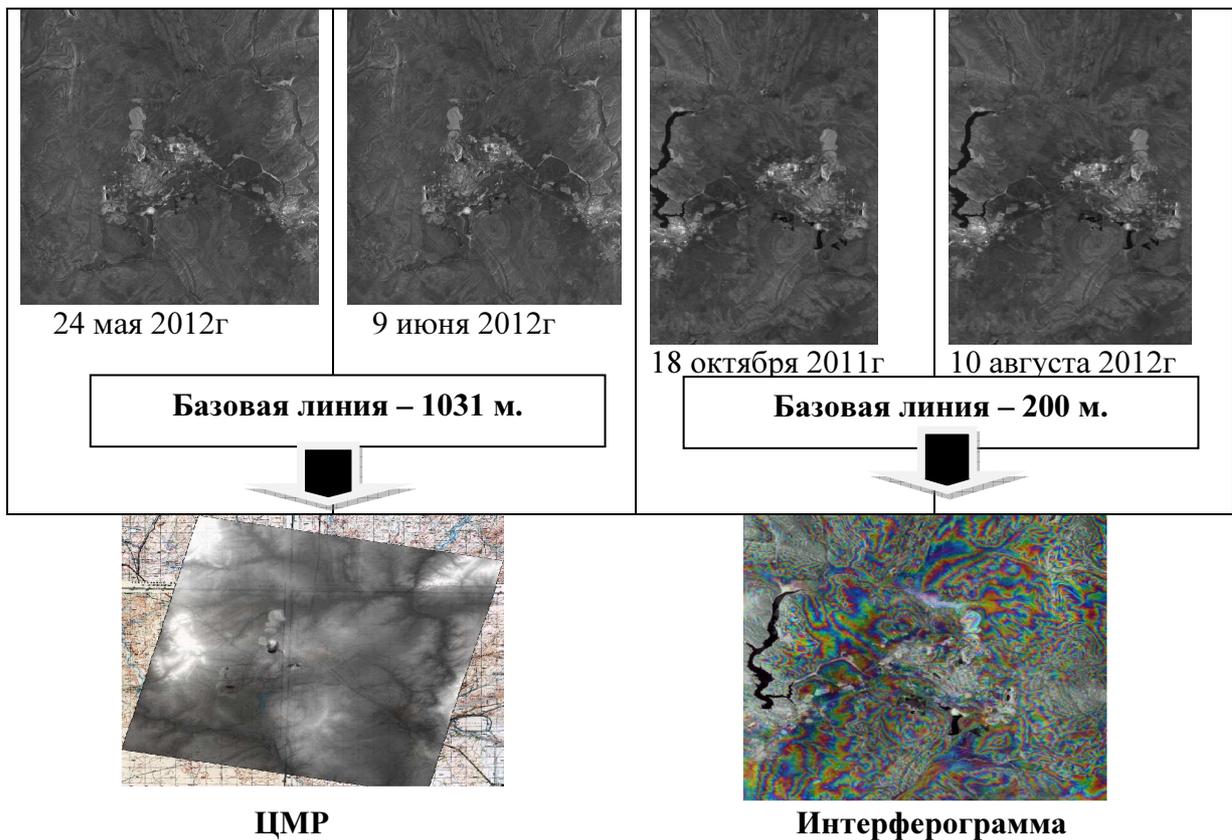


Рисунок 2.6 – Генерация ЦМР и интерферограммы

После проведения операций:

- фильтрации интерферограммы;
- разделения компонентов фазы Φ_{topo} и Φ_{def} ;
- развертки фазы (процедура перехода от относительных значений фазы к абсолютным величинам смещений),

По полученной интерферограмме построена карта смещений земной поверхности на тестовом участке (рисунок 2.7). Контуры показывают величины вертикальных смещений в сантиметрах.

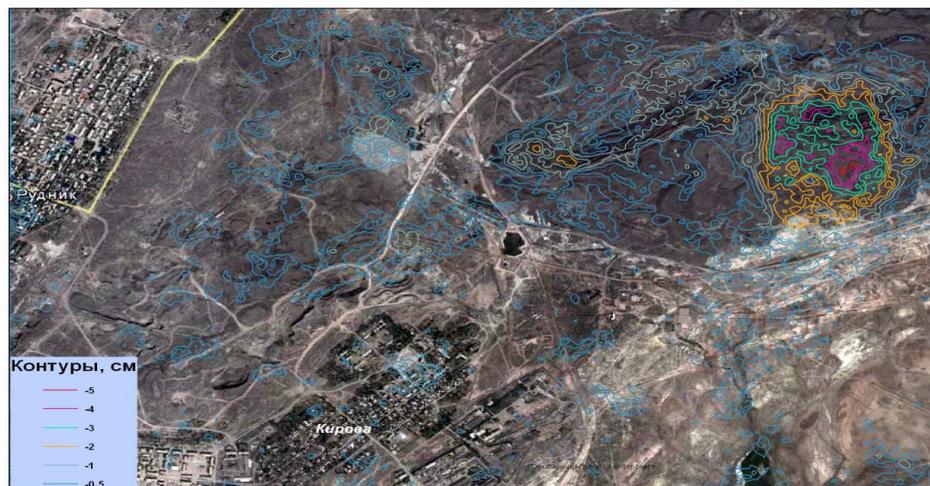


Рисунок 2.7 – Карта смещений земной поверхности на тестовом участке

Сопоставление результатов проседания земной поверхности, полученных методом дифференциальной интерферометрии с данными маркшейдерских измерений за период 1968-2011 гг. по профилю [1, 33], показало достаточно высокую корреляцию. На рисунке 3.8 приведена схема расположения профиля [1,33] на результирующей карте смещений, полученной из интерферометрических измерений и величины смещений вдоль этого профиля. По данным интерферометрических измерений в точке репера 27 абсолютная величина просадки земной поверхности с октября 2011г по август 2012г составила 0.8 см, а по наземным измерениям это значение равно 1 см.

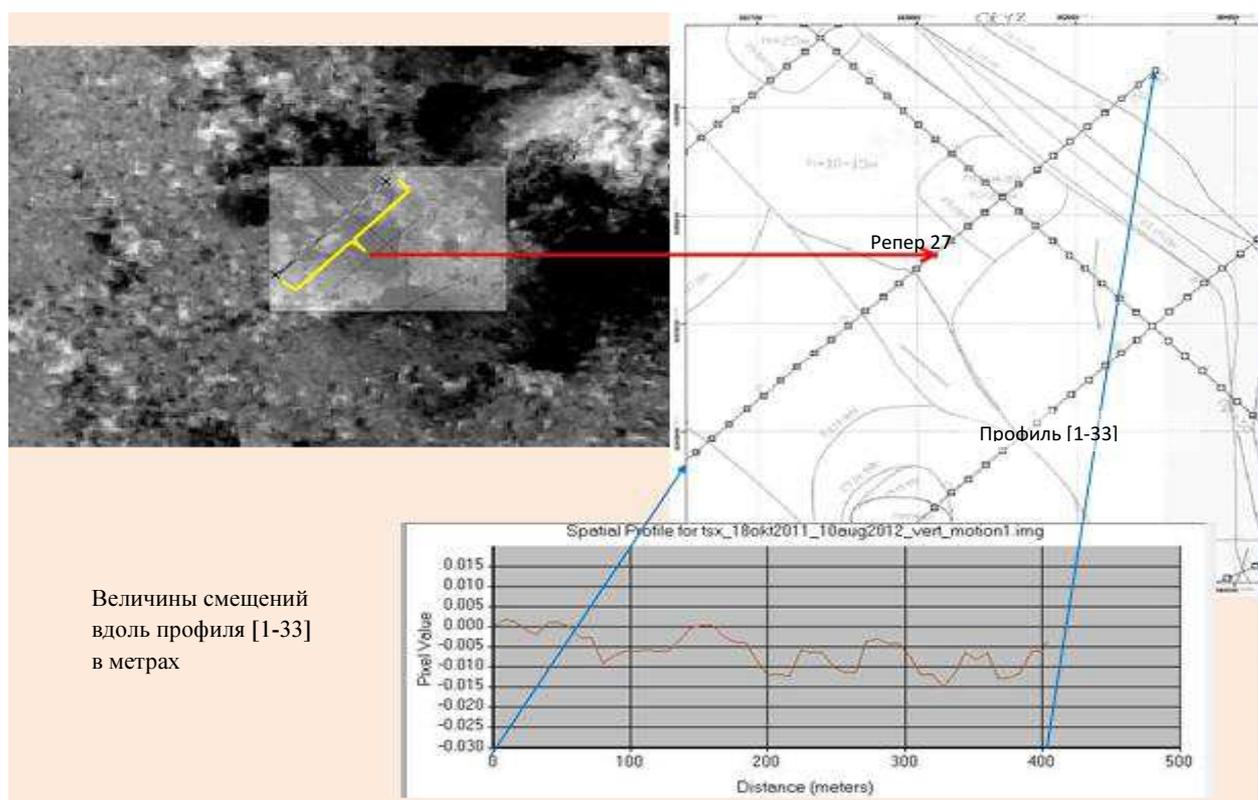


Рисунок 2.8 – Сопоставление проседания земной поверхности полученных методом дифференциальной интерферометрии и наземными измерениями

В заключении отметим, что точность методов дифференциальной интерферометрии для решения задачи мониторинга подвижек земной поверхности, зависит от параметров космической съемки. Поэтому необходимо иметь набор не менее чем из пяти снимков для возможности осуществления выбора наиболее коррелирующих между собой снимков [88].

2.2 Анализ и влияние тектонического разлома методом АЗАН

Весьма показательным в этом плане является пример со зданием главного учебного корпуса Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева (КазНТУ), расположенным по ул. Сатпаева 22, г.Алматы, Республики Казахстан. Здание построено в середине 80-х годов прошлого века по проекту «ГИПРОВУЗ». Работы по изучению зоны разлома и

предварительной оценке инженерно-геологических условий на площадке строительства объектов различного функционального назначения для КазНТУ, расположенной южнее ул. Сатпаева и восточнее ул. Байтурсынова в г.Алматы, выполнялись ЗАО «КазГИИЗ» [74].

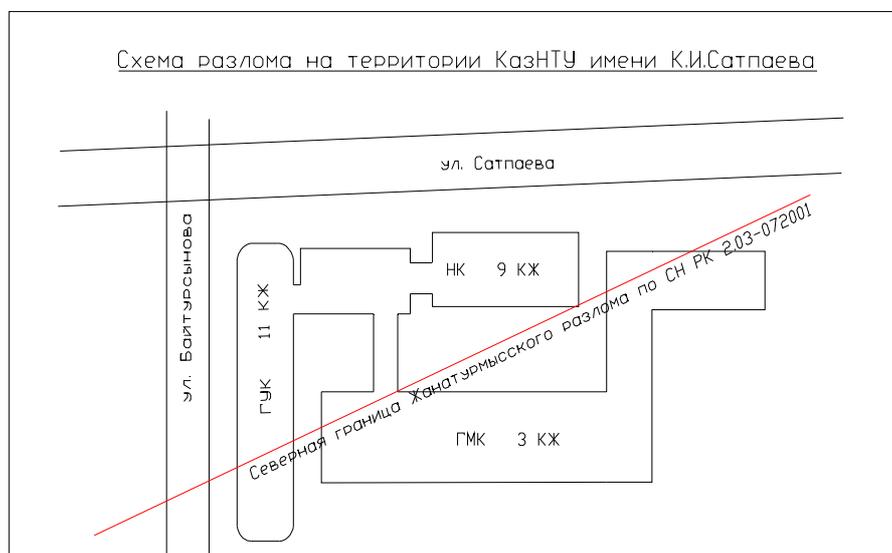


Рисунок 2.9 – Схема Жанатурмысского разлома на территории КазНТУ имени К.И.Сатпаева

Согласно СН РК 2.03-07-2001, основная часть запрашиваемой площадки проектируемого строительства и реконструкции расположена в зоне Жанатурмысского тектонического разлома. Поэтому в рамках выполненных работ решалась задача уточнения местоположения северной границы и изучения структуры зоны проявления Жанатурмысского разлома относительно этой площадки. Для этих целей в соответствии с Протокольным решением Минстроя Республики Казахстан за № 1 от 2.06.94г. и распоряжением главы Алматинской городской администрации за № 58-р от 5.06.94г. в качестве обязательного был использован метод картирования Активных Зон Аномальных Напряжений (метод АЗАН). Метод запатентован в Республике Казахстан (Патент 799 РК).

Метод АЗАН основан на анализе полей распространения в почвенном воздухе радиоактивных (радон и торон) и других сопутствующих газов (метан и углекислый газ), выступающих в качестве носителей информации о процессах, протекающих в недрах и на поверхности земли. Верхняя часть покровных отложений при этом является индикаторной пленкой, отображающей распределение газовых полей в пространстве.

Регистрируя выделения газов, их количество и соотношение, можно сделать вывод о степени деформации и нарушенности среды тектоническими и техногенными процессами.

Комплекс КазНТУ в геоморфологическом отношении находится в центральной части современного конуса выноса р. Малой Алматинки на границе с эрозионным останцем древнего конуса выноса. В связи с этим грунтовые условия в плане характеризуются значительной изменчивостью на небольших расстояниях [74].

На большей части территории комплекса КазНТУ наблюдается мощная толща галечниковых грунтов с песчаным (реже – супесчано-суглинистым) заполнителем, перекрытая слоем покровных образований, представленных насыпным грунтом (суглинок со щебнем, гравием, обломками шифера, бетона, куски арматуры) и просадочными суглинками. Мощность (толщина) насыпных грунтов изменяется в пределах 0,3-8,5 м. Распространены они повсеместно, но наибольшая мощность их наблюдается у южной границы участка. Суглинки имеют мощность от 0,6 м до 6,4 м. Наибольшая мощность их встречается юго-восточной части участка.

Учитывая сравнительно плотную обустроенность территории, трудно прогнозировать современное состояние грунтов. Поэтому для проектирования на стадии рабочей документации конкретных объектов строительства и реконструкции необходимо уточнить состав грунтов и их свойства, для чего следует выполнить инженерно-геологические изыскания в соответствии с требованиями нормативных документов и по их результатам определить физико-механические свойства грунтов площадок застройки.

Согласно СН РК 2.03-07-2001 «Застройка г.Алматы и прилегающих территорий с учетом сейсмического микрорайонирования» территория относится к зоне с сейсмичностью 9 баллов. Эта сейсмичность относится к территории застройки, расположенной за пределами зоны разлома.

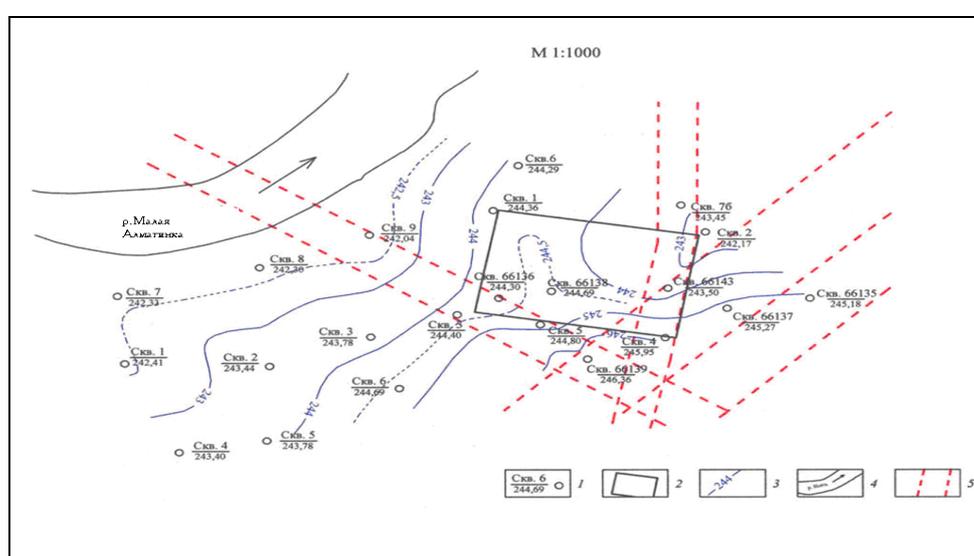
Замечено, что аварии, разрушения и деформации инженерных сооружений, промышленных и гражданских зданий при прочих равных условиях в большинстве случаев происходят именно в этих так называемых зонах аномальных напряжений, особенно при сейсмически толчках, многократно усиливающих разрушающее воздействие. Природа этих зон объясняется возмущением фонового поля напряжений, вызванным наличием разнообразных неоднородностей и проявлением опасных экзогенных процессов в грунтовом массиве особенно, таких как тектонические нарушения [74].

При большой мощности рыхлых отложений появление радиоактивных газов в почвенном воздухе можно объяснить выделением эманации из самих отложений, а наличие аномалий содержания радиоактивных и других газов увеличением эманации в грунтах при создаваемых в них напряжениях, миграции газов и скопления их над ослабленными зонами.

Результаты профильных работ методом АЗАН, выполненных в течение последних пяти лет по изучению зон тектонических разломов, указывают на перспективность нового метода для оценки возможности использования их зон при градостроительном освоении территорий. Измерения этим методом были проведены на отдельных фрагментах зон тектонических разломов, показанных на Карте комплексного сейсмического микрорайонирования г. Алматы и

прилегающих территорий. Данные измерений свидетельствуют о том, что собственно зона тектонического разлома шириной около 300 м. представляет чередование блоков с различной степенью нарушенности массивов грунтов. Особую опасность представляют нарушенные блоки и зоны их сочленения, где возникают аномальные напряжения. Эти элементы внутри тектонического разлома картируются как самостоятельные зоны более высокого порядка по повышенным концентрациям газовых составляющих, содержащихся в почвенном воздухе. Ненарушенные блоки характеризуются фоновыми значениями содержаний газовых компонентов [74].

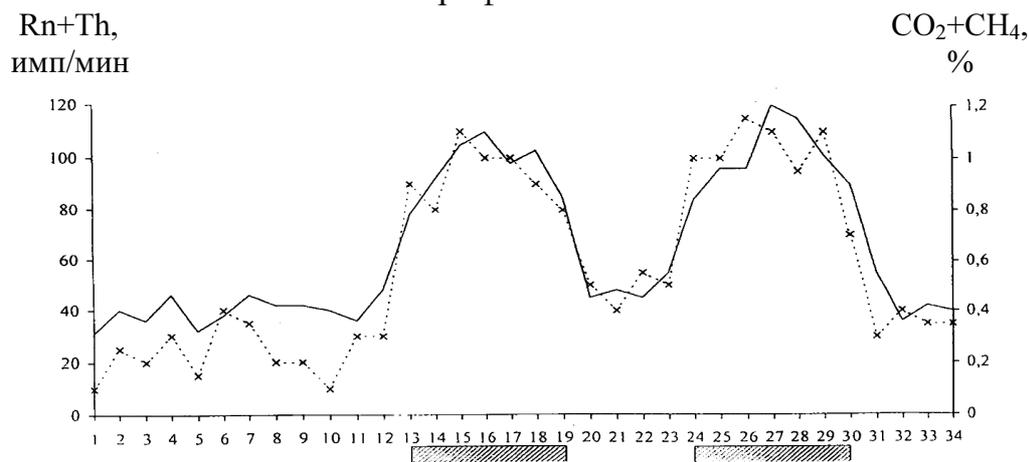
Таким образом, в пределах зон проявления тектонических разломов на дневной поверхности, показанных на Карте сейсмического микрорайонирования г. Алматы, выделяются благоприятные и неблагоприятные участки для строительства.



1 - Скважина, её номер; 2 - Контур здания КазНТУ; 3 - Гидроизогипсы; 4 - Река Малая Алматинка; 5 - Активные тектонические разломы
Рисунок 2.10 – Карта гидроизогипс

На запрашиваемой площадке были выполнены измерения методом АЗАН по 3 профилям, ориентированным в субмеридиональном направлении с пересечением северной границы зоны Жанатурмысского тектонического разлома. Профиль № 1 длиной 330 метров протянулся с западной стороны территории КазНТУ по ул. Байтурсынова. Профиль № 2 длиной 330 метров пройден по улице Сатпаева и далее по улице Аскарова через территорию университета, и профиль № 3 длиной 310 метров был выполнен с восточной стороны запрашиваемой территории. Кроме того, для уточнения северной границы Жанатурмысского разлома были использованы результаты фоновых профильных измерений по улице Маркова [74].

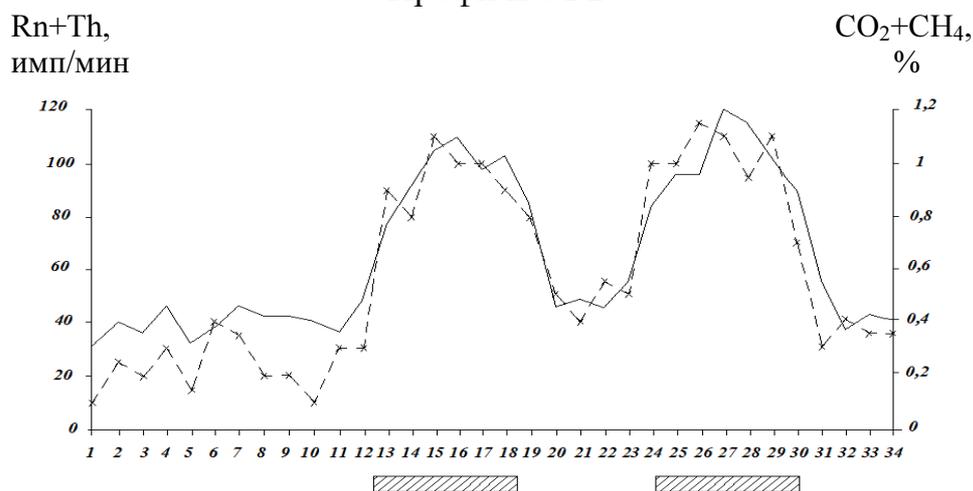
График измерений методом АЗАН Профиль № 1



Условные обозначения

- зона аномальных напряжений
- суммарное содержание радона и горона, имп/мин
- суммарное содержание метана и углекислого газа, %

Профиль № 2



Профиль № 3

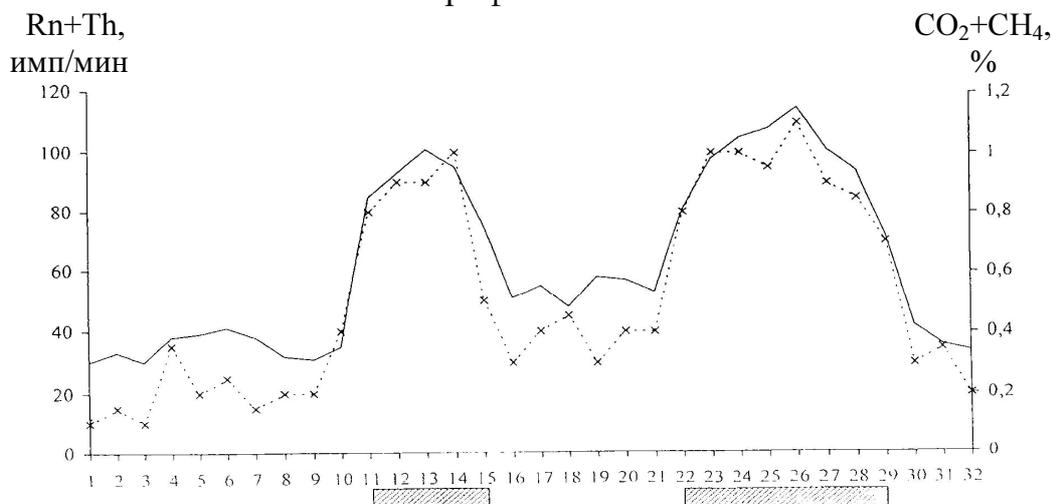


Рисунок 2.11 – График измерений методом АЗАН

В каждом пункте проводились измерения с отбором проб почвенного воздуха из шпуров глубиной 0,6 - 0,8 м путем закачки насосом последовательно в камеру газоанализатора и эманометра. В качестве измерительной аппаратуры использовалась установка, включающая эманометр «Радон» и шахтный интерферометр «ШИ-10». Содержание радиоактивных газов радона и торона определялось в условных единицах, в качестве которых принято количество импульсов в минуту (имп/мин) электромеханического счетчика, а содержание газовых компонентов метана и углекислого газа - в процентах (%). Оптимальное количество качков насоса для отбора проб воздуха определено техникой выполнения работ методом АЗАН. В каждом пункте измерения согласно технологии производства работ предусматривалось в среднем по три замера. После производства замеров воздушные камеры приборов прокачивались, и установка перемещалась на другой пункт измерения, где повторялся цикл измерений [74].

По результатам профильных измерений были построены графики суммарных содержаний радиоактивных газов радона и торона в импульсах за минуту (имп/мин) и газовых компонентов - метана и углекислого газа - в процентах (%).

На всех графиках выделены по два участка с аномальными значениями содержания измеряемых газовых компонентов почвенного воздуха. На графике профиля № 1 аномальные значения содержания газовых компонентов выделяются с пикета 13 до пикета 19 и с пикета 24 до пикета 30. На графике профиля № 2 аномальные значения отмечены на двух участках – с пикета 13 до пикета 18 и с пикета 25 до пикета 31 и на графике профиля № 3 аномальные участки подсечены между пикетами 11 -15 и 22 – 29.

Аномальные участки характеризуются повышенными значениями содержаний в почвенном воздухе радона и торона в пределах 70 - 110 имп/мин и суммарного содержания метана и углекислого газа 0,6 - 1,1 %. Фоновые значения радиоактивных газов составляют 30 - 60 имп/мин, а других измеряемых газов - 0,1 - 0,5% [74].

При объединении аномальных участков на этих профилях выделяются две линейные зоны Жанатурмысского тектонического разлома, простирающиеся в субширотном направлении. Участок с аномальными значениями, расположенный в средней части разлома отождествляется с «осевой» зоной напряжений, а в северной части тектонического разлома, - с «приконтактной» зоной аномальных напряжений, которая соответствует уточненному местоположению северной границы зоны разлома. Между этими зонами выделяется благоприятный для строительства участок с фоновыми значениями измеряемых газовых компонентов.

Таким образом, на площадке строительства объектов различного функционального назначения для КазНТУ, расположенном южнее улицы Сатпаева и восточнее улицы Байтурсынова в г. Алматы, по результатам профильных измерений методом АЗАН уточнено местоположение проявления на дневной поверхности северной границы зоны Жанатурмысского разлома, а также выделены две аномальные зоны субширотного направления,

неблагоприятные для строительства, между которыми расположен благоприятный для строительного освоения участок в пределах зоны Жанатурмысского разлома [74].

При проектировании и строительстве как на благоприятном, так и неблагоприятных участках в пределах зоны разлома при расчетах сейсмических нагрузок необходимо ввести повышающие коэффициенты на величину смещения и ускорения, принятую для аналогичных грунтовых условий за пределами зоны разлома. Эти коэффициенты могут быть определены только с учетом инженерно-геологических условий под конкретные объекты строительства по данным детальных изысканий [74, 89].

2.3 Создание высотной опорной геодезической сети

При наблюдениях за деформациями инженерных сооружений особое внимание уделяется стабильности высотной опорной сети. С целью повышения надежности опорной сети в районе наблюдений за осадками, как правило, закладывают несколько опорных реперов, конструкция которых может обеспечить высокую стабильность положения. На стабильность высотной основы значительное влияние оказывают деформационные характеристики грунтов, на которые опираются репера. При этом опорные репера желательно располагать недалеко от наблюдаемых объектов, подверженных осадкам. Для большей надежности и для контроля опорной сети между опорными реперами регулярно прокладывают высокоточные нивелирные хода. Так как по относительным измерениям превышений между реперами невозможно судить об абсолютной стабильности реперов, ставится дополнительное условие: количество нестабильных реперов должно быть менее половины, только в этом случае возможно выявление нестабильного репера. Дополнительное условие обосновано использованием конструкций опорных реперов повышенной стабильности и стремлением заложить опорные репера в наиболее стабильные грунты.

К настоящему времени разработано достаточно много методов анализа устойчивости реперов [54, 55 и др.], но все они обладают одним существенным недостатком: они плохо приспособлены к компьютерному анализу. С целью устранения этого недостатка целесообразно получить математическую модель наблюдаемого объекта.

Представим возможную осадку между опорными реперами как разность между уравненными значениями превышений h_i в цикле с номером I и превышением в нулевом цикле:

$$s_i = h_i - h_0 \quad (2.2)$$

Выразим осадку в виде полинома второй степени:

$$S_i = a + b(T_i + T_0) + c(T_i + T_0)^2 + \Delta_i \quad (2.3)$$

где $i=1,2,3,\dots$;

a,b,c – коэффициенты полинома;

T_i – дата проведения цикла с номером i ;

T_0 – дата проведения нулевого цикла;

Δ_i – ошибка математической модели.

Ошибку математической модели найдем из (2.2)

$$\Delta_i = s_i - a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2 + s_i \quad (2.4)$$

Коэффициенты полинома найдем из условия:

$$F = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \rightarrow \min.$$

Условие минимума (4) будет обеспечено при условии, что

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial a} = -2 \sum_1^n [s_i - a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2] = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial b} = -2 \sum_1^n [s_i - a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2(T_i - T_0)] = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial c} = -2 \sum_1^n [s_i - a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2(T_i - T_0)^2] = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial b} = -2 \sum_1^n [s_i - a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2](T_i - T_0)^2 = 0 \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Система уравнений (2.5) приводится к виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_1^n (a + b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2) = \sum_1^n S_i \\ \sum_1^n (a + b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2)(T_i - T_0) = \sum_1^n S_i \\ \sum_1^n (a + b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2)(T_i - T_0)^2 = \sum_1^n S_i \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha + b \left(\sum_{i=1}^n T_i - nT_0 \right) + c \left(\sum_{i=1}^n T_i^2 - T_0 * 2 \sum_{i=1}^n T_i + nT_0^2 \right) = \sum_{i=1}^n S_i \\ \alpha \left(\sum_{i=1}^n (T_i - T_0) \right) + b \left(\sum_{i=1}^n T_i^2 - 2T_i T_0 + nT_0^2 \right) + c \left(\sum_{i=1}^n (T_i^3 - 3T_i^2 T_0 + 3T_i T_0^2 - T_0^3) \right) = \sum_{i=1}^n S_i \\ \alpha \left(\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^2 \right) + b \left(\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^3 \right) + c \left(\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^4 \right) = \sum_{i=1}^n S_i \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Решая систему уравнений (2.6), найдем искомые коэффициенты полинома (2.3). Как правило, циклы проводят через равные интервалы времени – раз в месяц, раз в квартал, раз в полгода или раз в год. В этом случае можно представить

$$\frac{T_i - T_0}{\Delta T} = i \quad (2.7)$$

Так как ΔT – единица измерения, а суммы системы уравнений (2.6) можно измерять числом циклов

$$\sum_{i=1}^n (T_i - T_0) \rightarrow \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^2 \rightarrow \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^3 \rightarrow \sum_{i=1}^n i^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4} \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^n (T_i - T_0)^4 \rightarrow \sum_{i=1}^n i^4 = \frac{n(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{30} \quad (2.11)$$

С учетом принятого метода измерений времени и равенство (2.8) – (2.11) система уравнений (2.6) может быть записана в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} na + \frac{n(n+1)}{2} b + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} c - \sum_{i=1}^n S_i = 0 \\ \frac{n(n+1)}{2} a + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} b + \frac{n^2(n+1)^2}{4} c - \sum_{i=1}^n i S_i = 0 \\ \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} a + \frac{n^2(n+1)^2}{4} b + \frac{n^2(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{30} c - \sum_{i=1}^n i^2 S_i = 0. \end{array} \right. \quad (2.12)$$

Преобразуем систему уравнений (2.12)

$$\begin{cases} a + \frac{n+1}{2}b + \frac{(n+1)(2n+1)}{6}c - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 0; \\ a + \frac{2n+1}{3}b + \frac{n(n+1)}{2}c - \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n iS_i = 0; \\ a + \frac{3n(n+1)}{2(2n+1)}b + \frac{3n^2+3n-1}{5}c - \frac{6}{n(n+1)(2n+1)} \sum_{i=1}^n i^2S_i = 0, \end{cases} \quad (2.13)$$

и вычтем первое уравнение из двух последующих:

$$\begin{cases} \frac{n-1}{6}b + \frac{n^2+1}{6}c + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n iS_i = 0; \\ \frac{n^2}{2(2n+1)}b + \frac{(8n+11)(n-1)}{30}c + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{6}{n(n+1)(2n+1)} \sum_{i=1}^n i^2S_i = 0. \end{cases} \quad (2.14)$$

или

$$\begin{cases} b + (n+1)c + \frac{6}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{12}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n iS_i = 0; \\ b + \frac{(8n+11)(2n+1)}{15(n+1)}c + \frac{2(2n+1)}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{12}{n(n+1)(n^2-1)} \sum_{i=1}^n i^2S_i = 0. \end{cases} \quad (2.15)$$

Вычтем первое уравнение системы уравнений (2.15) из второго, получим:

$$\frac{n^2-4}{15}c - \frac{2(n+2)}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n S_i + \frac{12}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n iS_i - \frac{12}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n i^2S_i = 0.$$

Следовательно,

$$c = \frac{30}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{180}{n(n-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{180}{n(n^2-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n i^2S_i. \quad (2.16)$$

В свою очередь

$$b = -(n+1)c - \frac{6}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n S_i + \frac{12}{n(n^2-1)} \sum_{i=1}^n iS_i.$$

и с учетом (2.16) коэффициент b равен:

$$b = -\frac{18}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i + \frac{12(2n+1)(8n+11)}{n(n^2-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n iS_i - \frac{180}{n(n-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n i^2S_i. \quad (2.17)$$

Коэффициент α вычисляется по формуле

$$\alpha = \frac{n+1}{2}b - \frac{(n+1)(2n+1)}{6}c + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2.18)$$

и с учетом (2.16) и (2.17) значение коэффициента α равно:

$$\alpha = \frac{3(3n^2 + 3n + 2)}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{18(2n+1)}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{30}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n i^2 S_i. \quad (2.19)$$

Таким образом, мы получили математическую модель осадок между опорными реперами, состоящую из формул (2.3), (2.16), (2.17) и (2.19).

Оценку точности коэффициентов a , b и c выполним для количества циклов n . Следовательно, для оценки точности можно принять:

$$n+1 \approx n; \quad 2n+1 \approx 2n,$$

и система уравнений (2.13) упростится до вида:

$$\left. \begin{aligned} a + \frac{n}{2}b + \frac{n^2}{3}c - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i &= 0 \\ a + \frac{2n}{3}b + \frac{n^2}{2}c - \frac{2}{n^2} \sum_{i=1}^n iS_i &= 0 \\ a + \frac{3n}{4}b + \frac{3n^2}{5}c - \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^n i^2 S_i &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.20)$$

Вычтем первое уравнение из двух последующих, получим:

$$b + nc + \frac{6}{n^2} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{12}{n^3} \sum_{i=1}^n iS_i = 0; \quad (2.21)$$

$$b + \frac{16n}{15}c + \frac{4}{n^2} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{12}{n^4} \sum_{i=1}^n i^2 S_i = 0. \quad (2.22)$$

Вычтем уравнение (2.21) из (2.22), получим:

$$c = \frac{30}{n^3} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{180}{n^4} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{180}{n^5} \sum_{i=1}^n i^2 S_i = 0. \quad (2.23)$$

Уравнение (2.21) представим в виде:

$$b = -nc - \frac{6}{n^2} \sum_{i=1}^n S_i + \frac{12}{n^3} \sum_{i=1}^n iS_i. \quad (2.24)$$

С учетом (2.23) коэффициент b (2.24) запишем в виде

$$b = -\frac{36}{n^2} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{168}{n^3} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{180}{n^4} \sum_{i=1}^n i^2 S_i. \quad (2.25)$$

Из первого уравнения системы (2.20) с учетом (2.23) и (2.25) определим коэффициент a :

$$a = \frac{9}{n} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{144}{n^2} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{150}{n^3} \sum_{i=1}^n i^2 S_i. \quad (2.26)$$

Для оценки точности коэффициент a (2.26) представим в виде:

$$a = \sum_{i=1}^n \left(\frac{9}{n} - \frac{144i}{n^2} + \frac{150i^2}{n^3} \right) S_i. \quad (2.27)$$

Дифференциал уравнения (2.27) равен

$$da = \sum_{i=1}^n \left(\frac{9}{n} - \frac{144i}{n^2} + \frac{150i^2}{n^3} \right) dS_i. \quad (2.28)$$

Переходя от дифференциала к конечным приращением (истинным ошибкам), а от них к средним квадратическим ошибкам, полагая, что изменения в циклах равноточные, т.е. $m_{S_i}^2 = m_S^2$, получим:

$$m_a^2 = m_S^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{9}{n} - \frac{144i}{n^2} + \frac{150i^2}{n^3} \right)^2. \quad (2.29)$$

Или

$$m_a^2 = m_S^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{81}{n^2} - \frac{2592i}{n^3} + \frac{23436i^2}{n^4} - \frac{43200i^3}{n^5} + \frac{22500i^4}{n^6} \right). \quad (2.30)$$

После суммирования (2.30) имеем:

$$m_a^2 = m_S^2 \left[\frac{81}{n} - \frac{1296(n+1)}{n^2} + \frac{3906(n+1)(2n+1)}{n^3} - \frac{10800(n+1)^2}{n^3} + \frac{750(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{n^5} \right] \quad (2.31)$$

После упрощения выражения (2.31), полагая, как и ранее $n \approx 1$; $n+1 \approx n$; $2n+1 \approx 2n$; $3n^2+3n-1 \approx 3n^2$, получим

$$m_a = \frac{17,2}{\sqrt{n}} m_S. \quad (2.32)$$

Для оценки точности коэффициента b представим (2.25) в следующем виде:

$$b = -\sum_{i=1}^n \left(\frac{36}{n^2} + \frac{168i}{n^3} - \frac{180i^2}{n^4} \right) \cdot S_i$$

Выполняя действия, аналогичные предыдущим, будем иметь

$$m_b^2 = m_s^2 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{36}{n^2} + \frac{168i}{n^3} - \frac{180i^2}{n^4} \right)^2 \quad (2.33)$$

Или

$$m_b^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{1296}{n^4} + \frac{12096i}{n^5} + \frac{15264i^2}{n^6} - \frac{30240i^3}{n^7} + \frac{32400i^4}{n^8} \right)^2 \quad (2.34)$$

После суммирования (2.34) имеем:

$$m_b^2 = m_s^2 \left[\frac{1296}{n^3} + \frac{6048(n+1)}{n^4} + \frac{2544(n+1)(2n+1)}{n^5} - \frac{7560(n+1)^2}{n^5} + \frac{1080(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{n^7} \right] \quad (2.35)$$

После упрощения выражения (2.34) будем иметь:

$$m_a = \frac{106,5}{n\sqrt{n}} m_s \quad (2.36)$$

Для оценки точности коэффициента c представим (2.23) в следующем виде:

$$c = \sum_{i=1}^n \left(\frac{30}{n^3} - \frac{180i}{n^4} + \frac{180i^2}{n^5} \right) S_i \quad (2.37)$$

Выполняя те же преобразования, что и ранее, будем иметь

$$m_c^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{30}{n^3} - \frac{180i}{n^4} + \frac{180i^2}{n^5} \right)^2 \quad (2.38)$$

Или

$$m_n^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{900}{n^6} + \frac{1080i}{n^7} + \frac{33480i^2}{n^8} - \frac{32400i^3}{n^9} + \frac{32400i^4}{n^{10}} \right) \quad (2.39)$$

После суммирования (2.39) имеем:

$$m_n^2 = m_s^2 \left[\frac{900}{n^5} + \frac{540(n+1)}{n^6} + \frac{5580(n+1)(2n+1)}{n^7} - \frac{8100(n+1)^2}{n^7} + \frac{1080(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{n^9} \right]. \quad (2.40)$$

После упрощения (2.40) будем иметь:

$$m_c = \frac{99,5}{n^2 \sqrt{n}} m_s.$$

Выполненный анализ точности показал, что для получения хорошей точности аппроксимации необходимо выполнить либо большое число циклов наблюдений (желательно более 10, что редко бывает возможным), либо существенно повысить точность определения осадок до десятых долей миллиметров.

Деформационные марки для определения вертикальных перемещений устанавливаются на всех несущих конструкциях по периметру здания, на стыках, углах, по обе стороны температурного или осадочного шва, на конструкциях в зоне с большими динамическими нагрузками.

Обмеры выполняют для точного определения размеров, формы и взаимного расположения всех конструктивных элементов здания. Для этого измеряют прямолинейные, косоугольные и криволинейные контуры и вычисляют горизонтальные и вертикальные проекции всех видов поверхностей.

Обмеры конструкций и дефектов выполняют с помощью измерительных инструментов: лазерных рулеток, измерительных лент, линеек, штангенциркулей, микрометров, угломеров, отвесов, уровней, микроскопов, приспособлений для замера трещин и т.д. Измерение величин деформаций в сечениях и прогибов конструкций выполняют с помощью индикаторов часового типа, прогибомеров и тензодачиков омического сопротивления и регистрирующей аппаратуры. Измерения, выполняемые при обмерных работах с использованием различных геодезических средств измерений, в том числе и электронного тахеометра, дают возможность получить более полную информацию о геометрических характеристиках измеряемых объектов, деформациях различных видов.

При составлении обмерочных чертежей уточняют геометрические размеры конструкций с точностью до сантиметра.

При отсутствии рабочих чертежей в состав обмерочных материалов должны входить:

- а) планы этажей здания с указанием осей, расстояний между ними, отметок, расстановки оборудования и т.д.;
- б) поперечные разрезы с показом основных конструкций здания и схематично-технологического оборудования. Например, в цехах необходимо показать мостовые краны, прессы и т.д.;
- в) продольные разрезы (схематично);

- г) план фундаментов;
- д) схемы расположения колонн, балок и связей;
- е) чертежи колонн, ферм, подкрановых и тормозных балок и т.д.

При наличии рабочих чертежей объекта необходимо дополнительно уточнить в натуре основные геометрические размеры, отметки, прямолинейность путей подкрановых конструкций, расположение, количество и диаметры заклепок, болтов, длины и катеты сварных швов, армирование сечений железобетонных конструкций, наличие связей, габариты опорных столиков, закладных деталей и многое другое, необходимое для проверочных расчетов конструкций. При определении геометрических параметров сооружений электронным тахеометром определяются длин сторон, углы в нижнем сечении здания, высота сооружения и определяются поэтажно высоты этажей.

2.4 Определение деформации с помощью оптических приборов

Остановимся кратко на анализе инженерно-геодезических измерений с помощью оптических приборов, которые применяются при строительстве, эксплуатации и определения деформаций инженерных сооружений.

Высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами – самый распространенный и маневренный метод наблюдений за осадками монументальных сооружений: плотин и зданий ГЭС, конструкций АЭС, судоходных шлюзов, элеваторов, высотных жилых зданий и т.д. [11,13,15]. Применяют преимущественно нивелирование коротким лучом от 3 до 25м по методике I и II класса. Для измерений используют высокоточные нивелиры с уровнем или с компенсатором, стандартные штриховые инварные рейки длиной 3,0 и 1,75 м или специальные малогабаритные рейки [23].

Высота визирного луча над поверхностью земли или пола допускается не менее 0,8 м [10]. Угол i нивелира должен быть меньше $20''$, разность длин плеч – 0,4 м, накопление неравенств плеч в ходе – 2 м, расхождение превышений, полученных из двух горизонтов прибора – 0,3 мм [10].

Разность уровней ΔH_{ij} двух точек i, j определяется по формуле:

$$\Delta H_{ij} = H_j - H_i = R_i - R_j = R_{ji}, \quad (2.41)$$

где H_i, H_j – уровни точек i и j ; R_i, R_j – отсчёты по рейкам, находящимися на точках i и j .

Для вычисления превышения любой отметки необходимо начинать нивелирование от реперов ($H_{\text{репер}}$). Отметка H_k любой марки на линии нивелирования определяется по формуле:

$$H_k = H_{\text{репер}} + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta H_{ij} = H_{\text{репер}} + \sum_{i=1}^{k-1} R_{ji}, \quad k = 2, \dots, n. \quad (2.42)$$

Осадки (вертикальные перемещения) ΔH_k между двумя циклами наблюдений могут быть определены следующим образом

$$\Delta H_k = \Delta H_{\text{репер}} + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta H_{ij} = \Delta H_{\text{репер}} + \sum_{i=1}^{k-1} \Delta R_{ji}, k = 2, \dots, n. \quad (2.43)$$

Из опыта контроля и наблюдения осадок установлено, что отметки глубинных (фундаментальных) реперов, заложенных даже в скальных породах, могут изменяться, вследствие чего в измеряемые осадки входят погрешности [23]. Анализ устойчивости исходных реперов является специфическим отличительным процессом контроля абсолютных осадок сооружений. Поэтому ему уделяется особое внимание [23]. На вертикальные смещения реперов влияют природные (вариации температуры пород и уровня грунтовых вод, изменения влажностного режима и т.п.) и антропогенные факторы (давление от воздвигаемых сооружений, забор грунтовых вод и т. д.) [24]. Поэтому для достоверного выявления осадок наблюдаемых элементов сооружения необходимо проводить тщательный анализ устойчивости исходных (опорных) реперов и на основании этого анализа определять наиболее стабильный репер, который следует принимать за исходный для данного цикла измерений.

Для повышения точности измерений необходимо учитывать влияния возмущающих воздействий и погрешностей нанесения штрихов реек на результаты нивелирования, ошибки за влияние угла i . Также необходимо проводить исследование цены деления барабанчика оптического микрометра в нивелирах с плоскопараллельной пластиной, поскольку ошибки делений барабана могут привести к неверным результатам. Основные исследования по разработке этого метода были выполнены в МИИГАиК [11, 25, 26]. Затем эти исследования были продолжены в ГСПИ, ЦНИИГАиК, Гидропроекте и других организациях, в результате чего удалось повысить точность определения превышения между точками при благоприятных внешних условиях до (0,03-0,05) мм при расстояниях $S=7-12$ м [10, 26]. В настоящее время эта технология внедрена на всех инженерных сооружениях при выполнении измерений. Исследованиям точности нивелирования короткими лучами при неблагоприятных условиях уделялось значительное внимание [27, 28].

Для ослабления влияния внешних факторов с целью приближения условий измерений к «идеальным» разрабатываются дополнительные мероприятия. В связи с этим степень влияния возмущающих воздействий можно условно разделить на категории: слабая, средняя, значительная [30]. Слабое влияние возмущающих воздействий имеет место в том случае, если не происходит изменение принятой технологии измерений и точность получаемых результатов уменьшается не более чем на 5-10 %. Средняя степень влияния имеет место в случае измерения технологии или схемы измерений, а также, если точность получаемых результатов ухудшается на 30-50 % [29, 30].

Значительная степень влияния имеет место в случае необходимости разработки новой схемы или технологии (способа) измерений, применения

новых приборов, ухудшения точности получаемых результатов в несколько раз [30].

Исследования влияния вибрации на точность нивелирования начались выполняться в связи с применением нивелирования для определения деформаций работающего промышленного оборудования. Исследуя влияние вертикальной и горизонтальной вибрации, возникающих от движения транспорта, работающего оборудования и т.п., на нивелиры и авторедукционные нивелиры, авторы работ [31-36] пришли к выводу, что последние малопригодны для выполнения работ в таких условиях. Однако дальнейшие многочисленные исследования и производственные работы показали, что авторедукционные нивелиры не только не уступают уровненным нивелирам, но и, в ряде случаев превосходят их по эксплуатационным качествам [13].

Конечным результатом влияния вибрации является увеличение ошибки «взгляда» на рейку, поэтому необходимо принимать специальные меры по виброзащите системы "штатив-прибор", применять специальную методику визирования на штрих рейки, использовать специальные визирные марки и рейки с клиновидными штрихами [36].

Вопросу точности метода высокоточного нивелирования короткими лучами уделяется немало внимания и в настоящее время, так как существует немалое количество различных факторов, препятствующих получению максимально точных результатов нивелирования. Поэтому ведутся разработки новых программ наблюдения на станции, совершенствуются и разрабатываются новые приборы, например цифровые нивелиры и устройства для измерений, проводятся исследования основных источников ошибок, влияющих на результаты наблюдений в различных условиях.

Из предыдущего анализа можно сделать вывод, что метод геометрического нивелирования имеет следующие преимущества для определения деформаций инженерных сооружений; высокая точность, быстрота исполнения и мобильность. При его применении используется несложное, недорогое оборудование. Его можно применять в широком диапазоне положительных и отрицательных температур.

Недостатками метода геометрического нивелирования являются:

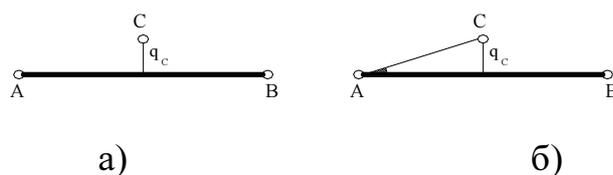
- трудность непрерывного и автоматического процесса измерений и передачи информации на расстояние при применении оптических нивелиров;
- возникающая иногда невозможность использования их в труднодоступных и закрытых местах действующих сооружений и оборудования.

Эти недостатки особенно ощущаются в тех случаях, когда необходимо получать данные о деформации в процессе эксплуатации объекта, где невозможно длительное пребывание человека (наличие радиации, сильных электромагнитных и температурных полей и т.п.). В этих случаях с успехом может применяться гидростатическое и гидродинамическое нивелирование.

Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружения. В зависимости от характера развития неравномерных осадок основания и жесткости сооружения различают следующие формы деформаций сооружений: крен, прогиб, выгиб, перекос и кручение. Горизонтальные смещения сооружений или их элементов определяют различными способами: линейно-угловыми построениями, створным и стереофотограмметрическим. Кроме того, используют прямые и обратные отвесы [10, 25]. В зависимости от высоты здания, технических требований, а также точности применяются различные способы и инструменты для определения величин горизонтальных смещений [31].

Высокоточные створные наблюдения. Этот основной метод контроля используют для определения деформаций прямолинейных сооружений. Направление створа принимают за ось абсцисс, а направление смещений — за ось ординат. Величины смещений равны разностям ординат (нестворностей), определенных в различных циклах. Нестворность чаще определяют методом подвижной марки или малых углов. Все существующие способы створных измерений по типу реализации створной линии можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся способы, в основе которых лежит использование оптических средств и принципов физической оптики, ко второй оптико-механических средств [38,39]. Величины уклонений от частных створов в шаге определяют четырьмя методами: подвижной марки, подвижного приемника света, малых углов и методом полигонометрии [8,40].

При методе подвижной марки оптический прибор устанавливают так, чтобы его коллимационная плоскость совпадала со створом АВ, как показано на рисунке 2.12 [40,41].



а) подвижной марки, б) малых углов

Рисунок 2.12 – Определение величины нестворностей методами

Марку устанавливают в точке C и затем ее перемещают до совпадения оси марки с линией AB (створа); это положение фиксируют по отсчетному устройству марки. Если известен отсчет n_c , когда ось марки совпадала с точкой C , то нестворность равна ($q_c = n_c - n_{AB}$), где n_{AB} — отсчет, когда ось марки находилась на створе AB .

Способ малых углов. Нестворности промежуточных точек створа могут быть получены по измеренным малым углам и расстояниям от начального опорного пункта створа до определяемой промежуточной точки. По мнению

авторов исследований [40] измерение малых углов при благоприятных условиях оптическим микрометром выполняется теодолитом типа Т2 при двух положениях круга и при двух наведениях биссектора на штрих. При методе малых углов (рис. 2.1) нестворность q_c определяют путем измерения малых углов α и расстояния S от вершины малого угла до контролируемой точки [41].

$$q_c = S \sin \alpha, \quad (2.44)$$

или в связи с малостью угла α

$$q_c = S \alpha'' / \rho'' . \quad (2.45)$$

Способ подвижной линии визирования. К настоящему времени разработаны и внедряются в производство методы и приборы, позволяющие измерять непосредственно величину нестворности промежуточной точки от общего или частного створа путем параллельного смещения линии визирования при помощи оптического микрометра с плоскопараллельной пластинкой, помещенной в зрительную трубу прибора [42]. Существующие технологии створных измерений позволяют определять величины нестворностей в пределах 5-300 мм [42]; технология определения больших значений (500 - 4000 мм) ранее практически не разрабатывалась.

Характерной особенностью сооружений башенного типа (дымовые трубы, градирни, ректификационные колонны, водонапорные башни, радиотелевизионные башни и др.) является их большая высота при малых размерах основания. Поэтому главным критерием устойчивости этих сооружений является крен.

Использование теодолита является одним из основных геодезических методов наблюдений за кренами инженерных сооружений. Наиболее простой способ определения крена – отвес или прибор вертикального проектирования. Их применяют при возведении башенных сооружений, когда можно встать над центром сооружения. Часто для определения крена применяют способ вертикального проектирования. Теодолит устанавливают на двух взаимно перпендикулярных направлениях. Линейку располагают горизонтально, ее нулевое или какое-либо другое деление совмещают с меткой M_1 (рисунок 2.2) [43].

Теодолит при двух кругах наводят на верхнюю метку M'_1 , проектируют на линейку и берут отсчеты $q_{1,1}$ и $q_{1,2}$ среднее из которых равно $0,5(q_{1,1} + q_{1,2})$. Таким же методом со станции II определяют q_2 . Суммарный крен q , учитывая перпендикулярность q_1 и q_2 . Направление крена определяют из выражения

$$tg \alpha = \frac{q_1}{q_2}, \quad (2.46)$$

где α — горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от оси A , т. е. от направления визирования с первой станции.

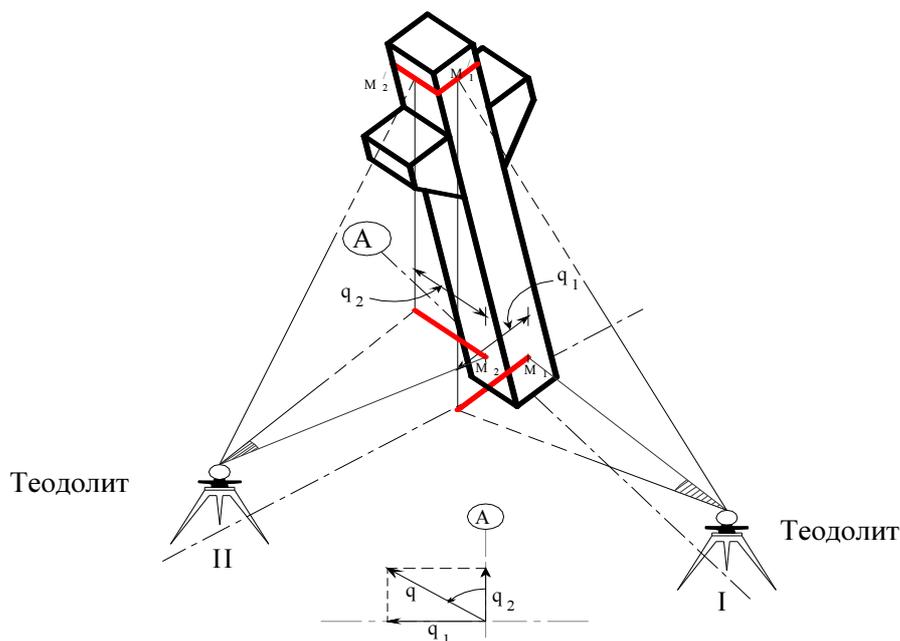


Рисунок 2.13 – Схема определения крена колонны

Угол φ между осью сооружения (колонны) и вертикальной линией вычисляется по формуле

$$\varphi = \frac{q}{h} \cdot \rho'' , \quad (2.47)$$

где h — разность высот осевых меток.

Приборы вертикального проектирования позволяют более эффективно передавать плановые координаты выше и ниже исходной точки, контролировать вертикальность сооружений и использовать для наблюдения за деформациями. Приборы вертикального проектирования обычно подразделяются на механические, оптические и лазерные. В механических приборах отвесная линия реализуется струной с грузом или стержнем с уровнем. В прямом отвесе струна устанавливается в вертикальное положение подвешенным грузом, помещенным в жидкость (масло, вода с опилками и др.). В обратном отвесе нижний конец струны (проволоки) закрепляется. Прикрепленный к верхнему концу проволоки плавающий в жидкости поплавочек также удерживает проволоку в отвесном положении. Точность механических центриров для наблюдения за горизонтальными смещениями сооружения зависит от их конструкции, способа фиксации отсчета и высоты проектирования.

Наибольшее распространение получили оптические центриры, которые по точности делят на технические, точные и высокоточные. Технические

центриры обычно встроены в теодолиты, тахеометры и др., их точность 1:5000-1:10000 при расстоянии 10-20 м [25]. Точные и высокоточные центриры являются самостоятельными приборами и по способу установки визирной оси в отвесное положение они подразделяются на уроненные и центриры с компенсатором. Относительная ошибка проектирования точки точными центрирами равна 1:30000-1:50000 при расстоянии до 150 м. Компенсаторы в точных центрирах позволяют устанавливать визирную ось в отвесное положения с точностью 1". Оптический прибор вертикального проектирования позволяет передать плановое положение точки на 100 м с точностью ± 1 мм [44]. Ошибка измерения лазерным прибором вертикального проектирования равна ± 5 мм на 100 м [45].

К настоящему времени разработано несколько технологий для определения горизонтальных смещений сооружений, например специальные сети триангуляции и трилатерации, ходы полигонометрии, комбинированные сети, угловые и линейные засечек и сетей из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами [8]. Применение того или иного вида построения зависит от характера сооружения, его геометрической формы, требуемой точности и условий измерений, организационных и других факторов. Углы измеряют с высокой точностью (0,5—2,0") при коротких сторонах, большом количестве связей. Длины сторон сети в зависимости от протяженности сооружения и других условий могут колебаться от 0,2 до 2,0 км [8]. Уравнивание линейно-угловых сетей выполняют строгим способом. Величины смещений определяют по разностям координат в различных циклах.

Метод прямого углового пересечения при помощи двух теодолитов используется для определения деформации инженерных сооружений. В этом способе, горизонтальные и вертикальные углы до каждой точки на исследуемом сооружении измеряются для вычисления пространственных координат этой точки. Точность вычисления параметров зависит, в основном, от точности используемых теодолитов [46]. На рисунке 2.13 приведена локальная трехмерная система координат для вычисления пространственных координат любой точки объекта при помощи двух теодолитов. Координаты точки i могут быть определены по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= \frac{B}{\cot \alpha_1 + \cot \alpha_2}; \\ Y_i &= \frac{B \cot \alpha_1}{\cot \alpha_1 + \cot \alpha_2}; \\ Z_i &= \frac{0.5B}{\cot \alpha_1 + \cot \alpha_2} (\cos ec \alpha_1 \operatorname{tg} \gamma_1 + \cos ec \alpha_2 \operatorname{tg} \gamma_2) + 0.5 \Delta Z, \end{aligned} \right\} (2.48)$$

где S – наклонное расстояние между прибором и наблюдаемой точкой; α_1, α_2 – горизонтальные углы направления определяемой точки i ; γ_1, γ_2 – вертикальные углы направления определяемой точки i ; B – расстояние между двумя станциями; ΔZ – разность высот между двумя высотами теодолитов.

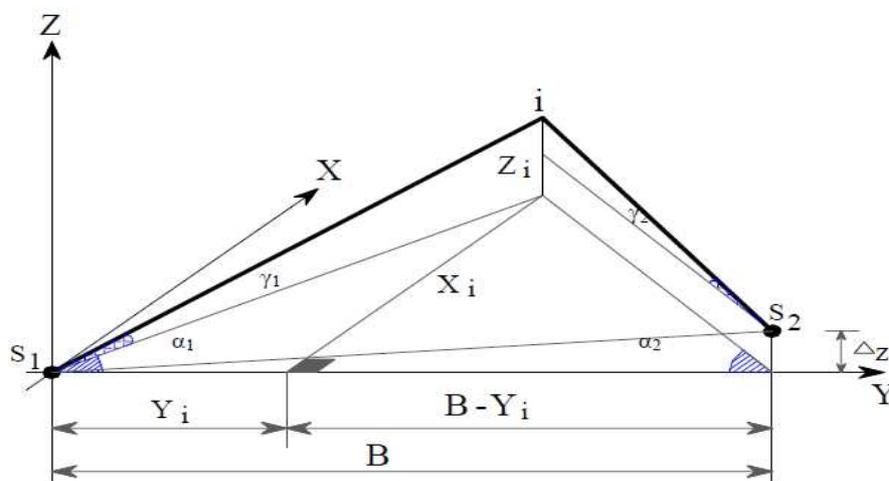


Рисунок 2.14 – Определение координат точки при помощи двух теодолитов

На основе предыдущего анализа определения деформаций инженерных сооружений и оборудования с помощью оптических приборов можно сделать вывод, что помимо использования оптических геодезических приборов (нивелиры, теодолиты, и др.), часто невозможно обойтись также без применения линеек, отвесов, уровней и т.д.; соответствующие измерения выполняются вручную. Измерение большого количества параметров представляет собой сложную и трудоёмкую задачу.

2.5 Современные геодезические приборы, для определения геометрических параметров инженерных сооружений

2.5.1 Техническая характеристика и применение GPS ATX1230 GG

Основные задачи, решаемые данным комплектом:

- Развитие геодезических сетей с сантиметровой точностью (длина базовой линии не ограничена);
- Выполнение крупномасштабной топографической съемки с сантиметровой точностью;
- Вынос проект с сантиметровой точностью в местной системе координат.

Базовый приемник Leica GX1230 GG - это GPS/ГЛОНАСС приемник геодезического класса с возможностью выполнения работ в режиме реального времени (RTK) и высокоточная антенна AX1202 GG. Запись данных производится на карты памяти Compact Flash, что позволяет скачивать полевые данные без использования специальных кабелей. Стандартно в комплекте

приемника идет карта памяти объемом 1 Гб, это обеспечивает хранение данных более 365-ти дневных измерений.

Приемник Leica GX1230 GG создан в соответствии с военными требованиями по устойчивости к неблагоприятным воздействиям. Специально разработанный корпус из магниевового сплава позволяет противостоять ударам, падениям и различным видам вибрации. Комплект разработан для работы в диапазоне температур от -40°C до +65°C. Система полностью влагозащищена (погружение до 1м), пыле- и грязезащитна дает возможность работать при любых условиях, даже в тропический ливень или при песчаных бурях в пустыне.

Раздельная компоновка приемника и антенны увеличивает мобильность решения. Так данный комплект можно использовать как для установки на пункте ГГС или ОМС на штатив, так и для организации постоянно действующей станции, стоит лишь доукомплектовать, приемник кабелем большей длины.

Передвижной приемник Leica ATX 1230 GG - это двухчастотная двухсистемная «смарт» антенна с поддержкой технологии Bluetooth. Данный интерфейс позволяет исключить поломку разъёмов соединительных кабелей - наиболее часто встречающуюся проблему при работе в полевых условиях. В качестве управляющего устройства используется контроллер Leica RX1250Xc - это современный полевой контроллер с QWERTY клавиатурой. Высокого качества ¼ VGA (11 линий по 32 символа) сенсорный экран гарантирует четкость и контрастность изображения, что особенно важно при уменьшении освещенности или ярком солнечном свете. Контроллер так же поддерживает технологию Bluetooth.

Специальный кронштейн позволяет соединить контроллер и радио или GSM модем на вехе. Это добавляет мобильность оператора и исключает дополнительные кабели в комплекте.

Область применения: инженерная геодезия; линейное изыскание; геофизика; кадастр; дорожное строительство; мосты и тоннели; строительство; наблюдения за деформациями; топографическая съемка и.т.д.

Комплектация: Приемник Leica GX1230 GG (базовый): приемник GX1230 GG, антенна AX1202, кабель антенный (1.2 м), аккумулятор (2 шт.), карта памяти Compact Flash (1 Гб), адаптер для трегера, крюк для измерения высоты, кейс, ПО Leica Geo Office (L1/L2, GG), сертификат о первичной поверке.

Антенна LEICA Smart ATX1230 GG: антенна ATX1230 GG, Контроллер LEICA RX1250Xc (PPK; RTK; GLO), аккумулятор (2 шт.), зарядное устройство, адаптеры питания (2 шт.), сертификат о первичной поверке.

Дополнительная комплектация и опции: - Для эффективного выполнения полевых работ дополнительно следует приобрести штатив, трегер, веху, двуногу/треногу для вехи, рюкзак, штыревую антенну.

2.5.2 Техническая характеристика и применение тахеометра Leica TS02

Тахеометры Leica FlexLine из серии TS02Power это олицетворение будущего современных тахеометров. В создании этого тахеометра корпорация Leica руководствовалась принципом универсальности. В сторону было отброшено все лишнее, в тахеометрах TS02 Power реализованы только самые нужные и полезные функции, все необходимые модули и программы для решения самых разнообразных задач в области геодезии, строительства, землеустройства и прочих.

Тахеометр Leica FlexLine TS02 Power это великолепный представитель в модельном ряде. При помощи этого прибора можно выполнять самые различные геодезические и топографические работы, требующие высокого класса точности.

Тахеометр Leica FlexLine TS02Power укомплектован всеми самыми нужными функциями и опциями линейки. Потрясающий объем внутренней памяти на 24000 точек позволяет максимально эффективно организовывать управление данными, а существующая возможность расширения объема при помощи внешних накопителей с интерфейсом USB и мини-USB делает объем памяти практически неограниченным. Беспроводная технология передачи данных Bluetooth позволяет обмениваться данными с любыми устройствами, такими как персональный компьютер, КПК, ноутбук или даже мобильный телефон. Теперь нет необходимости нести инструмент в офис для того, чтобы передать данные полевых измерений для дальнейшей обработки. Достаточно лишь сохранить данные на USB -накопитель и впоследствии перенести их на любой компьютер. Аналогичным образом можно действовать в обратном направлении - создать в офисе рабочий проект выноса, сохранить координаты точек в формате TXT на карту памяти, и тем самым избежать ошибок и опечаток при вводе координат в полевых условиях [56].

Мощный дальномер в Leica FlexLine TS02Power позволяет производить измерения без помощи отражателя на расстояние до 400 метров! Это делает тахеометр TS02 Power незаменимым при работах в горной местности и на застроенных территориях, одним словом там, где ограничен или отсутствует доступ к точкам съемки. Кроме того, эта функция позволяет производить съемку в одиночку, тем самым экономя средства на содержание полевой бригады.

Уникальная технология FlexPoint облегчает производство съемки в безотражательном режиме при помощи лазерного указателя для точного наведения на цель. Используя этот указатель, вы сможете, без труда, навестись на точку съемки, даже сквозь препятствия в виде листвы и веток деревьев, сетки-рабицы и прочих.

Используя одну призму, дальность измерений тахеометра Leica FlexLine TS02Power достигает 3500 метров, что в совокупности с 30-тикратным увеличением зрительной трубы обеспечивает эффективное управление процессом съемки, и сокращает количество переходных точек.

Встроенное программное обеспечение FlexField помогает решать в полевых условиях самые различные задачи, такие как уравнивание и замыкание хода, вынос, разбивка, вычисление площади объекта, определение расстояния до недоступной точки и многое другое.

Таблица 2.3 – Техническая характеристика

Точность угловых измерений	5"
Компенсатор	двухосевой, $\pm 4'$
Дальность измерения на отражатель	3500 м
Точность линейных измерений на отражатель	1,5 мм + 2 ppm
Дальность измерений без отражателя	400 м
Точность линейных измерений без отражателя	2 мм + 2 ppm
Увеличение зрительной трубы	30x
Клавиатура	Стандартная, с одной стороны
Специальные устройства	Лазерный центрир, целеуказатель
Память	внутренняя, 24 000 точек
Время работы	до 20 часов (от аккумулятора GEB221)
Вес прибора, кг	5,2
Температурный диапазон работы	от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$
Защита от пыли и влаги	IP55
Стандартные прикладные программы	Установка и Съёмка, Вынос в натуру, Обратная засечка, Передача отметки, Строительство, Площадь (Плоскость и Поверхность), Объём 3D, Косвенные измерения, Недоступная высота, Скрытая точка, Смещение, Опорная линия, Опорная дуга, Базовая плоскость, Координатная геометрия
Дополнительные прикладные программы	Дорога 2D

Удобный ввод данных обеспечивает буквенно-цифровая клавиатура. Высокая степень защиты Leica FlexLine TS02Power от воздействия внешних факторов, таких как влага и пыль (IP55, согласно международной классификации защиты) и широкий температурный диапазон (от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$) позволяют работать в самых суровых погодных и климатических условиях. Тахеометр Leica FlexLine TS02Power 5" – великолепный представитель измерительных приборов средней точности угловых измерений, представленных на рынке современного геодезического оборудования [56].

2.5.3 Техническая характеристика и применение наземного лазерного сканера FARO LASER SCANNER FOCUS 3D

Л а з е р н ы й с к а н е р FARO® Laser Scanner Focus3D – это точный измерительный прибор для создания фотореалистичных трехмерных изображений [57].



Рисунок 2.15 – FARO® Laser Scanner Focus3D

Особенности прибора:

- Технология HYPERMODULATION™;
- Высокая точность;
- Высокое разрешение;
- Высокое быстродействие;
- Интуитивное управление с помощью встроенного сенсорного экрана;
- Высокая мобильность благодаря небольшому размеру, малому весу и встроенной быстрозаряжаемой аккумуляторной батарее;
- Встроенная цветная камера для сканирования цветных изображений.

Принцип работы лазерного сканера Focus 3D основан на подаче инфракрасного лазерного луча в центр вращающегося зеркала. Зеркало отражает лазерный луч, перемещая его в сканируемой среде; рассеянный от окружающих объектов свет затем попадает обратно в сканер.

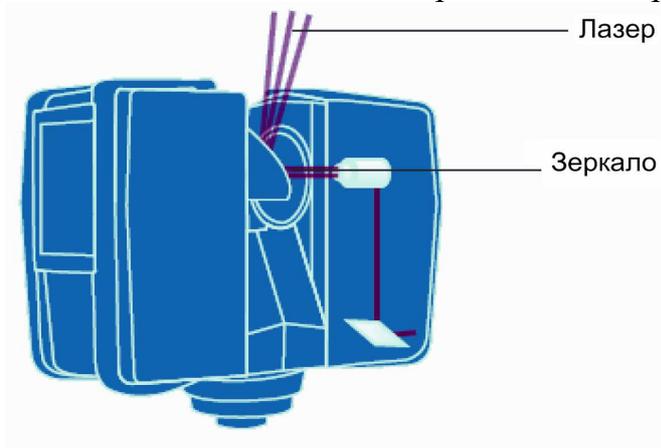


Рисунок 2.16 – Отражение лазерного луча

Таблица 2.4 – Технические характеристики



FARO® Laser Scanner Focus^{3D}



Технические характеристики

Блок измерений

«Прямой» интервал: 153.49м
Диапазон Focus^{3D} 120¹: 0.6м - 120м внутри/вне помещений с рассеянным светом и 90% отражающими поверхностями
Диапазон Focus^{3D} 20: 0.6м - 20м при >10% матовых отражающих поверхностях
Скорость измерения: 122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000 точек/сек
Сист.ошибка²: ±2мм на 10м и 25м, каждая при 90% и 10% отражении

Системные шумы³:

на 10м - «сырые» данные: 0.6мм при 90% отр. | 1.2мм при 10% отр.
 на 10м - фильтр шумов⁴: 0.3мм при 90% отр. | 0.6мм при 10% отр.
 на 25м - «сырые» данные: 0.95мм при 90% отр. | 2.2мм при 10% отр.
 на 25м - фильтр шумов⁴: 0.5мм при 90% отр. | 1.1мм при 10% отр.

Камера

Разрешение: до 70 мегапикселей в цвете
Динамический цвет: Автоматическая адаптация яркости

- 1) Зависит от рассеяния света, которое может являться источником шумов. Яркий свет (например, солнечный) может уменьшить действительный диапазон сканера. При рассеянном свете диапазон может превышать 120м при нормальном падении лучей на стандартно отражающие поверхности.
- 2) Системная ошибка определяется как максимальная ошибка на дистанции между точкой привязки сканера и точкой на плоской цели.
- 3) Системные шумы определяются как стандартные отклонения значений от реальной поверхности.
- 4) Алгоритм уменьшения шума может быть активирован для усреднения по 4 или 16 точкам, таким образом сжатый шум может иметь фактор 2 или 4. Может быть изменено без уведомления.



Оптическая часть

Вертикальное поле зрения: 305°
Горизонтальное поле зрения: 360°
Вертикальный шаг: 0.009° (40,960 3D пкс на 360°)
Горизонтальный шаг: 0.009° (40,960 3D пкс на 360°)
Макс.верт.скорость сканирования: 5,820об/м или 97Гц

Лазер (Оптический трансмиттер)

Мощность лазера: 20mW (Класс лазера 3R)
Длина волны: 905nm
Расхождение луча: Типичное 0.16мрад (0.009°)
Диаметр луча на выходе: 3.8мм, круг

Управление данными

Хранение данных: SD, SDHC™, SDXC™; 32GB карта в комплекте
Управление сканером: Сенсорный дисплей

Общие данные

Напряжение: 19V (внешнее питание), 14.4V (батарея)
Мощность: 40W и 80W соответственно (при зарядке батареи)
Время работы батареи: до 5 часов
Температура окружающей среды: 5° - 40°C
Влажность: Без конденсата
Кабельный разъем: Расположен на основании сканера

Вес: 5.0кг
Габаритные размеры: 240x200x100мм
Калибровка: Ежегодно
Параллакс: Нет
Датчик отклонения по двум осям:
 Точность 0.015°; Диапазон ±5°

Для измерения расстояния лазерный сканер Focus3D использует технологию сдвига фазы. Это значит, что луч лазера модулирован незатухающими волнами различной длины. Расстояние от сканера до объекта

точно определяется посредством измерения сдвига фаз волн инфракрасного света. Технология HYPERMODULATION™ позволяет существенно улучшить соотношение сигнал-шум модулированного сигнала с помощью особой технологии модуляции. Координаты X, Y и Z каждой точки затем вычисляются с помощью датчиков угла для измерения поворота зеркала и горизонтального поворота лазерного сканера Focus3D.

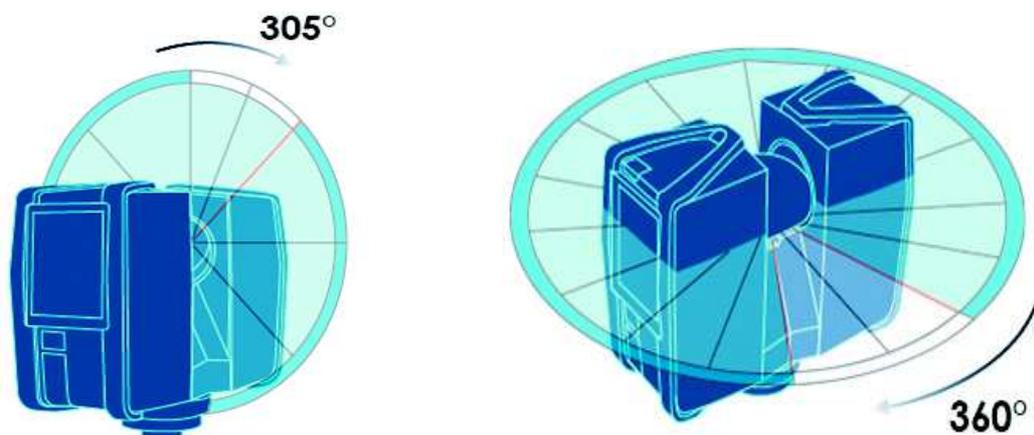


Рисунок 2.17 – Вертикальное и горизонтальное вращение

Сканированные лазером изображения затем записываются на сменную SD-карту памяти и могут легко передаваться в программу SCENE —программное обеспечение компании FARO для работы с облаками точек [57].

2.6 Выводы по разделу

1. Предложена высотная опорная геодезическая сеть, циклы проведения геодезических измерений по времени и получена математическая модель осадок между опорными реперами и установлена средняя квадратическая ошибка точности.
2. Проведены методы анализов инженерно-геодезических измерений с помощью оптических приборов, для определения ошибок измерений.
3. Применены высокоточные электронные и лазерные геодезические приборы, для повышения мобильности, точности исходной информации и оценки геометрических параметров трещин.
4. Проведена предварительная оценка при инженерно-геологических условиях на территории КазНТУ имени К.И.Сатпаева и выявлены местоположение структурной зоны проявления Жанатурмысского разлома относительно нашего объекта, методом АЗАН.

3 СПОСОБЫ, АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.1 Анализ и современное состояние методов определения деформаций с применением тахеометра, сканера и GPS

В настоящее время в геодезической практике широко используется электронные тахеометры (Leica FlexLine из серии TS02Power), для проведения ряда геодезических работ: определение координат съемочных точек, измерение длин линий, измерение вертикальных и горизонтальных углов, съемка рельефных местности, строительных объектов и т.д. Электронные тахеометры отличаются друг от друга по точности измерения, технической характеристикой и выполняемыми функциями. Все тахеометры можно разделить на три основные группы [48, 56, 57]:

Простейшие электронные тахеометры. Это самые простые по выполняемым функциям электронные тахеометры. Угловая точность таких приборов находится в пределах 5"-6", линейная около 3-5 мм. Дальность измерения расстояния не превышает 1100-1500 метров по одной призме.

Ко второму типу электронных тахеометров относятся приборы среднего класса. Они имеют встроенное программное обеспечение для производства практически всего спектра геодезических работ. Угловая точность таких приборов может быть от 1" до 5" в зависимости от класса точности.

К третьему типу можно отнести электронные тахеометры, оснащенные сервоприводом, что позволяет выполнять автоматические измерения. Эти приборы могут самостоятельно наводиться на специальный активный отражатель и выполнять измерения.

В дополнение к этому прибор с сервоприводом может оснащаться специальной системой радиоуправления, при этом съемку может производить только один человек, находящийся непосредственно на измеряемой точке. Подобная схема съемки увеличивает производительность проведения съемочных работ примерно на 80%. Если прибор с сервоприводом имеет безотражательный дальномер, то можно получить систему для съемок при проведении туннельных работ или съемки фасадов зданий. Также роботизированные системы могут быть использованы для наблюдения за деформациями объектов, съемки движущихся объектов.

Измерение деформаций сооружений роботизированным тахеометром может быть выполнено гораздо более экономично, чем при использовании двух теодолитов. Контролируемые точки могут быть оснащены недорогой закрепленной призмой, поэтому многие точки можно наблюдать с одного места. Кроме того, благодаря надлежащему контролю программного обеспечения последовательность и сроки проведения измерений могут быть запрограммированы на автоматические действия.

Полная система постоянного мониторинга состоит из тахеометра Leica FlexLine из серии TS02Power, программного обеспечения Leica GeoMoS с функцией автоматической сигнализации, автономного источника питания,

датчиков температуры в балках крыши зрительного зала и подключения к сети Интернет для дистанционного контроля и доступа в режиме реального времени к данным мониторинга. Включают в себя измерение коэффициента Δt и функцию автоматической сигнализации (по электронной почте или SMS). Предварительно рассчитанные допуски T_I равны ± 25 мм в 1-ой стадии строительства, и T_{II} равно ± 12 мм для фазы II. T_I является максимально допустимым значением вертикальной деформации в процессе строительства. T_{II} имеет отношение к устойчивое состояние на конец этапа [56, 57].

На основе всего вышесказанного можно выделить следующие преимущества использования электронного тахеометра для мониторинга деформации инженерных сооружений:

1. Тахеометр может выполнять множество математических операций, таких, как определение координат X , Y и Z по основным наблюдениям α , γ и S , поэтому время анализа результатов измерений сокращается.

2. Тахеометр может выполнять атмосферную и инструментальную корректировку с помощью внутреннего программного обеспечения, которое делает наблюдения более точными.

3. Электронный тахеометр содержит карту памяти для хранения данных, которая может читать и записывать до 5000 точек. Результаты измерений, полученные тахеометром, могут быть загружены в конкретное считывающее устройство в компьютере.

Недостатками использования тахеометра для мониторинга деформаций сооружений являются:

1. Меньшая, чем в геометрическом нивелировании, точность определения тахеометром деформаций и осадок;

2. Невозможность вычисление коэффициента корреляции между наклонным расстоянием, горизонтальными и вертикальными углами.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) – это новейшая система измерения для мониторинга деформаций инженерных сооружений. С помощью лазерной сканирующей системы можно не только осуществлять мониторинг сложных зданий и сооружений, но и фиксировать состояния мест аварий и катастроф с получением реальной картины произошедшего, а также возможность привязки реальной картины произошедшего к опорной системе координат [49].

Результатом сканирования является массив точек с известными трехмерными координатами, принадлежащими объекту. Техническое состояние зданий и сооружений оценивается целым комплексом физических и геометрических параметров состояния строительных элементов. Физические характеристики определяются с помощью методов неразрушающего контроля. Геометрические характеристики могут быть определены в результате выполнения геодезических измерений с применением целого ряда различных геодезических приборов. Одним из таковых может быть наземный лазерный сканер [50]. В основу работы НЛС положен принцип измерения расстояний при помощи лазерного излучения. Технология НЛС позволяет получать в режиме реального времени трехмерные модели объектов бесконтактным методом,

производить оперативный мониторинг их состояния [51, 52].

В большинстве случаев решение поставленных задач заказчик видит в виде электронной пространственной модели объекта и комплекта чертежей. Программное обеспечение, которым оснащается лазерный сканер, позволяет решить эти задачи. Высокая производительность и оперативность процесса лазерного сканирования совместно с возможностью оперативного контроля полевых измерений позволяет решать задачи по предупреждению различного рода аварий.

Инвентаризация сложных коммуникаций и энергосистем при помощи лазерной сканирующей системы позволяет оперативно решать несколько задач:

- создание плоских чертежей со всеми размерами;
- приложение дополнительных коммуникаций или установка нового оборудования взамен старого;
- создание полного трехмерного визуального объекта.

Общая идея исследования измерительных приборов состоит в ожидании всеобъемлющей модели для оценки и ослабления влияния всех видов ошибок для достижения общего оптимального результата.

Измерение углов лазерным сканированием имеет многочисленные источники ошибок и сильно отличается от традиционных оптических принципов. Традиционные методы испытаний измерения ошибки угла не подходят для лазерного сканера. К настоящему времени некоторые авторы провели множество исследований и выдвинули различные подходы для анализа источника ошибок диапазона наземного лазерного сканера и определения точности его результатов [53]. Эти методы можно разделить на две категории: первая – определение ошибок модели, основанные на анализе призм, на лазерном сканере и как построенная модель изменения движения калибровки плоской поверхности. Вторая заключается в наблюдении данных, подведении влияния систематических ошибок и случайных ошибок в сводных результатах экспериментов, например, вычисление вертикального и горизонтального направления угловой ошибки посредством наблюдения ряда сферических целевых точек, расположенных на стенде.

Для практического исследования были использованы наземный лазерный сканер FARO Laser Scanner Fokus 3D и тахеометр Leica FlexLine из серии TS02Power [56, 57].

В настоящее время исследование влияния отраженного сигнала на точность измерений вступает в важную область. Чем короче расстояние, меньше лазерных отпечатков, выше разрешение, тем сильнее отраженный сигнал. Сигнал находится под большим влиянием отражения цели и волн. Кроме того, изменение температуры может вызвать отклонения в результаты измерений. Несмотря на сравнительно небольшой размер, сигнал также является важным источником ошибок.

Лазерный сканер используется для экспериментальных исследований, проводящихся в лабораторных условиях и полевой съемке для мониторинга деформации сооружений [58]. Несмотря на то, что преимущество

использования лазерного сканирования заключается в том, что оно обеспечивает плотное трехмерное изображение поверхности объекта, однако точность лазерных сканеров не воспринимается адекватно для применения в промышленной метрологии, например, в мониторинге деформации [58].

GPS технологии. На сегодняшний день спутниковые технологии все больше находят применение в различных сферах деятельности человека, в том числе и для осуществления контроля за сложными и труднодоступными объектами. Это обусловлено возрастающей потребностью обеспечения безопасности при строительстве и эксплуатации зданий, мостов, железных дорог и других сооружений. Спутниковая технология все чаще применяется как дополнение к уже существующим системам контроля и мониторинга [59, 60].

До настоящего времени способы инженерно-геодезических измерений, применяемые для определения деформаций различных типов сооружений при помощи GPS освещены хорошо. Обычными источниками для мониторинга деформация сооружений являются результаты традиционных геодезических методов, а также другая геотехническая аппаратура. Хотя эти методы могут быть более точными, однако большое преимущество GPS мониторинга – его непрерывный характер, который допускает позиционирование в реальном времени, а также детальные признаки долгосрочной работы. Это особенно важно, когда альтернативой является съемка, выполняемая с интервалом в год, полгода или ежемесячно. При непрерывных GPS-наблюдениях данные будут иметься в любое время [60, 61].

В зависимости от целей и требуемой точности мониторинга деформаций инженерных сооружений, для работы используют несколько приемников на наблюдаемом сооружении совместно с несколькими базовыми станциями. Несколько GPS приемников, установленных на наблюдаемом сооружении, позволяет существенно повысить надежность получаемых результатов. Установка двух и более базовых станций за пределами сооружения и последующее вычисление базовых линий гарантирует, что движение свободно от смещения базовых станций. Все, кроме одной, из 14 установленных его компанией систем, используют сеть из нескольких приемников [62]. Большинство систем мониторинга разработаны для работы в режимах постобработки и реального времени. Обычно собственники сооружений заинтересованы только в данных реального времени за исключением некоторых моментов нестандартного движения конструкции за пределами predetermined критических параметров.

Для мониторинга зданий при помощи GPS частота измерений должна быть очень высока, для вулканов, наоборот, значительно меньше. Большая частота наблюдений наилучшим образом позволяют определять динамические деформации линейных сооружений, таких как высотные здания или длинные фермовые мосты, в то время как меньшая частота больше подходит для медленно или импульсно деформирующихся объектов, таких как плотины или оползни [63].

В связи с уникальностью сооружения с самого начала строительства

ставилась задача постоянного наблюдения за деформациями строительных конструкций. Управляемые моторизированные безотражательные электронные тахеометры, позволяют решить поставленную задачу.

3.2 Наблюдение за трещинами

В процессе эксплуатации строительных объектов возможны осадки фундаментов, которые приводят к изменению напряженно-деформированного состояния надземных конструкций здания. Большинство зданий возводимых и эксплуатируемых в условиях современной городской застройки относятся к строительным объектам, обладающим конечной жесткостью (объемно-блочные, крупноблочные и крупнопанельные). Такие здания обычно при неравномерных осадках получают деформирование, которые выражаются в искривлении отдельных участков здания. В связи с этим, отдельные несущие и ограждающие конструкции несут определенную нагрузку, которая выражается в возникновении дополнительных усилий на основания здания. Такие последствия в первую очередь, приводят к образованию трещин, нарушающих нормальную эксплуатацию зданий [77].

В последнее время у многих исследователей бытует мнение, что трещины образуются в зависимости от качества строительного материала, из которого построены здания. Однако образования трещин является следствием от жесткости и характера развития неравномерных осадок в зданиях и сооружениях.

Поэтому считаем, что для проведения геодезического мониторинга состояния зданий и сооружений, необходимо решить одну из главных задач по подготовке и проведения мероприятий по инженерной защите зданий, т.е. диагностику его технического состояния (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Диагностический и геодезический осмотр за процессами деформации

Всякое нарушение работы оснований и фундаментов обнаруживается через деформации и повреждение надземных конструкций. Для устранения

причин дефектов нужно знать местонахождение и причину неравномерных осадок. Поэтому обследование здания и его основания идет в таком порядке: от трещин в надземных конструкциях к основанию. Таким образом, поиск должен идти следующим образом:

Особенности материалов. При возведении стен зданий и сооружений используют кирпичную кладку, применяют бетонную кладку или панельные стены из слабо армированного бетона. От применения различных видов материалов при строительстве стен зависят прочностные особенности стеновых материалов. Из строительной практики известно, что испытания образцов многих стеновых материалов в диаграмме напряжения (деформации) наблюдаются три стадии: упругости, пластичности и разрушения. Оба указанных выше стеновых материала относятся к категории хрупких и при их испытаниях не имеются, так называемые «площадки текучести» и упрочнения. При этом происходят незначительные по геометрическим параметрам разрушения, причем при очень малых относительных деформациях. Это происходит при испытаниях на сжатие и растяжения строительных материалов, для определения упругости и пластичности. С появлением портланд-цемента при возведении стен здания качество применения данного раствора для кирпичной кладки прочность стен стало намного усиленной с использованием известкового раствора. Этот раствор твердел медленно, по мере высыхания раствора. Поэтому при осадках фундаментов и деформации стен, даже больших, трещин в стенах не возникали вследствие явлений ползучести. Цементный раствор набирает прочность быстро, способствующие быстрому появлению трещин на стенах здания, задолго до затухания осадок фундаментов.

Напряженно-деформированное состояние стен даже в нормальных условиях, по данным ряда исследований, очень сложное и переменное. В стенах под действием сжимающей нагрузки появляются напряжения двух знаков: сжимающие и растворяющие, причем они изменяются по высоте стены, простенка. Под действием горизонтальных растягивающих напряжений могут появиться очень опасные вертикальные трещины. Вертикальные напряжения в стенах почти прямолинейно изменяются с увеличением и уменьшением нагрузки. Распределение напряжений усложняется с усложнением форм кладки, а в углах, пересечениях стен, проемах, отверстиях происходит концентрация напряжений [78].

Кроме вышеуказанных причин на напряженное состояние стен влияют и другие факторы, например: температурные перепады в наружных стенах, усадка кладки и др. (рисунок 3.2).

По причинам:	• деформационные, конструктивные, температурные, усадочные, износа (выветривания)
По виду разрушения:	• раздавливание, разрыв, срез
По направлению:	• вертикальные, горизонтальные, наклонные
По очертанию:	• прямолинейные, криволинейные, замкнутые
По глубине:	• поверхностные, сквозные
По степени опасности:	• опасные, не опасные
По времени:	• стабилизированные, • не стабилизированные
По величине раскрытия:	• волосяные - до 0,1 мм, мелкие - до 0,3 мм, развитые - 0,3-0,5 мм, большие - до 1 мм и более

Рисунок 3.2 – Причины и виды трещин в стенах.

При строительстве зданий независимо от строительных материалов напряженно-деформированное состояние стен может быть сложное и переменное. В стенах под действием неравномерной сжимающей нагрузки зависят от следующих факторов:

а) Сжимаемость грунтов с учетом техногенных причин при строительстве и эксплуатации зданий.

В этом случае трещины могут быть наклонными, доходящие до края стены. Они появляются в растянутых зонах. По направлению и раскрытию трещин можно представить вид осадки, влияющих на деформационные процессы здания, местонахождение причины осадок, что дает возможность определять причину их образования.

При неравномерной сжимаемости грунтов осадки могут повлиять на неравномерное опускание фундаментов, концентрация напряжений под углами зданий, утечка грунта в трубы старой канализации, повреждение грунта в период строительства и др.

б) Надстройки, пристройки.

Пристройки или надстройки здания, непредусмотренные ранее проектом строительства, изменяют напряженное состояние основания, а именно в грунте под существующим зданием возникают дополнительные напряжения сжатия и, как результат – осадки фундаментов. В примыкающих стенах существующих зданий появляются наклонные трещины, которые «падают» вниз, а раскрытие

трещин направляется вверх по стенам, возникает при частичной надстройке здания по его длине. Стены существующего здания, которые примыкают к пристройкам, и происходит наклон и осадочные швы могут закрыться.

в) Разные нагрузки на фундамент в пределах длины здания.

В пределах длины здания продольные наружные стены в современных зданиях иногда имеют значительные остекленные участки или наоборот – глухие участки стен. Разные нагрузки влекут за собой разные осадки фундаментов. Внутренние продольные стены имеют мало проемов и несут большую нагрузку от междуэтажных перекрытий. Это может вызвать осадку и появление трещин в углах примыкания к поперечным стенам. Трещины наклонные, «падают» вниз от продольной стены, иногда наблюдается срез.

г) Нахождение котлована рядом с существующим зданием.

В таких условиях здание может оказаться стоящим на откосе или вблизи от него. Подвижки грунта захватывают зону расположения фундаментов, в стенах появляются наклонные трещины со стороны котлована, иногда примыкающая стена наклоняется, появляется угроза обрушения. Крепление стенок котлована не всегда эффективно. Крепление стенок должно быть очень жестким, например, анкерным с предварительным напряжением либо нужно применить другие технические меры.

Указанное явление может усиливаться и другими производственными факторами: откачкой воды и выносом грунта, тиксотропным размягчением грунта от динамических воздействий строительных машин и др.

д) Взаимное влияние соседних фундаментов.

В этом случае напряженные зоны в основаниях взаимно и частично накладываются, увеличивая местное сжатие грунта. При одновременном сжатии грунта рядом стоящих зданий получают воздействие, и они наклоняются друг к другу, при разновременном – оба здания получают воздействие в сторону возводимого позже. При возведении нового здания на естественном основании рядом с существующим зданием на сваях может получить дополнительную местную осадку с образованием наклонных трещин.

е) Влияние поверхностных нагрузок.

При складировании строительных материалов, изделий, промышленного сырья в непосредственной близости от стен нагрузка на поверхности грунта вызывает местное сжатие грунта основания и местную осадку фундаментов с соответствующими последствиями. Поверхностной нагрузкой может быть грунт подсыпки территории после возведения здания. В этом случае в результате загрузки большой площади дополнительные напряжения в грунте распространяются на большую глубину и могут вызвать значительные осадки фундаментов.

ж) Влияние динамических воздействий.

Динамические воздействия могут быть результатом движения тяжелого транспорта, забивки свай для новых зданий, в промышленных зданиях – работы молотов, компрессоров и др. Эти воздействия могут привести к повреждениям надземных конструкций, а также повлиять на состояние грунтов оснований.

Песчаные грунты уплотняются, глинистые тиксотропно размягчаются, а в результате фундаменты получают осадку, стены трещины. Следует отметить, что колебания зданий иногда вызываются даже источниками, далеко расположенными от него.

з) Промерзание и оттаивание грунтов.

Промерзание грунтов может вызвать неравномерные поднятия фундаментов нормальными и касательными силами пучения. Это особенно опасно для строящихся зданий, когда вес стен небольшой, изгибная жесткость стен мала. Стены получают многочисленные повреждения в виде трещин, а на этих стенах нужно дополнительное усилие, чтобы возводить остальные этажи. При оттаивании грунта осадка фундаментов, как правило, большие поднятия и стены получают новые повреждения.

В зданиях, поставленных капитальный ремонт и, следовательно, не отапливаемых, положение такое же, особенно при наличии подвалов. Наружные стены могут оторваться от поперечных стен. Появляются трещины по всей высоте стены, возникает опасность потери их устойчивости.

и) Температурные деформации.

Появление трещин, вызванных температурными колебаниями, оказывают деформации, которые наблюдаются при большой длине зданий и отсутствии температурных швов. Трещины обычно приурочены к средней части здания, имеют общее вертикальное направление.

к) Усадочные деформации.

Усадочные деформации имеют место в крупнопанельных зданиях. Трещины обычно приурочены к средней части здания, имеют общее вертикальное направление. Иногда на поверхности оштукатуренных стен появляются небольшие, беспорядочно разбросанные и ориентированные трещины. Все трещины замкнутые, не доходящие до края стены. Они являются результатом усадки слишком жирного штукатурного раствора.

л) Перегрузка конструкции.

Трещины раздавливания кладки появляются в стенах, особенно в простенках и столбах. Характерные признаки их – вертикальное направление и замкнутость. Такие трещины – признаки начавшегося разрушения конструкции. Они чрезвычайно опасны внезапным разрушением одного простенка, а затем по цепной реакции – всех остальных. В таких случаях требуются немедленные мероприятия – удаление людей, устройство ограждения, закладка проемов и др. В стенах, пилястрах старых промышленных зданий иногда появляются трещины в местах опирания ферм, балок, подкрановых балок и др. Происходит местное разрушение конструкции.

м) Частные случаи.

Вертикальные трещины, совершенно прямолинейные, с постоянным раскрытием по всей длине – это признак примыкания стен, т.е. старой и новой, очередности кладки и т.п. Трещины не опасны. Трещины в местах примыкания перегородок к потолку свидетельствуют об отрыве перегородки от потолка.

Причинами могут быть осадка пола (по грунту), прогиб балок перекрытия, а также усадка материала перегородки.

н) Выветривание (износ) материала стен.

Температурно-влажностные колебания воздуха постепенно сказываются на состоянии кирпичных стен. Со временем появляются мелкие трещины выветривания (износа). Они неглубокие, раскрываются к поверхности стены. При достаточно массивных стенах трещины не опасны.

Обследования трещин. Методика обследования содержится в «Руководстве по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений», НИИОСП, М., 1975.

Визуальное обследование заключается в осмотре трещин, их раскрытия, направления, расположения, возраста. Высоко расположенные трещины можно рассматривать в бинокль. Чистая поверхность разрыва свидетельствует о недавнем происхождении трещины, а загрязненная поверхность стен показывает о длительном происхождении трещин. Трудно обнаружить трещины, совпадающие со швами кирпичной кладки, а также панелей каркасных промышленных зданий. Для определения раскрытия и глубины трещин в настоящее время существует целый ряд приборов и способов их определения.

Важными показателями являются время появления трещин и внешние обстоятельства, которые могли быть причинами деформации здания. Картина повреждений стен значительно усложняется при возникновении трещин от разных причин и в разное время. Поэтому для анализа необходимо иметь материалы по инженерно-геологическим условиям, истории проектирования, строительства и эксплуатации здания, по расположению подземных сетей.

Результаты обследования трещин нужно представлять наглядно. Трещины наносятся на чертежи фасадов, стен внутренних помещений, развертки стен, иногда в аксонометрии. Трещины нумеруются, указывается их раскрытие, засекается их начало на данный момент времени. Фотографии не наглядны, они дают только фрагменты без связи с окружающей обстановкой. При длительных наблюдениях устанавливаются маяки [78].

3.3 Исследование высотных точек каждого этажа с помощью тахеометра

Принцип работы тахеометра – измерение расстояния до объекта, а также двух углов, что в конечном итоге дает возможность вычислить координаты. Пучок лазера исходит от излучателя, отражается от поверхности объекта и возвращается в приемник. Наводя на отражатель стоящей точки, в результате измерений получаем точные координаты точек.

Для достижения поставленной цели были выполнены несколько серий измерений. Измерения повторялись через каждые 3 месяца или ежеквартально с 2012 по 2014 годов. При выполнении исследований нами был использован тахеометр Leica из серии TS02 Power, с миллиметровой точностью. Первое измерение было проведено с целью исследования ровной поверхности пола по

длине коридора выбранных этажей. Для сбора данных был разработан следующий порядок измерений. При выполнении измерений тахеометром начальную точку прировняли к нулю. В избранных этажах главного учебного корпуса были взяты по 8 точек. В местах соединения плит на полу закреплены марки по длине коридора, чтобы ориентироваться по повторным измерениям. Также марка установлена на месте стояния прибора, для центрирования тахеометра. Прибор установили, на правом конце коридора наводя на отражатель, который установили на каждой точке взяли отчеты высот и координат. Для более точного получения результатов провели прямой и обратный ход измерений. После получения результатов построили следующие графики.

Таблица 2.5 – Ведомость деформационных марок прямого хода

№ станции	1 этаж	2 этаж	3 этаж	4 этаж	5 этаж	7 этаж	8 этаж	9 этаж	10 этаж
1		99,965	100,005	99,972	99,98	99,958	100,024	100,026	100,031
2		99,94	99,959	99,976	99,978	99,976	99,99	100,001	100,011
3	99,983	99,964	99,973	100,001	99,976	99,969	99,997	100,007	100,016
4	100	99,947	99,974	99,984	99,976	99,963	99,998	100,013	100,029
5	99,974	99,95	99,973	99,972	99,958	99,946	99,956	99,975	99,944
6	99,964	99,954	99,986	100	99,974	99,954	100,016	99,993	99,96
7	99,956	99,97	99,989	99,999	99,975	99,982	100,006	100,003	99,999
8	99,972	99,969	99,995	100,021	99,995	100,001	100,037	100,046	100,011

На основе полученных результатов был построен график, на котором по оси абсцисс показаны номера станции, а по оси ординат – высоты по этажам, разными расцветками показаны этажи исследуемого объекта.

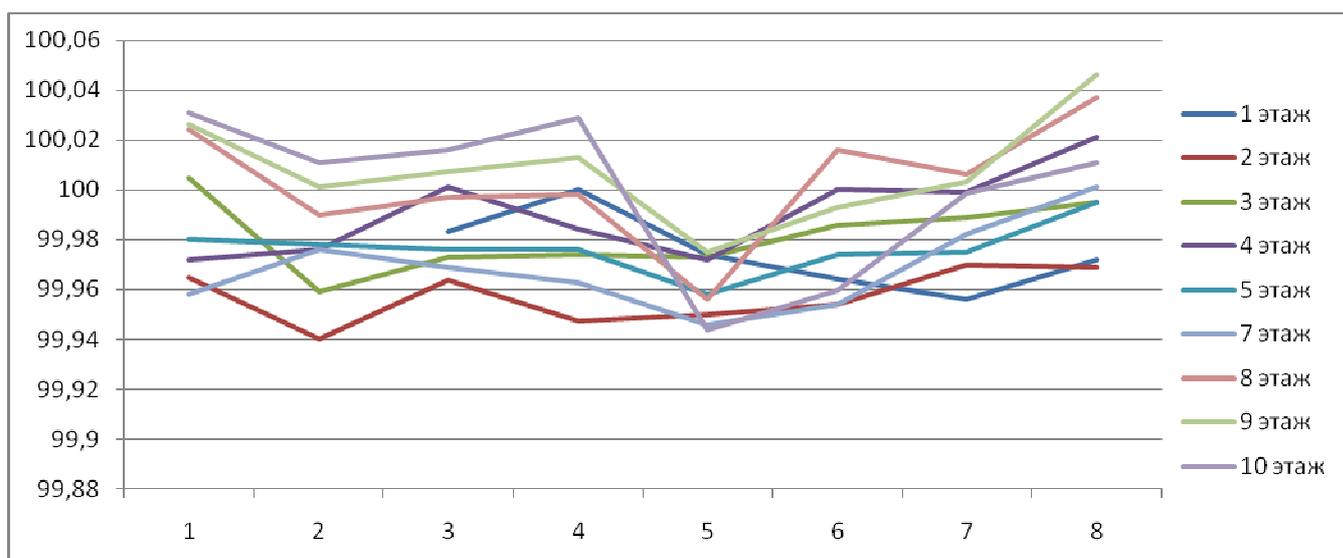


Рисунок 3.3 – График деформационных марок

Как видно из рисунка 3.3 просадок происходит посередине главного учебного корпуса КазНТУ имени К.И.Сатпаева. Посередине этого здания проходит деформационный шов, что на каждом этаже на этом же участке есть трещины [89].

3.4 Разработка способа определения горизонтального смещения зданий

Существует многочисленные методики обследования за трещинами зданий. Визуальное обследование заключается в осмотре трещин, их раскрытия, направления, расположения, возраста. Высоко расположенные трещины можно рассматривать в бинокль. Чистая поверхность разрыва свидетельствует о недавнем происхождении трещины, а загрязненная – о длительном. Трудно обнаружить трещины, совпадающие со швами кирпичной кладки, а также панелей каркасных промышленных зданий. Для анализа необходимо иметь материалы по инженерно-геологическим условиям, истории проектирования, строительства и эксплуатации здания, по расположению подземных сетей.



Рисунок 3.4 – Способы наблюдения за трещинами

На примере обследования трещин главного учебного корпуса имени К.И. Сатпаева, проходящие по центру на всех этажах здания, применен лазерный сканер фирмы FARO. С обеих сторон трещин маркером нарисовала по три марок на одной оси. Во время съемки сканером на эти марки установила специальные бумажные марки. Отсканировала эти бумажные марки, в

результате, которого были получены точные координаты всех марок, с высокой точностью.

3.5 Выводы по разделу

Для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях и полевой съемке использованы высокоточные электронные и лазерные для обеспечения полного трехмерного изображения поверхности стен здания необходимых для выбора схемы расположения маяков. Использован интерферометрический метод, для получения информации о подвижках земной поверхности.

Результаты обследования трещин нужно представлять наглядно. Трещины наносятся на чертежи фасадов, стен внутренних помещений, развертки стен, иногда в аксонометрии. Трещины нумеруются, указывается их раскрытие, засекается их начало на данный момент времени.

Проведены геодезические измерения высотных точек на каждом этаже здания и определены координаты точек по горизонтальному положению, где трещина проходит по деформационному шву по всей высоте здания.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГЛАВНОГО УЧЕБНОГО КОРПУСА КАЗНТУ

4.1 Лазерное сканирование на основе способа главных компонент

За последнее десятилетие темпы модернизации геодезического оборудования, расширения их функциональных особенностей и улучшения технических характеристик многократно выросли. Выделяя основные группы современных геодезических приборов (электронные тахеометры, электронные (цифровые) теодолиты, (цифровые) нивелиры, лазерные сканеры и др.) зачастую не уделяется должного внимания областям их применения.

Наземное лазерное сканирование позволяет обеспечить большую плотность и точность точек для получения достоверной информации и повышения уровня детализации съемок. Суть наземного лазерного сканирования – это определение пространственных координат точек наблюдения на поверхности объекта. Особая роль наземного лазерного сканирования отводится при проведении наблюдений за изменениями деформированного состояния надземных конструкций зданий и сооружений. Это реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек и координат пространственного положения марок или реперов.

При лазерном сканировании объекта результаты геодезических измерений имеют высокую точность и полный сбор исходных данных.

В настоящее время наземное лазерное сканирование нашло широкое применение на многих объектах промышленности для решения следующих производственных задач: съемка исторических зданий, памятников и других уникальных объектов для их реставрации и реконструкции; создание трехмерных моделей местности; создание трехмерных моделей сложных инженерных зданий и сооружений, их пространственное положение для обоснования точности измерений; контроль строительства зданий, сооружений.

Однако полученные данные наземным лазерным сканером всегда содержат в себе нежелательную составляющую, называемую «шумом» (ошибками) [75]. Природа этого «шума» может быть различной, но во многих случаях, дополнительная ошибка или шум - это та часть данных, которая не содержит искомой информации. Что считать «шумом НЛС», всегда решается с учетом поставленных целей и методов, используемых для ее достижения. «Шум» и избыточность в полученных данных НЛС обязательно проявляют себя через корреляционные связи между переменными. При этом ошибки в данных измерениях могут привести к появлению случайных связей между переменными. Используя, математико-статистический аппарат по определению связей, мы пришли к усовершенствованию методики обработки результатов наблюдений плоскости, полученных НЛС при помощи способа главных компонент. Обязательным компонентом исследования случайных связей между переменными значениями позволят установить наклоны угла падения лазерного луча, влияющих на точность и на качество измерений НЛС.

Способ главных компонент - это один из основных способов понижения размерности, состоящий в переходе к новому ортогональному базису, оси которого ориентированы по направлениям максимальной дисперсии набора входных данных. Вдоль первой оси нового базиса дисперсия максимальна, вторая ось максимизирует дисперсию при условии ортогональности первой оси, и т.д., последняя ось имеет минимальную дисперсию из всех возможных [76]. Такое преобразование позволяет понижать информацию путем отбрасывания координат, соответствующих направлениям с минимальной дисперсией. Предполагается, что если нам надо отказаться от одного из базисных векторов, то лучше, если это будет тот вектор, вдоль которого набор входных данных меняется менее значительно. Обработка результатов наблюдений плоскостей полученных НЛС при помощи способа главных компонент будет выполняться пошагово, как показано на схеме рисунка 4.1.

Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных НЛС. Известно, что качество и точность массива точек отсчёта полученных НЛС зависят главным образом от расстояния от сканера до объекта, угла падения лазерного луча сканера и светоотражающей способности поверхности. Наклонность падающего лазерного луча НЛС приводит к систематической ошибке в расстояниях.

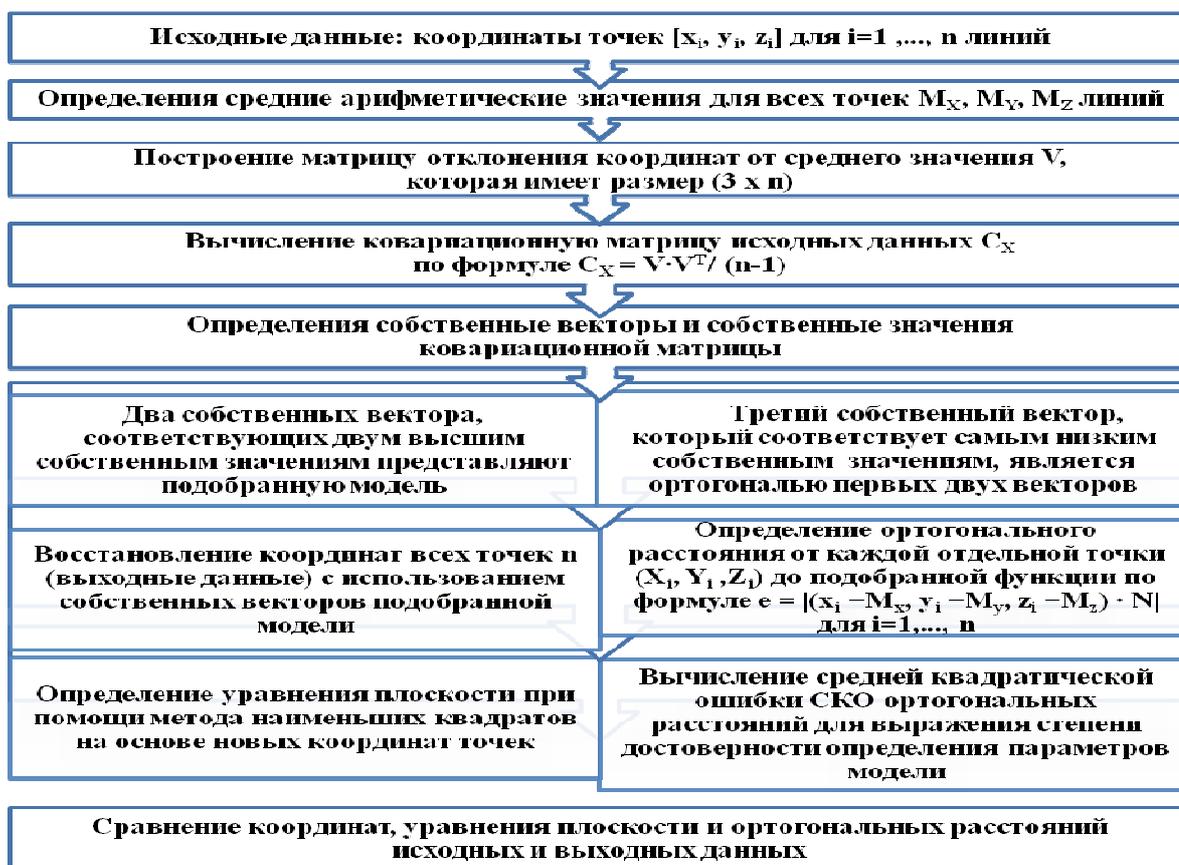


Рисунок 4.1 – Схема этапов методики обработки полученных данных плоскости наземным лазерным сканером при помощи способа главных компонент

Разрешение НЛС представляет собой способность обнаружения мелких объектов и частей объекта во множестве точек. С точки зрения лазерного сканирования разрешение может быть выражено в двух вариантах; угловой дискретности (α) или расстоянии между двумя лазерными пятнами на самом объекте (d).

Для исследования влияния угла наклона лазерного луча на положения лазерных пятен (кружков) на измеряемом объекте и разрешения НЛС применялись два варианта установки НЛС относительно сканируемого объекта (рисунок 4.2).

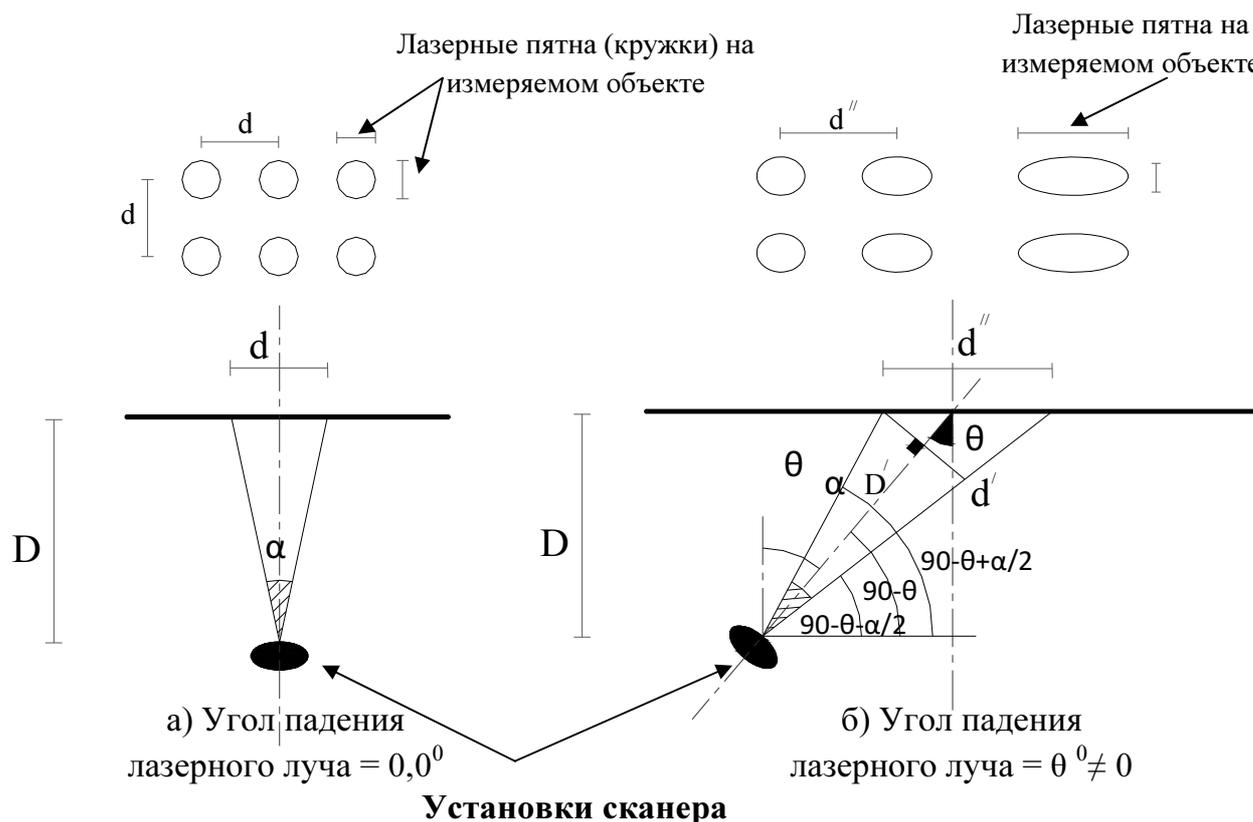


Рисунок 4.2 – Влияние наклонности падающего лазерного луча на размер лазерного пятна на измеряемом объекте

Для обоих вариантов установок НЛС (рисунок 4.2) предлагается использовать постоянный угол дискретности α (угол расхождения луча). Если падающий лазерный луч НЛС падает перпендикулярно наблюдаемой поверхности (угол падения равен нулю), то лазерные пятна на измеряемом объекте образуют круг. Однако если он падает на наклонной поверхности с углом падения равным θ° , то лазерные пятна образуют эллипс с различными по величине полуосями.

Пусть сканирование выполняется в спокойных условиях. В первом варианте установки сканера (рисунок 4.2, а) лазерный луч НЛС падает перпендикулярно на наблюдаемом объекте, т.е. угол падения луча равен нулю. Поэтому расстояние между двумя лазерными пятнами на самом объекте d может быть вычислено следующим образом

$$d = 2D \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (4.1)$$

где α – угол расхождения луча (угол разрешения НЛС); D – расстояние от сканера до объекта.

Во втором варианте установки сканера (рис. 4.2, б) лазерный луч НЛС падает на наблюдаемый объект под углом падения равным θ . Поэтому расстояние между двумя лазерными пятнами d будет d'' и может быть вычислено следующим образом.

Обозначим расстояние d'' через BC (рисунок 4.2, б). Тогда в треугольнике ABC , с помощью теоремы синусов получим

$$\frac{d''}{\sin \alpha} = \frac{AB}{\sin (90 - (\theta + \frac{\alpha}{2}))}. \quad (4.2)$$

Отрезка AB можно вычислить по формуле

$$AB = \frac{D}{\sin (90 - (\theta - \frac{\alpha}{2}))}. \quad (4.3)$$

Известно, что

$$\sin (90 - (\theta + \frac{\alpha}{2})) = \cos (\theta + \frac{\alpha}{2}), \quad \sin (90 - (\theta - \frac{\alpha}{2})) = \cos (\theta - \frac{\alpha}{2}).$$

Подставив формулу (4.3) в выражение (4.2), получим

$$d'' = \frac{D \sin \alpha}{\cos (\theta + \frac{\alpha}{2}) \cos (\theta - \frac{\alpha}{2})}. \quad (4.4)$$

Для упрощения уравнения (4.4)

$$\begin{aligned} \cos (\theta + \frac{\alpha}{2}) \cos (\theta - \frac{\alpha}{2}) &= \cos^2 \theta \cos^2 (\frac{\alpha}{2}) - \sin^2 \theta \sin^2 (\frac{\alpha}{2}); \\ &= \cos^2 \theta (1 - \sin^2 (\frac{\alpha}{2})) - \sin^2 \theta \sin^2 (\frac{\alpha}{2}), \end{aligned}$$

откуда имеем

$$\cos (\theta + \frac{\alpha}{2}) \cos (\theta - \frac{\alpha}{2}) = \cos^2 \theta - \sin^2 (\frac{\alpha}{2}). \quad (4.5)$$

Подставив формулу (4.5) в выражение (4.4), получим

$$d'' = \frac{D \sin \alpha}{\cos^2 \theta - \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}. \quad (4.6)$$

На основе формул (4.1), (4.4) и (4.6) можно сделать вывод, заключающийся в том, расстояние d'' всегда больше расстояния d . Поэтому чем выше угол падения лазерного луча НЛС, тем меньше плотность отсканированных точек и, следовательно, тем меньше в результате полученные данные.

При выполнении эксперимента нами были получены результаты измерений пяти светоотражающих марок с помощью сканера FARO LASER SCANNER FOCUS 3D. Эксперимент выполнялся на несущей стене ГУКа КазНТУ имени К.И. Сатпаева.

Несущая стена представляла собой плоскую стену с наклеенными на нее светоотражающими марками размером 3 см. Для имитации наклонности лазерного луча установки НЛС различаются по горизонтали по отношению к измеренной стене на разных расстояниях (0 м, 2 м, 4 м и 6 м), как показано на рисунке 4.3. Каждый скан был получен с различными углами падения лазерного луча на расстоянии приблизительно 4 м от сканера.

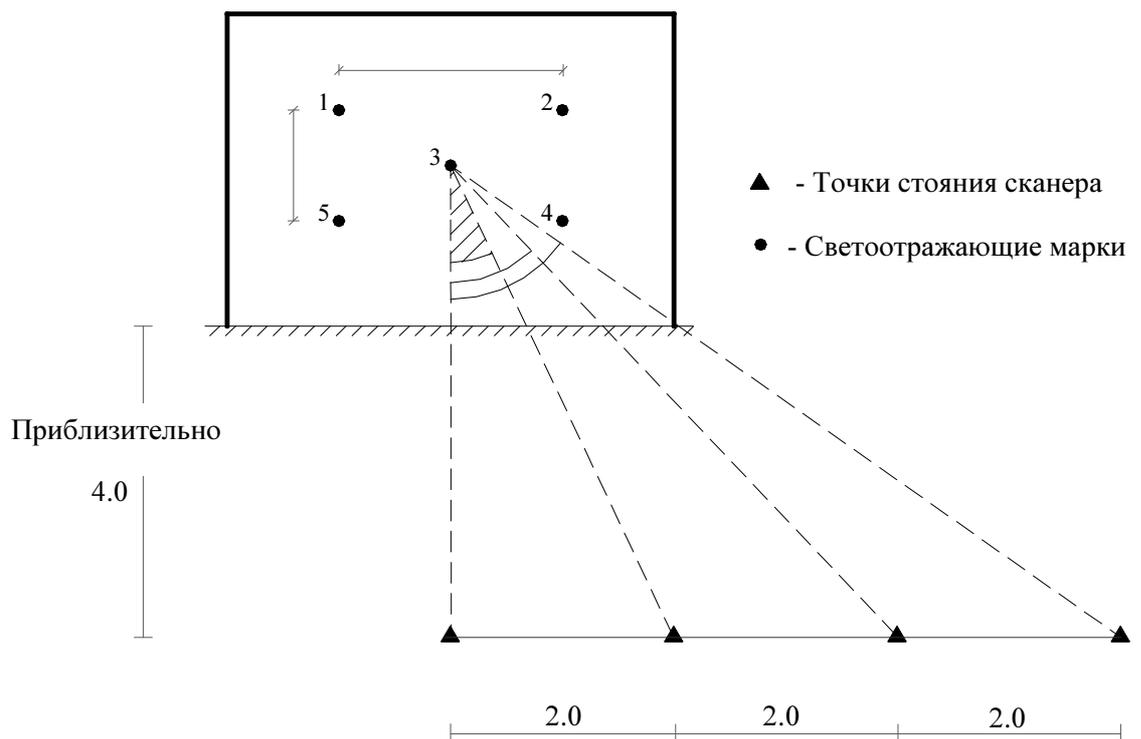


Рисунок 4.3 – Схема расположения светоотражающих марок на стене

Если лазерный сканер не устанавливается в известной точке, точность определения координат полученных НЛС может быть определена путем измерения расстояний между светоотражающими марками. На основе полученных результатов расстояний между наблюдаемыми точками на стене

было выполнено сравнение расстояний, полученных НЛС с различными углами падения лазерного луча. Итоговые результаты приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Зависимость точность определения расстояний между марками на стене от углов падения лазерного луча НЛС

Расстояния между марками	Вычисленные расстояния с различными углами падения, мм				СКО вычисленных расстояний с различными углами падения, мм			
	1° 2'	27° 9'	45° 26'	56° 33'	1° 2'	27° 9'	45° 26'	56° 33'
1--2	1999,24	1994,20	2004,44	1975,18	4,11	7,60	8,63	13,12
1--3	1102,58	1101,97	1101,51	1083,37	2,88	7,93	8,13	11,79
1--4	2227,72	2222,74	2225,20	2199,22	3,76	6,84	7,75	11,72
2--3	1126,32	1123,60	1131,43	1120,95	2,62	5,44	7,42	11,80
2--5	2235,29	2229,30	2239,34	2210,88	3,83	6,87	7,78	11,79
3--4	1125,19	1120,80	1123,74	1115,89	2,48	5,36	7,33	11,66
3--5	1109,09	1105,90	1108,06	1090,04	2,82	7,88	8,10	11,80
4--5	1987,31	1980,30	1985,57	1961,63	4,10	7,63	8,67	13,17

Из таблицы 4.1 видно, что при обработке наблюдений, полученных НЛС, ошибки вычисленных расстояний между наблюдаемыми марками на стене являются существенными и растут при увеличении угла падения лазерного луча НЛС. Увеличение угла падения лазерного луча приводит к уменьшению расстояний между отсканированными марок и увеличению СКО их определения. Для последней установки НЛС, которой имеет угол падения лазерного луча $56^{\circ} 32' 54''$, вычисленные расстояния между наблюдаемыми марками меньше, чем вычисленные расстояния, полученные НЛС для любого другого угла падения. Это объясняется тем, что когда лазерный луч лежит на поверхности с углом падения, лазерные пятна на объекте образуют эллипс. Параметры этого эллипса зависят от угла падения луча и расстояния от сканера до объекта. Чем больше угол падения лазерного луча, тем больше параметры и размеры этого эллипса.

Из всего вышесказанного исследования можно сделать следующие выводы:

- увеличение угла падения лазерного луча НЛС приводит к повышению размеров лазерных пятен на измеряемом объекте и расстояния между ними;
- чем больше угол падения лазерного луча НЛС, тем больше СКО измерений полученных сканером и, следовательно, тем меньше точность. Следует отметить, что такое же влияние наклонности лазерного луча НЛС на точность результатов измерений сканера возникает также при использовании наземного лазерного сканера для сканирования наклонных поверхностей;
- метод главных компонент не изменит средних значений координат исходных данных (координат массива точек полученных сканером), потому что полученные средние значения координат точек одинаковые после и перед использованием метода главных компонент;

– использование метода главных компонент приводит к уменьшению шума наземного лазерного сканирования.

Оценка технического состояния здания методом сравнения фактических геометрических характеристик с предельно допустимыми значениями.

Для оценки технического состояния здания на основе выполненных геодезических работ и анализа результатов измерений рекомендуется определять четыре группы технического состояния зданий и сооружений: расчетно-эксплуатационный режим; допустимый эксплуатационный режим; предаварийное состояние; аварийное состояние.

1. В расчетно-эксплуатационном режиме здание находится, когда все геометрические параметры не выходят за пределы диапазона проектных значений допуска.

2. В допустимом эксплуатационном режиме здание находится, когда некоторые геометрические параметры выходят за пределы требований СНиП, но они носят случайный характер. При этом на здании отсутствуют трещины. Допускается наличие трещин недеформационного характера.

3. Предаварийное состояние здание – это когда появляются трещины и разломы явного деформационного характера, а геометрические параметры выходят за пределы требований СНиП, но при этом не наблюдается уменьшение площадок опирания строительных конструкций более чем на 2 см. Несущие конструкции сооружения не имеют трещин и разломов.

4. Аварийное состояние – это когда геометрические параметры превышают требования СНиП в несколько раз. Когда площадки опирания уменьшаются более чем на 2 см и в несущих конструкциях здания появляются трещины и разломы.

4.2 Контроль развития деформаций

В процессе проведения геодезических наблюдений за различными проявлениями трещин существует много способов (маяки, марки), которые устанавливаются для контроля деформаций здания. Рассмотрим разные способы мониторинга за несущими конструкциями здания, где могут образоваться трещины. Проведение контроля за деформациями на практике специалистами используют инструменты наблюдений, которые позволяют следить за:

- изменением ширины раскрытия трещин;
- увеличением протяженности трещин;
- появлением новых повреждений;
- креном, прогибами и отклонением от проектного положения конструкций;
- величиной осадки различных частей конструкций;
- и т.п.

Все это делается как для обеспечения безопасности, так и для принятия правильных решений относительно ремонта и восстановления. Важно получить точные и достоверные сведения максимально быстро и в достаточном объеме

для принятия специальных мероприятий. Поэтому преимущественно следует использовать точные наблюдения, а контролю подлежит каждая трещина в деформирующемся здании. Тип установленного на трещину маяка или марки свидетельствует об использовании способов наблюдения за деформациями здания, которое позволит судить о том, насколько серьезно специалисты подошли к геомониторингу несущих конструкций здания.



Рисунок 4.4 – Схема закрепления гипсовых маяков

На практике геодезических наблюдений чаще используют гипсовые маяки, которые не могут обеспечить достаточную точность (рисунок 4.5). В основном их применение оправдано для небольших трещин с целью, которой самого факта увеличения ширины раскрытия и не предполагает проведение измерений. Для фасадов зданий применение гипсовых маяков нецелесообразно, особенно, если трещины имеют значительную протяженность. Конструкции ограждающих стен здания нагреваются и охлаждаются под действием суточных и сезонных колебаний температуры наружного воздуха. Температурные расширения протяженных конструкций (таких как стены) могут достигать значительных значений.

Концентрация напряжений от таких расширений должна компенсироваться температурными деформационными швами. Протяжные трещины на фасадах зданий работают как температурные швы, изменяя ширину своего раскрытия в зависимости от температуры наружного воздуха. Гипсовый маяк, установленный на такой трещине, в любом случае «сработает» и покажет развитие деформаций, хотя эти деформации могут быть связаны только с колебанием температуры. Дополнительной сложностью при использовании гипсовых маяков является то, что они должны отвечать определенным требованиям по толщине и размерам. Если маяк очень тонкий, то он трескается даже от легких колебаний конструкций. Далекое не каждая нашлапка или колыска из гипса может считаться полноценным маяком, позволяющим вести наблюдение за конструкциями.

Еще одним недостатком гипсовых маяков является слабая стойкость гипса к воздействию влаги. В местах, где такое воздействие может быть существенным, для изготовления маяков лучше использовать цементно-песчаный раствор. Долговечность маяков, выполненных таким образом и с

соблюдением требований по подготовке поверхности, может составить десятилетия. Зная все эти особенности применения гипсовых маяков вполне можно оценить знания и опыт специалиста его установившего.



Рисунок 4.5 – Наклеенные поперек трещины бумажные «маяка»

В специализированных литературных источниках и нормативных документах нет упоминаний о возможности использования бумаги для устройства маяков. Если наклеенные поперек трещины бумажные «маяка» имеют место, то это свидетельствует непрофессиональному решению по проведению наблюдений за процессами трещинообразования. Бумажный «маяк» меньше, чем какой-либо другой, реагирует на определение геометрических параметров и увеличение ширины раскрытия трещины. И этот факт может привести к недостоверной оценке деформационных процессов происходящих в здании.

Наблюдение по закрепленным точкам.

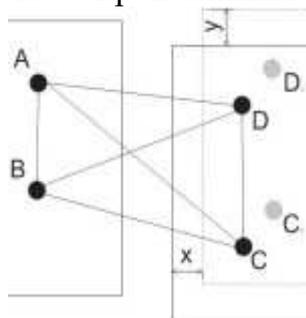


Рисунок 4.6 – Схема расположения точечных маяков

Контроль над трещинообразованием на стенах здания могут быть использованы точечные маяки. Точечные маяки на стенах обычно закрепляются дюбелями, расположенными по обеим сторонам от трещины (рисунок 4.6) . Также, в качестве закрепленных точек, могут использоваться любые другие приспособления малых размеров, например металлические арматурные стержни и т.п. Если возле трещины закреплено только две точки

для наблюдений, то специалист измеряет помощью измерительных инструментов расстояние между ними и, сравнивая с предыдущими показаниями, получает величину изменения ширины раскрытия трещины.

Если же закреплено 3 или 4 точки, то после проведения замеров расстояния между ними, проводятся дополнительные вычисления, которые позволяют получить данные по перемещениям, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении в плоскости стены. Для проведения вычислений достаточно три точки, четвертая обычно используется как резервная – на случай утраты одной из закрепленных и для проверки правильности сделанных расчетов. Не рекомендуется использовать для закрепления точек наблюдения протяженные предметы – металлические уголки, пластины и т.п. Это связано с тем, что замеры необходимо производить в одном и том же месте, а устройства, имеющие большие размеры позволяют производить замеры в разных местах. Даже отступ от предыдущего места измерений в 1 см может привести к искажению данных о происходящих изменениях, если наблюдения ведутся с высокой точностью. Данный способ достаточно распространен и позволяет, несмотря на некоторые недостатки, качественно выполнять наблюдения.



Рисунок 4.7 – Стекланные маяки

Стекланные маяки могут быть двух типов. Если это две полоски стекла, закрепленные по обеим сторонам от трещины (назовем его тип 2), то можно считать это точечным маяком. Он не очень удобен и может снижать качество показаний. Другой тип (назовем его тип 1) – это одна полоска стекла, прикрепленная поперек трещины. Такой стекланный маяк именно приклеивается, а не устанавливается на цементный или гипсовый раствор. Стекло имеет гладкую поверхность, и сила ее сцепления с используемым для установки раствором будет крайне мала. Кроме того, на сцепление стекланных маяков на стенах здания оказывают и внешние факторы (перепад температур, дождь и т.д.), что далеко не каждый клей сможет сохранить целостность контакта в условиях уличной установки. Все это следует учитывать при выборе материала для крепления стеклнного маяка. Если же стеклнная пластинка закреплена надежно, то при раскрытии трещины должна сломаться она, а место крепления останется целым. Но результат будет далек от истинного положения,

так как многие исследователи представляют при установке подобных стеклянных маяках, появляются многочисленные трещины. Образование трещин на стеклянных маяках не всегда свидетельствует о появлении или расширении трещин.

Нет никакой возможности судить о величине раскрытия трещины по куску раскрошившегося стекла на стене. Причем и сам факт движения трещины нельзя зафиксировать со стопроцентной уверенностью, так как если просто ударить по стеклянному маяку металлическим предметом картина трещин будет аналогичной. Тем не менее, такие маяки используются в профессиональной среде. На примере иллюстрации из дайджеста института BRE (Англия) можно видеть как правильно должен такой маяк устанавливаться на стене. Стеклопленочные маяки – это один из трех способов наблюдений, которые рекомендует к использованию американское правительственное агентство GSA. В выпущенном этим учреждением инструкции указывается, что стеклопленочные маяки предназначены для установления факта изменения ширины раскрытия трещины, без возможности количественного определения величины этих изменений. Соответственно, правильно установленный стеклопленочный маяк может использоваться для определения движения в конкуренциях. Но как и гипсовый маяк, он может реагировать на температурные деформации конструкций, если установлен с уличной стороны. Кроме того, тип 1 не позволяет проводить измерения, а тип 2 подходит для измерений хуже, чем обычные точечные и другие специализированные маяки для точных наблюдений. Представляется, что стеклопленочные маяки – это некоторый анахронизм, который может использоваться при отсутствии альтернатив. Они малоэффективны и их применение может быть оправдано, например, каким либо дизайнерскими замыслами.



Рисунок 4.8 – Пластичные маяки

Пластинчатые маяки наиболее удобны для визуальных наблюдений и при желании могут быть изготовлены из подручных средств. Примером может быть наиболее распространенная конструкция из двух пластинок оцинкованного кровельного железа. Пластины устанавливаются друг над другом по обе

стороны от трещины. Штрихом отмечается положение пластин по отношению друг к другу в момент установки. Расстояние от штриха до нового положения пластины и будет величиной изменения ширины раскрытия трещины. Однако, при всей простоте использования такой маяк не лишен недостатков. Пожалуй, главными являются отсутствие возможности точных наблюдений и трудоемкость изготовления. Распространенность в России таких маяков обусловлена имеющимися преимуществами в визуальном контроле и отсутствием (до недавнего времени) более качественных и удобных альтернатив.

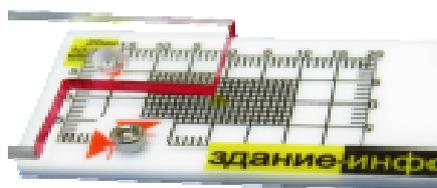


Рисунок 4.9 – Пластинчатые профессиональные маяки

Пластинчатые профессиональные маяки, выпускаемые промышленным способом, могут отличаться как по качеству, так и по имеющимся возможностям. Выбор зарубежных образцов таких маяков достаточно велик, в России же пока выпускаются только маяки серии ЗИ. Главные преимущества профессиональных пластинчатых маяков заключаются:

- в удобстве и наглядности визуальных наблюдений;
- возможности ведения визуальных наблюдений за перемещением конструкций по двум осям (а не только за шириной раскрытия трещины);
- возможности выполнения инструментальных точных измерений (не все модели маяков);
- возможности простой установки на конструкции с использованием различных способов крепления (включая позволяющие повторное использование маяка);
- наличие дополнительных функций и возможностей, предусмотренных производителем;
- наличие методической базы, инструкций описаний, поддержки производителя.

Производители таких маяков постоянно разрабатывают новые модели и совершенствуют существующие, делая их более удобными, точными и удобными в применении. Разработаны модели маяков для различных задач и условий применения. Например, модель маяка ЗИ-3д в отличие от прочих профессиональных пластинчатых маяков (включая и зарубежные образцы) имеет возможность точных наблюдений по трем осям, а модель Avongard Corner Tell-Tale для углов зданий может легко устанавливаться в любом месте, независимо от величины угла. При таком разнообразии, единственной

проблемой профессиональных маяков становится проблема выбора наиболее подходящей модели маяка для конкретных условий.



Рисунок 4.10 – Электронные средства наблюдений

Датчики для наблюдений за трещинами могут объединяться в систему, а могут использоваться локально. Наиболее удобным средством наблюдения за единичными трещинами является автономный датчик перемещения (тензодатчик), объединенный с датчиками температуры и влажности, имеющий возможность дистанционной отправки данных в режиме реального времени. Электронные средства для наблюдения за трещинами пока не получили широкого распространения в практике эксплуатации зданий и вряд ли их удастся встретить в доступных местах на фасадах зданий. Но в перспективе они займут значительное место в процентах наблюдения за деформациями зданий, особенно там, где требуется постоянный оперативный контроль, с высокими требованиями к точности получаемых данных. Например, контроль предаварийных ситуаций и постоянный мониторинг за технически сложными сооружениями.



Рисунок 4.11 – Графические способы наблюдения

Графические способы наблюдения могут хорошо дополнять наблюдения при помощи маяков, а могут использоваться независимо (рисунок 4.11). Приведем четыре наиболее полезных способа:

1. В отечественной технической литературе рекомендуется отмечать место окончания трещины штрихом на стене и подписывать дату нанесения отметки. Эта достаточно полезная мера, которая позволяет следить за распространением трещины. При небольшой протяженности трещины и малой ширине раскрытия, либо при ее поверхностном развитии, этой отметки может быть достаточно для ведения наблюдений и установка маяка не потребуется.

2. Иногда место замеров ширины раскрытия трещины просто отмечают штрихом и ставят номер точки наблюдений. При ровных краях трещины, позволяющих производить замеры, такой способ может быть допустим. В других случаях он не рекомендуется. При таком способе всегда остается вероятность повреждения края трещины в месте выполнения измерений, что при последующих замерах трудно выявить.

3. Есть более продвинутый вариант нанесения штрихов на места замеров. Для выполнения наблюдений проводят две взаимно перпендикулярные линии (при помощи угольника), пересекающие трещину. Дальнейшие замеры смещения линий позволяют отследить изменения как по вертикали, так и по горизонтали. Также можно проводить одну из линий горизонтально (по уровню) или с углом 45 к горизонтали для отслеживания крена. Удобно совмещать этот способ с наблюдениями по трем точкам – они закрепляются в вершинах нарисованного угла.

4. При наличии сетки трещин может быть удобен вариант, при котором вдоль всех трещин проводят линии и их протяженность. При дальнейшем развитии трещин появляются участки, не отмеченные линиями, что позволяет судить о продолжающихся процессах деформаций.

5. Кроме того, все маяки и другие приспособления для наблюдения деформаций должны нумероваться для их легкой идентификации при описании в технической документации. Проставляется дата установки маяка и наносится дополнительная информация об организации, которая ведет наблюдение, например, контактные телефоны для оперативной связи. Полезно размещать таблички и другие информационные материалы, которые предупреждают о необходимости сохранения маяков и информируют о факте ведения наблюдений за зданием [78].

4.3 Определение горизонтального смещения зданий с использованием наземного лазерного сканирования

Из опыта строительства зданий и сооружений считается, что трещина – это один из важных факторов, влияющих на несущие конструкции. Появление трещин на стенах здания и фундамента является первым признаком опасности и причиной деформационных процессов. Трещины в стенах зданий является основным диагностическим признаком осадок фундаментов. Процесс осадок фундаментов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния конструкции здания, к повреждению стен и носит неравномерный характер. С возникновением трещин на стенах и фундаментах здания конструктивная надежность понижается, и соответственно ухудшаются эксплуатационные

качества сооружения. Трещинообразования в стенах могут появляться и от других причин, не зависящих от состояния оснований и фундаментов. Считаем, что при эксплуатации строительных объектов необходимо вести геодезические наблюдения, устанавливать причины образования трещин для принятия мер безопасности и сохранности здания [79, 80].

Объектом проведения геодезического мониторинга является главный учебный корпус Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева. Главный учебный корпус КазНТУ имени К.И.Сатпаева начали строить с 1979 года по проекту ГИПРОВУЗ и был сдан в эксплуатацию в 1988 году. Геодезические исследования за деформационными процессами проводились до 1991 года и в дальнейшем они не проводились. В 2011 году к главному учебному корпусу сделали пристройку двухэтажного здания со стороны улицы Байтурсынова для приемной комиссии. В результате проведения строительства и специальных мероприятий по инженерной защите зданий проводились техническая диагностика и геодезические наблюдения [83]. Из научной нормативной литературы обязательным условием является диагностика технического состояния здания, определение геометрических характеристик и исследование основания здания и деформаций земной поверхности вокруг территории ГУКа [79-81].

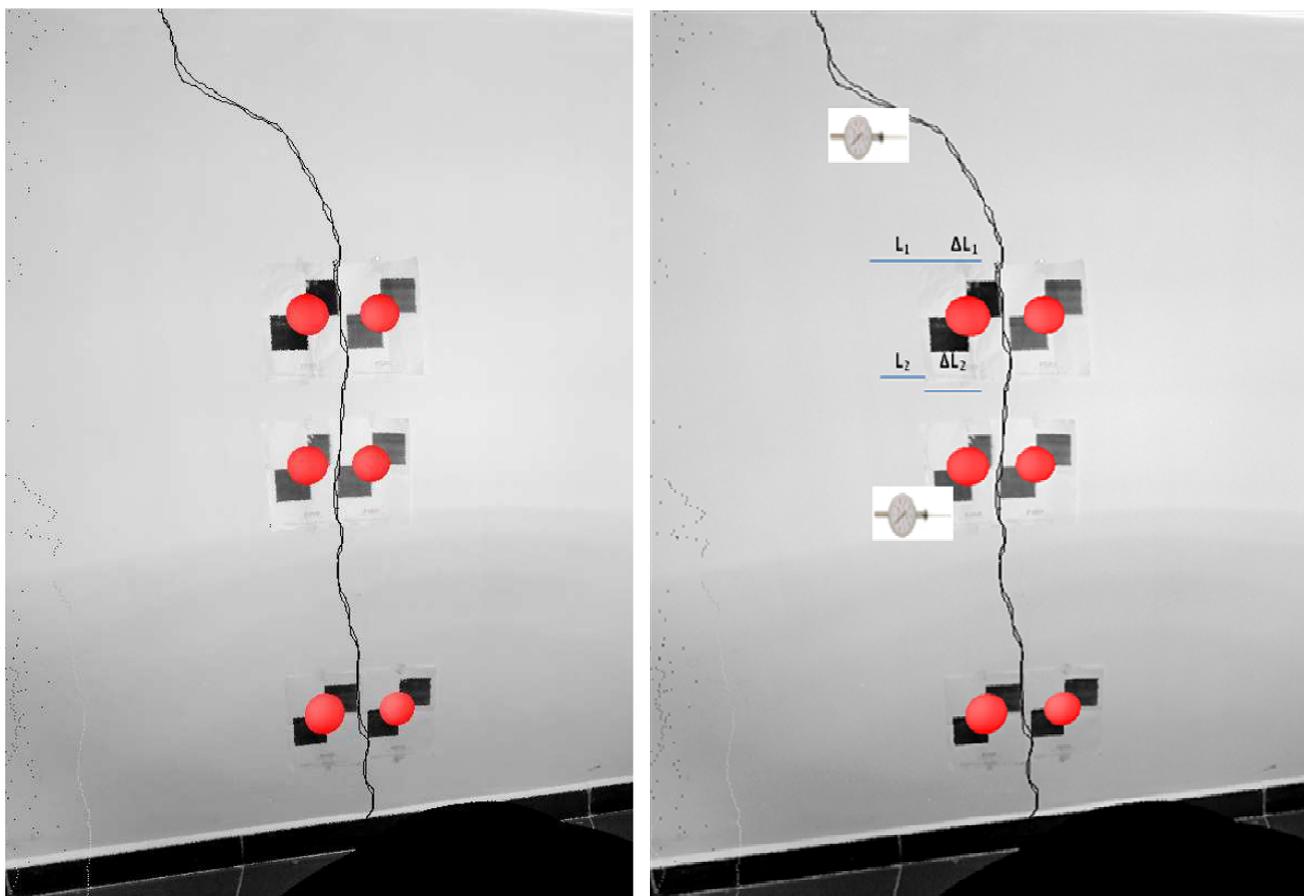


Рисунок 4.12 – Наблюдение за трещинами в ГУКе КазНТУ

В 2012 году была произведена рекогносцировка, где обнаружены трещины в несущих стенах на каждом этаже посередине данного здания. Для определения геометрических параметров трещин, нами предложена методика проведения геодезических измерений для контроля и развития деформаций. На полу на месте соединения плит установлена геодезическая марка для центрирования прибора. Геодезические измерения за геометрическими параметрами трещин использован 3D наземный лазерный сканер фирмы FARO, точность измерения которых отвечает требованиям инструкций. Цикл геодезических измерений проводились через каждые три месяца или поквартально. В результате измерения наземным лазерным сканером были получены облака точек, и обработка этих сканов была проведена с помощью программного продукта SiRailScan.

По результатам определения координат положения марок были установлены миллиметровые их отклонения, которые приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Координаты марок по периодам геодезических наблюдений

№	20.03.2012	25.06.2012	20.09.2012	27.12.2012	18.03.2013	20.06.2014	20.09.2014
X1	0,569967	0,561067	0,562967	0,563067	0,564067	0,564067	0,564067
Y1	0,448296	0,449296	0,450296	0,451296	0,452296	0,452296	0,452296
X2	0,641868	0,642868	0,643868	0,644868	0,645868	0,645868	0,645868
Y2	0,290339	0,291339	0,292339	0,293339	0,294339	0,294339	0,294339
X3	0,621663	0,622663	0,623663	0,624663	0,625663	0,625663	0,625663
Y3	0,491435	0,492435	0,493435	0,494435	0,495435	0,495435	0,495435
X4	0,634391	0,635391	0,636391	0,637391	0,638391	0,638391	0,638391
Y4	0,323339	0,324339	0,325339	0,326339	0,327339	0,327339	0,327339
X5	0,493326	0,494326	0,495326	0,496326	0,497326	0,497326	0,497326
Y5	0,408751	0,409751	0,410751	0,411751	0,412751	0,412751	0,412751
X6	0,647956	0,648956	0,649956	0,650956	0,651956	0,651956	0,651956
Y6	0,280258	0,281258	0,282258	0,283258	0,284258	0,284258	0,284258



Рисунок 4.13 – Графическое изображение координат

При этом процесс деформационных проявлений проводили с учетом следующих направлений:

- когда деформационные процессы протекают на протяжении определенного отрезка времени и в конкретной размерности;

-установление ожидаемой вероятности протекающего процесса, которая не должна выходить за допустимые пределы;

- определение срока продолжительности исследуемого процесса и класса сложности деформации и перемещений.

В проекте «Положение о геодезической службе и организации геодезических работ в строительстве» (РДС РК 1.03-XX-20XX и в других трудах) четко определены основные направления по проведению геодезического мониторинга за перемещениями и деформациями зданий и сооружений объектов [79-81].

Развитие трещинообразования в стенах здания происходят из-за прочностных свойств, стеновых материалов, срока эксплуатации и при нормальных условиях носит сложный или переменный характер.

Известно, что геодезический контроль над деформационными процессами состояния зданий или сооружений должны быть достоверными и важно получить сведения максимально быстро и в достаточном объеме для уравнильных расчетов и по определению вектора воздействия трещин.

Геодезический контроль над деформационными процессами при эксплуатации зданий осуществляли в следующей последовательности (рисунок 4.14).



Рисунок 4.14 – Управленческое решение по геодезическому контролю над деформацией здания

Таким образом, в результате проведенных геодезических наблюдений на каждом этаже установлено, что деформационный шов проходит в середине здания в местах трещинообразования. По высотным отметкам, полученных в результате геодезических измерений определена величина осадки, которая колеблется в пределах от 2 до 4 мм в горизонтальной плоскости [82, 90].

4.4 Прогнозирование деформаций зданий и сооружений по результатам геодезических наблюдений

Условием всякого прогнозирования является знание закономерностей происходящих процессов в результате проведения специальных наблюдений. Из опыта научных исследований при прогнозировании важно не только иметь информацию, но и уметь с нею работать, для того чтобы определить закономерности изменения изучаемого объекта [84-86]. В геодезической практике прогнозирование за перемещениями и деформациями зданий и сооружений осуществляется на основе системного подхода. Информация, полученная в результате геодезических измерений, позволяют создать информационное поле о прогнозируемом строительном объекте. Для обработки исходных данных и принятия правильного управленческого решения используем способы информационной технологии, которые имеют определенные требования. Эти требования тесно связаны с наблюдаемым процессом за инженерными сооружениями, взаимодействиями с грунтовым основанием, географическим положением и внешней средой. Информационной технологией в настоящее время считаются результаты геодезических наблюдений за перемещениями и деформациями сооружений в процессе их строительства и эксплуатации. Прогнозирования изменений и проявлений причинно-следственных связей по результатам геодезических наблюдений является важным условием для установления их закономерностей. Различные проявления закономерностей по данным информационной технологии (геодезические наблюдения) позволяют сформировать оптимальное информационное поле прогнозируемого строительного объекта.

При этом основными задачами по наблюдению за деформациями зданий и сооружений, которые выражаются в виде их вертикальных и горизонтальных перемещениях и крена фундамента, приведены на рисунок 4.15:



Рисунок 4.15 – Основные задачи геодезического мониторинга за деформациями зданий и сооружений

В проекте «Положение о геодезической службе и организации геодезических работ в строительстве» (РДС РК 1.03-11-2014) четко определены основные направления по проведению геодезического мониторинга за перемещениями и деформациями зданий и сооружений объектов [87]. Считаем, что такой подход, позволит вести за состоянием зданий и сооружений геодезический контроль и установить предельно допустимые величины деформаций с учетом грунтов оснований и типов зданий и сооружений.

Геодезические наблюдения за перемещениями и осадками зданий проводились с целью выявления факторов, влияющих на причины возникновения и степень опасности деформаций сооружения (рисунок 4.17, 4.18).



Рисунок 4.16 – Фрагмент проявления трещин



Рисунок 4.17 – Фрагмент увеличения трещин по вертикали

Возникшие на зданиях трещины, их пространственные изменения можно проанализировать, имея данные о назначении возводимого здания с краткой инженерно-геологической и гидрологической характеристики территории строительства зданий и сооружений. Анализ конструктивных особенностей и основных параметров, глубины заложения и тип фундаментов. При проведении геодезических наблюдений необходимо определить цели и задачи наблюдений. Важным условием является точность результатов измерений деформаций и перемещений.

Отсюда видно, что на принцип прогнозирования состояния зданий и сооружений влияют различные факторы – совокупность имеющийся информации о параметрах, целевая направленность поставленной задачи и рабочий алгоритм.

Сам процесс прогнозирования деформационных проявлений при строительстве и эксплуатации зданий можно разделить на три направления или этапа:

- когда деформационные процессы протекают на протяжении отрезка времени в конкретной размерности;
- установления ожидаемой вероятности протекающего процесса, которая не должна выходить за допустимые пределы;
- определение срока продолжительности исследуемого процесса и класса сложности деформации и перемещений.

При определении этапов прогнозирования и целевой направленности выбирают методы или математический аппарат, которые дадут достоверные результаты.

Из проведенных натурных наблюдений за параметрами трещин здания или расчетным путем можно определить следующую аналитическую зависимость

$$U(X, t_{n+j}) = f[U(X, t_i)] \quad (4.1)$$

где $U(X_1, X_2, X_3 \dots X_n, t_i)$; $i = 0, 1, 2, 3 \dots n$; $U(X_1, X_2, X_3 \dots X_n, t_{n+j})$; $j = 1, 2, 3 \dots m$ – изменение параметров трещин от осевой линии здания по времени t .

При выполнении расчета по второму этапу вероятностного решения получаем следующую зависимость

$$P_u(t_{n+j}) = \varphi_1[f_{t_i}(X_1), f_{t_i}(X_2), K, f_{t_i}(X_k)] = \varphi_2[f_{t_i}(U)], \quad (4.2)$$

где $P_u(t_{n+j})$ – прогнозируемая вероятность; $f_{t_i}(U)$, $f_{t_i}(X)$ – плотности распределения вероятностей значения процесса U и его координат X_i , j_1, j_2 – соответствующие зависимости, выражающие характер связей.

Таким образом, сущность применения прямого способа прогнозирования заключается в том, чтобы по данным геодезических измерений параметров изменения трещин $U(X_1, X_2, X_3 \dots X_n, t_i)$; $i = 0, 1, 2, 3 \dots n$; $U(X_1, X_2, X_3 \dots X_n, t_{n+j})$; $j = 1, 2, 3 \dots m$ определить аналитические зависимости по

которым принять решения о продолжительности исследуемого процесса и класса сложности деформации [91].

4.6 Вывод по разделу

1. Из анализа проведения инструментальных наблюдений за изменениями деформированного состояния надземных конструкции нами использован наземный лазерный сканер, которое обеспечивает плотности точек для получения достоверной информации.

2. Предложена методика обработки полученных данных плоскости наземным лазерным сканером при помощи способа главных компонент.

3. Проведен анализ влияния угла наклона лазерного луча на получение лазерных пятен двумя способами: на измеряемом объекте, предложена математическая модель в зависимости от угла падения лазерного луча.

4. Проведен анализ причин и видов образования трещин на стенах зданий и разные способы геомониторинга за проявлениями трещин, для контроля деформаций здания.

5. Установлен процесс определения напряженно-деформированного состояния по выявленным трещинам при помощи способа расположения маяков, для определения координат с учетом цикла геодезических измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных в диссертационной работе теоретических исследований и практических измерений разработаны технологические схемы применения современных высокоточных геодезических способов и средств измерений для определения мониторинга и деформаций зданий и сооружений.

В диссертационной работе изложены, научно обоснованы технические разработки по совершенствованию мониторинговых исследований деформаций инженерных сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. Выполнен комплекс и цикл геодезических измерений, предложена схема расположения маяков по обе стороны трещин, для определения геометрических параметров трещинообразования. Предложенные разработки позволяют создать базу геодезической информации, для достоверной точности положения координат марок с целью обеспечения безопасности эксплуатируемого здания.

Исходя из рассмотренного анализа современного состояния вопроса, технология определения осадок и деформаций инженерных сооружений и оборудования, произведем следующие основные выводы:

1. В течение последних 25 лет наблюдается значительный прогресс в разработке новых геодезических методов и технологий для мониторинга и анализа деформаций инженерных сооружений и обработке методов для оптимального анализа и прогнозирования деформаций. Геометрический и физический анализ деформаций инженерных сооружений стали предметом интенсивных исследований многих профессионалов международного уровня.

2. Существующий опыт использования геометрических методов анализа по-прежнему реализуется по полностью, в том числе анализ геодезических сетей мониторинга. Поэтому геодезические методы нуждаются в применении для определения структурных деформаций обычных сооружений и усовершенствования процесса измерения.

3. Последние достижения науки и техники и появление в геодезическом производстве безотражательных электронных тахеометров и наземных лазерных сканеров требуют разработки и совершенствования технологий и методик выполнения измерений при определении деформации инженерных сооружений.

Таким образом, нами поставлена следующая цель - мониторинговые исследования деформаций инженерных сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи.

1. Исследовать основные технические характеристики электронного тахеометра в следующем объеме:

- исследовать влияния ошибок измерения углов и расстояния на точность определения координат электронным тахеометром;
- исследовать влияния угла наклона, цвета и типа отражающих поверхностей на точность измерений безотражательным тахеометром;

2. Выполнить исследование технические характеристики НЛС посредством исследования:

– влияния угла падения лазерного луча на точность измерений наземным лазерным сканером;

– методики усовершенствования наблюдений НЛС при помощи метода главных компонент;

3. Совершенствовать технологию определения деформаций инженерных сооружений посредством:

– разработки методики определения координат точек с помощью несколько тахеометров;

– разработки программы наблюдений для определения деформации наружной и внутренней поверхностей сооружений с применением тахеометра и НЛС;

– разработки методики для определения величин прогиба строительных конструкций.

4. Анализ и моделирование результатов измерений при определении деформаций инженерных сооружений посредством:

– построения кинематической модели процесса деформаций по оси фундаментов с целью выполнения прогнозирования;

– анализа результатов наблюдений за деформацией главного учебного корпуса КазНТУ.

Таким образом, в результате проведенных геодезических наблюдений на каждом этаже установлено, что деформационный шов проходит в середине здания в местах трещинообразования. По высотным отметкам, полученных в результате геодезических измерений определена величина осадки, которая колеблется в пределах от 2 до 4 мм в горизонтальной плоскости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Закон Республики Казахстан. О геодезии и картографии: принятый 3 июля 2002 года № 332 Казахская правда от 12 июля 2002 г. – № 151; Ведомости Парламента Республики Казахстан. 2002.- № 13-14, ст. 141.
- 2 Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана природной среды. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 2007. – 347 с.
- 3 Глущенко В.В., Глущенко И.И. Разработка управленческого решения. Прогнозирование-планирование. Теория проектирования экспериментов. - Железнодорожный: ТОО НПЦ «Крылья».
- 4 Козлов А.В., Рак Н.Г, Шишкова Г.А. Разработка управленческих решений. - М.: КИУЭ, 2000.
- 5 Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975. – 142 с.
- 6 Мониторинг деформационных процессов строительных и инженерных объектов [Электронный ресурс]. – Центр «Геодинамика». МИИГАиК, Режим доступа: <http://www.geodinamika.ru/main/engineer/deformation-monitoring/>.
- 7 Гуляев Ю.П., Каленицкий А.И. Задачи экогеологического и деформационного мониторинга / /Геодезия и картография. – 1996. – № 3. – С. 49–51.
- 8 Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцов А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений – М.: Недра, 1977. – 152 с.
- 9 Ogaja, C. A. framework in support of structural monitoring by real time kinematic GPS and multi-sensor data//Ph.D. thesis. – University of New South Wales. – Sydney – Australia: 2002. – 190 pp.
- 10 Зайцев А.К., Марфено С.В. и др. Геодезические методы исследования деформаций сооружений– М.: Недра, 1991. – 272с.
- 11 Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений – М.: Недра, 1980–260 с.
- 12 Ключин Е.Б., Михелев Д.Ш., Барков Д.П.и др. Практикум по прикладной геодезии: геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений – М.: Недра, 1993.- 275 с.
- 13 Уставич Г.А. Разработка методов, средств и технологий геодезических измерений при монтаже и эксплуатации оборудования инженерных сооружений в условиях влияния возмущающих воздействий: дис. на соиск. учен. степ. Док. техн. наук – Новосибирск: 1992. – 400 с.
- 14 Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Производственное исследование методики диагностики технического состояния зданий и сооружений на основе геодезических измерений//Труды ГГНИ им. Акад. М.Д.Миллионщикова. – Грозный, 2005. – Вып. 5.
- 15 ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 26 с.

- 16 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов [Текст]. – М.: Недра, 1991.- 167 с.
- 17 Асташенков Г.Г. Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования. – М.: Недра, 1986. – 151с.
- 18 Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. – М.: Недра, 1990. – 233с.
- 19 Гилевский Ю.Х. Геодезические наблюдения за деформациями зданий и сооружений. Промышленное строительство. - 1988, №3. – С.36-39.
- 20 Жарников В.Б., Нагорный Ю.Н., Ящин В.Я. О состоянии и некоторых перспективных инженерно-геодезических работ по контролю деформаций на промышленных предприятиях: Сб. «Исследования по прикладной геодезии и фотограмметрии». НИИГАиК. – 1986. – С. 116-121.
- 21 Справочник по геодезическим работам в строительном производстве. Под ред. Полищук Ю.В. – М.: Недра, 1990. – 336 с.
- 22 Староверов В.С., Бачишин Б.Д., Пашян Л.С. Нормирование точности разбивочных и монтажных работ при возведении сборных сооружений: Сб. Геодезические работы в строительстве. – Куйбышев: Куйбышевский гос. Ун-т, 1988. – 117 с.
- 23 Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому сооружению и оборудованию промышленных предприятий при их эксплуатации // – Новосибирск: СГГА, 2004.- 376 с.
- 24 Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия: Основанные методы и принципы инженерно-геодезических работ– М.: Недра, 1981.- 438 с.
- 25 Брайт, П. И. Геодезические методы определения деформаций и сооружений – М.: Недра, 1965. – 464 с.
- 26 Большаков, В. Б. Высокоточные геодезические измерения для строительства и монтажа большого серпуховского ускорителя – М.: Недра, 1968.
- 27 Kadir A. Preliminary analysis of precise levelling network for the southern peninsular Malaysia Samad Abu, S. Ses.–1997.–Режим доступа: http://eprints.utm.my/4855/1/preliminary_analysis.pdf.
- 28 Малиновский, А. Л. Разработка технологий геодезического обеспечения эксплуатации основного энергетического оборудования (на примере ленинградской и чернобыльской АЭС): дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Новосибирск, 1998. – 199 с.
- 29 Уставич Г.А., Середович В. А. Технический отчет по геодезическим работам – определение осадок фундаментов здания главного корпуса, турбоагрегатов, оборудование котельного цеха и геометрических параметров подкрановых путей КЦ и ТЦ Томской ГРЭС-2– Новосибирск, 2004. – 69 с.
- 30 Уставич Г.А. Влияние внешних факторов при наблюдениях за оборудованием Геодезия и картография.-1979.-№5.- С. 31-33.

- 31 Кирьянов Ю.В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании. Геодезия и картография. – 1987.- №3. – С.12-16.
- 32 Нестеренок В.Ф. Виброизоляторы для геодезических работ. Геодезия и картография. - 1987. - №12. - С. 38-40.
- 33 Нестеренок В.Ф. Приближенный анализ влияния вибрации на устойчивость системы штатив-геодезический прибор. Изв. Вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. - 1985. - №1. - С. 69-76.
- 34 Соколов Ю.Г. О демпфировании колебаний зрительных труб прецизионных нивелиров. Сб. науч. Тр. Томского инженерно- строит. инс.- 1971. - №17. - С. 75-78.
- 35 Уставич Г.А., Жуков Б.Н., Малиновский А.Л. и др. Исследование деформаций верхнего строения фундаментов турбоагрегатов. Геодезия и картография. - 1978. - №9. - С. 34-37.
- 36 Шаульский В.Ф. Методика геометрического нивелирования в условиях низкочастотной вибрации. Межвуз. сб. «Применение геодезических методов при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений». 1979. - Т.7. - С.123-128.
- 37 Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. – М.: ЦНИИСК, 1987. – 62 с.
- 38 Асташенков Г.Г. Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования. – М.: Недра, 1986.-150 с.
- 39 Афанасьев В.А., Усов В.С. Контроль прямолинейности и сносности в инженерной геодезии – М.: Недра, 1973.
- 40 Ямбаев Х.К. Высокоточные створные измерения. – М.: Недра, 1978. – 224 с.
- 41 Геодезические методы определения деформаций сооружений. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.drillings.ru/geodezmetodi?razdel=1&object=4>.
- 42 Донских И.Е. Створный метод измерения смещений сооружений. – М.: Недра, 1974. – 192 с.
- 43 Наблюдения за кренами, трещинами, оползнями. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.drillings.ru/geometodynab>.
- 44 http://www.geo-mir.ru/product_842.html?PHPSESSID=7aiuf3gurabolj79gagvealbh7.
- 45 http://www.geo-ir.ru/product_954.html?PHPSESSID=4hgi7ja8k51aqaitv2s6q5f5k2
- 46 Allan A.L. The Principles of Theodolite Intersection Systems Survey Review, 1988. - . 226-234.
- 47 Behairy A.M. Application of first order design problem to building construction surveying networks//Journal of engineering faculty, Shobra, Zagazig university. – Egypt, 1991. P. 57-68.
- 48 Electronic Digital/Bar-Code Levelling User Manual - Version 2. [Электронный ресурс]. – Louisiana Spatial Reference Center, Louisiana State

University. Baton Rouge. – Louisiana, 2005. – 75 pp. Режим доступа: http://www.ngs.noaa.gov/heightmod/Leveling/Manuals/Bar_Code_Precision_Leveling_v2.pdf.

49 Почему мониторинг?/ Фирма Г.Ф.К. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.gfk-leica.ru/monit/why.htm>.

50 Шевченко Е.Н., Кучук В.Ф., Дуброва Н.А. Наземная лазерная сканирующая система RIEGL LMS-Z420i – новейший метод дистанционного зондирования // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2008. - № 2. – С. 125-131.

51 Комиссаров А.В. Методика исследования метрических характеристик сканов [Текст]: дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук.– Новосибирск, 2007. – 201 с.

52 Reshetyuk Y. Calibration of terrestrial laser scanners for the purposes of geodetic engineering // 3rd IAG - 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24. – 2006. - 10 pp.

53 Середович А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазовых промыслов средствами наземного лазерного сканирования [Текст]: дис. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2007. – 165 с.

54 Ганьшин В.Н., Стороженко А.Ф., Буденков Н.А. Геодезические методы измерения вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов. – 2-е издание перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 190 с.

55 Сухов А.Н., Беликов А.Б., Данилович А.И., Прокопович В.А. Геодезические разбивочные сети при строительстве АЭС. Геодезия и картография. – 1985. - №11.

56 Электронные тахеометры компании «LEICA» [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.leica-geosystems.kz/ru/index.htm>.

57 <http://www.faro.com/en-us/products/3d-surveying/faro-focus3d/overview>.

58 Tsakiri M., Lichti D., Pfeifer N. Terrestrial laser scanning for deformation monitoring//3rd IAG - 12th FIG Symposium. – Baden, 2006. – 10 pp.

59 Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – М.: ФГУП; «Картгеоцентр». - ГОУ ВПО «СГГА». – 2005. - Т.1. - 334 с.

60 Maciaszek J., Szewczyk J. Use of satellite GPS technique in the measurements of deformations in the areas of mining exploitation//10th Fig intern. symp. on deformation measurements. – USA, 2001. - P. 61-70.

61 Wong K., Man K., Chan W. Monitoring Hong Kong's// GPS World, Vol. 12, No. 7. - 2001. – P. 10-17.

62 <http://www.intergeo.ru/index.php?rid=5&id=4>.

63 Luccio M. Мониторинг деформации больших сооружений с помощью GPS//GPS World.-USA, 2002.–Режим доступа: http://www.navgeocom.ru/projects/monitor_gps/.

64 Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Лунева О.В., Даутов А.Н., Чернова О.С. Мониторинг смещений земной поверхности на территории юго-востока

республики Татарстан по данным космических радарных съемок Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 14, №1(9), 2012.

65 Мансуров В.А., Сатов М.Ж., Жантуев Р.Т., Кантемиров Ю.И. Космический радарный мониторинг смещений земной поверхности и сооружений на Жезказганском месторождении меди GEOMATICS №1'2012.

66 «Казахстанская правда» от 12 июля 2002 года N 151; Ведомости Парламента Республики Казахстан, 2002 г., N 13-14, ст. 141.

67 «Инженерная геодезия» Ключин Е. Б., Киселев М. И., Михелев Д. Ш., Фельдман В. Д. Учебник для вузов. Издательство: Высшая школа, 2002 г., 464 стр.

68 «Инженерная геодезия» Куштин И. Ф., Куштин В. И. Учебник. Ростов-на-Дону: Издательство "Феникс", 2002. - 416 с.

69 «Инженерная геодезия» А. М. Зеленский, Г. В. Фолитар. Издательство: Брестский государственный технический университет БГТУ, 2006 г., 148 стр.

70 «Инженерная геодезия» Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш., Михелев, В. Д. Фельдман. Издательство: Академия, 2008 г., 480 стр.

71 <http://geo-book.ru/ig.htm>.

72 <http://www.kodges.ru/33819-inzhenernaja-geodezija.html>.

73 «Инженерная геодезия» Г. А. Федотов. Издательство: Высшая школа, 2009 г.

74 Отчет об изучении зоны разлома и предварительной оценке инженерно-геологических условий на площадке строительства объектов различного функционального назначения для КазНТУ. Алматы: «КАЗГИИЗ» 2004.

75 Reshetyuk Y. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning// Ph.D. thesis in Geodesy. – Royal institute of technology. – Stockholm, 2009. – pp. 174.

76 Метод главных компонент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Proper_orthogonal_decomposition.

77 <http://www.georec.spb.ru/journals/03/8/8.htm>.

78 <http://stroy-profi.info/archive/11120>.

79 Положение о геодезической службе и организации геодезических работ в строительстве. РДС РК 1.03.-03-2013, Астана 2013.

80 СНиП РК 2.03-30-2003. Строительство в сейсмических районах. Алматы 2006.

81 http://www.ngs.noaa.gov/heightmod/Leveling/Manuals/Bar_Code_Precision_Leveling_v2.pdf.

82 Электронные тахеометры компании «LEICA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.leica-geosystems.kz/ru/index.htm>.

- 83 Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Производственное исследование методики диагностики технического состояния зданий и сооружений на основе геодезических измерений. Труды ГГНИ им. Акад. М.Д.Миллионщикова. – Грозный, 2005. – Выпуск 5.
- 84 Методология комплексного прогнозирования отрасли.- Л.: Недра,1984.
- 85 Садовский Н.В. Основания общей теории систем: логико-методологический анализ.- М.: Наука, 1974.
- 86 Глущенко В.В. Диагностико-прогнозирующие системы управления информационными процессами в сетевых объектах.- СПб.: СПГУВК, 1999.
- 87 Положение о геодезической службе и организации геодезических работ в строительстве. РДС РК 1.03.-03-2013, Астана 2013.
- 88 Имансакипова Б.Б., Мухамедгалиев А.Ф., Иво Милев, Байгурин Ж.Д. Using radar interferometer detection progress surface 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, Journal, на базе Tomson Reuters, Albena Resort, Bulgaria.
- 89 Имансакипова Б.Б., Байгурин Ж.Д., Иво Милев, Милетенко И.В., Солтабаева С.Т. Causes of strain of buildings and structures in areas of abnormal stress and surveillance terrestrial laser scanners Life Science Journal, на базе Tomson Reuters, 2014.
- 90 Имансакипова Б.Б., Байгурин Ж.Д., Имансакипова Н.Б., Батталова А. К вопросу определения напряженно-деформированного состояния по выявленным трещинам Горный журнал Казахстана №10 – Алматы, 2014.
- 91 Имансакипова Б.Б., Байгурин Ж.Д., Сарыбаев О.А., Имансакипова Н.Б. Прогнозирование деформаций зданий и сооружений по результатам геодезических наблюдений Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение». – Алматы, 2014.
- 92 Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: СГГА, 2009.
- 93 Золотова Е.В., Скогорева Р.Н. Геодезия с основами кадастра. М.: 2012.
- 94 Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. М.: Недра, 1980.
- 95 Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975.
- 96 Бейсебаев А.М., Крупник Л.А., Сандибеков М.Н. Как подготовить и защитить диссертацию. Алматы, 1998.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Журнал нивелирного хода

N станции	Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейке			разница по сторону рейка.	Горизонт инстр.	Отметки
			задние	передние			
1	2	3	4	5	6	10	11
R1							839,353
I	1	чер.	1,225		4,802	840,578	839,353
		кра.	6,027				
	2	кра.		5,217	4,798		840,163
		чер.		0,415			
II	2	чер.	1,017		4,801	841,18	840,163
		кра.					
	3	кра.			4,799		840,850
		чер.		0,330			
III	3	чер.	1,111		4,802	841,961	840,850
		кра.					
	4	кра.			4,800		841,420
		чер.		0,541			
IV	4	чер.	0,651		4,799	842,071	841,420
		кра.					
	5	кра.			4,801		841,564
		чер.		0,507			
V	5	чер.		0,451	4,798		841,620
		кра.					
	I-1	кра.			4,800		841,601
		чер.		0,470			
V	I-2	чер.		0,500	4,801		841,571
		кра.					
	I-3	кра.			4,799		841,597
		чер.		0,474			
V	I-4	чер.		0,469	4,798		841,602
		кра.					
	I-5	кра.			4,802		841,594
		чер.		0,477			
VI	I-4	чер.	1,178		4,801	842,78	841,602
		кра.					
	6	кра.			4,800		842,320
		чер.		0,460			
VII	6	чер.	0,850		4,798	843,17	842,320
		кра.					
	7	кра.			4,800		842,985
		чер.		0,185			
VIII	7	чер.	1,546		4,801	844,53	842,985
		кра.					
	8	кра.			4,799		844,131
		чер.		0,400			

IX	8	чер.	1,591		4,798	846,122	844,531
		кра.					
	9	кра.			4,802		
		чер.		0,160			
X	9	чер.	1,622		4,801	847,584	845,962
		кра.					
	II-1	кра.			4,799		
		чер.		1,200			
X	II-2	чер.		1,187	4,802		846,397
		кра.					
	II-3	кра.			4,799		
		чер.		1,177			
X	II-4	чер.		1,182	4,801		846,402
		кра.					
	II-5	кра.			4,801		
		чер.		1,177			
XI	II-1	чер.	1,218		4,799	847,602	846,384
		кра.					
	II-6	кра.			4,802		
		чер.		1,230			
XII	II-6	чер.	1,189		4,800	847,561	846,372
		кра.					
	II-7	кра.			4,801		
		чер.		1,200			
XIII	II-7	чер.	1,293		4,798	847,654	846,361
		кра.					
	II-8	кра.			4,798		
		чер.		1,256			
XIII	II-9	чер.		1,246	4,802		846,408
		кра.					
	II-10	кра.			4,799		
		чер.		1,243			
XIV	II-8	чер.	1,467		4,800	847,865	846,398
		кра.					
	10	кра.			4,800		
		чер.		0,301			
XV	10	чер.	1,997		4,798	849,561	847,564
		кра.					
	11	кра.			4,798		
		чер.		0,251			
XVI	11	чер.	1,605		4,800	850,915	849,310
		кра.					
	III-1	кра.			4,802		
		чер.		0,934			
XVI	III-2	чер.		0,919	4,801		849,996
		кра.					
	III-3	кра.			4,802		
		чер.		0,909			
XVII	III-1	чер.	0,940		4,802	850,921	849,981

		кра.					
	III-4	кра.					
		чер.		0,950	4,798		849,971
XVIII	III-4	чер.	0,903			850,874	849,971
		кра.			4,798		
	III-5	кра.					
		чер.		0,913	4,801		849,961
XVIII	III-6	чер.		0,876			849,998
		кра.			4,802		
	III-7	кра.					
		чер.		0,875	4,801		849,999
XVIII	III-8	чер.		0,867			850,007
		кра.			4,798		
	12	кра.					
		чер.		0,334	4,798		850,540
XIX	12	чер.	2,330			852,87	850,540
		кра.			4,802		
	13	кра.					
		чер.		0,200	4,801		852,670
XX	13	чер.	1,715			854,385	852,670
		кра.			4,799		
	IV-1	кра.					
		чер.		0,777	4,799		853,608
XX	IV-2	чер.		0,774			853,611
		кра.			4,802		
	IV-3	кра.					
		чер.		0,768	4,801		853,617
XX	IV-4	чер.		0,784			853,601
		кра.			4,799		
	IV-5	кра.					
		чер.		0,791	4,799		853,594
XXI	IV-5	чер.	0,791			854,385	853,594
		кра.			4,801		
	IV-6	кра.					
		чер.		0,804	4,801		853,581
XXII	IV-6	чер.	0,836			854,417	853,581
		кра.			4,799		
	IV-7	кра.					
		чер.		0,853	4,798		853,564
XXIII	IV-7	чер.	1,197			854,761	853,564
		кра.			4,798		
	IV-8	кра.					
		чер.		1,189	4,800		853,572
XXIV	IV-8	чер.	0,939			854,51	853,572
		кра.			4,800		
	IV-9	кра.					
		чер.		0,920	4,798		853,591
XXIV	IV-10	чер.		0,909	4,799		853,602

		кра.					
	IV-11	кра.					
		чер.		0,900	4,802		853,611
XXIV	IV-12	чер.		0,910			853,601
		кра.			4,801		
	14	кра.					
		чер.		0,204	4,799		854,307
XXV	14	чер.	1,884				854,307
		кра.			4,800		
	15	кра.					
		чер.		0,187	4,801		856,004
XXVI	15	чер.	2,236				856,004
		кра.			4,802		
	V-1	кра.					
		чер.		1,050	4,802		857,190
XXVI	V-2	чер.		1,036			857,204
		кра.			4,799		
	V-3	кра.					
		чер.		1,029	4,801		857,211
XXVI	V-4	чер.		1,039			857,201
		кра.			4,799		
	V-5	кра.					
		чер.		1,052	4,798		857,188
XXVII	V-5	чер.	1,027				857,188
		кра.			4,800		
	V-6	кра.					
		чер.		1,054	4,801		857,161
XXVIII	V-6	чер.	1,160				857,161
		кра.			4,800		
	V-7	кра.					
		чер.		1,164	4,799		857,157
XXIX	V-7	чер.	1,044				857,157
		кра.			4,798		
	V-8	кра.					
		чер.		1,017	4,798		857,184
XXIX	V-9	чер.		1,005			857,196
		кра.			4,801		
	V-10	кра.					
		чер.		0,997	4,802		857,204
XXIX	V-11	чер.		0,993			857,208
		кра.			4,798		
	16	кра.					
		чер.		0,093	4,798		858,108
XXX	16	чер.	1,462				858,108
		кра.			4,801		
	17	кра.					
		чер.		0,075	4,801		859,495
XXXI	17	чер.	2,475		4,798	861,97	859,495

		кра.					
	VI-1	кра.					
		чер.		1,191	4,799		860,779
XXXi	VI-2	чер.		1,181			860,789
		кра.			4,802		
	VI-3	кра.					
		чер.		1,163	4,802		860,807
XXXI	VI-4	чер.		1,169			860,801
		кра.			4,801		
	VI-5	кра.					
		чер.		1,199	4,798		860,771
XXXII	VI-5	чер.	1,399				860,771
		кра.			4,800	862,17	
	VI-6	кра.					
		чер.		1,411	4,802		860,759
XXXIII	VI-6	чер.	1,451				860,759
		кра.			4,799	862,21	
	VI-7	кра.					
		чер.		1,446	4,799		860,764
XXXIV	VI-7	чер.	1,384				860,764
		кра.			4,800	862,148	
	VI-8	кра.					
		чер.		1,361	4,801		860,787
XXXIV	VI-9	чер.		1,357			860,791
		кра.			4,801		
	VI-10	кра.					
		чер.		1,344	4,798		860,804
XXXIV	VI-11	чер.		1,337			860,811
		кра.			4,799		
	18	кра.					
		чер.		0,278	4,801		861,870
XXXV	18	чер.	1,470				861,870
		кра.			4,802	863,34	
	19	кра.					
		чер.		0,170	4,798		863,170
XXXVI	19	чер.	1,915				863,170
		кра.			4,799	865,085	
	VII-1	кра.					
		чер.		0,698	4,799		864,387
XXXVI	VII-2	чер.		0,686			864,399
		кра.			4,802		
	VII-3	кра.					
		чер.		0,684	4,010		864,401
XXXVI	VII-4	чер.		0,678			864,407
		кра.			4,800		
	VII-5	кра.					
		чер.		0,712	4,798		864,373
XXXVII	VII-5	чер.	0,802		4,799	865,175	864,373

		кра.					
	VII-6	кра.					
		чер.		0,810	4,800		864,365
XXXVIII	VII-6	чер.	0,749			865,114	864,365
		кра.			4,800		
	VII-7	кра.					
		чер.		0,727	4,801		864,387
XXXVIII	VII-8	чер.		0,719			864,395
		кра.			4,802		
	VII-9	кра.					
		чер.		0,709	4,802		864,405
XXXVIII	VII-10	чер.		0,705			864,409
		кра.			4,799		
	VII-11	кра.					
		чер.		0,106	4,799		865,008
XXXIX	VII-12	чер.	1,962			867,042	865,080
		кра.			4,801		
	20	кра.					
		чер.		0,162	4,802		866,880
XL	20	чер.	1,870			868,75	866,880
		кра.			4,801		
	21	кра.					
		чер.		0,762	4,798		867,988
XL	21	чер.		0,754			867,996
		кра.			4,798		
	VIII-1	кра.					
		чер.		0,739	4,800		868,011
XL	VIII-2	чер.		0,748			868,002
		кра.			4,801		
	VIII-3	кра.					
		чер.		0,775	4,801		867,975
XLI	VIII-3	чер.	1,196			869,171	867,975
		кра.			4,802		
	VIII-4	кра.					
		чер.		1,213	4,800		867,958
XLII	VIII-4	чер.	1,256			869,214	867,958
		кра.			4,798		
	VIII-5	кра.					
		чер.		1,250	4,799		867,964
XLII	VIII-5	чер.		1,250			867,964
		кра.			4,799		
	VIII-6	кра.					
		чер.		1,225	4,801		867,989
XLII	VIII-7	чер.		1,210			868,004
		кра.			4,800		
	VIII-8	кра.					
		чер.		1,203	4,798		868,011
XLII	VII-9	чер.		1,197	4,801		868,017

		кра.					
	22	кра.					
		чер.		0,203	4,801		869,011
XLIII	22	чер.	2,263			871,274	869,011
		кра.			4,798		
	23	кра.				872,914	
		чер.		0,257	4,799		871,017
XLIV	23	чер.	1,897			872,914	871,017
		кра.			4,802		
	IX-1	кра.				871,604	
		чер.		1,322	4,802		871,592
XLIV	IX-2	чер.		1,310		871,611	871,604
		кра.			4,801		
	IX-3	кра.				871,602	
		чер.		1,303	4,798		871,611
XLIV	IX-4	чер.		1,312		871,582	871,602
		кра.			4,800		
	IX-5	кра.				872,901	
		чер.		1,332	4,802		871,582
XLV	IX-5	чер.	1,319			872,901	871,582
		кра.			4,799		
	IX-6	кра.				872,917	
		чер.		1,348	4,799		871,553
XLVI	IX-7	чер.	1,364			872,917	871,553
		кра.			4,800		
	IX-8	кра.				871,561	
		чер.		1,356	4,801		871,561
XLVI	IX-9	чер.		1,333		871,584	871,584
		кра.			4,801		
	IX-10	кра.				871,597	
		чер.		1,320	4,798		871,597
XLVI	IX-11	чер.		1,316		872,714	871,601
		кра.			4,799		
	24	кра.				874,78	
		чер.		0,203	4,801		872,714
XLVII	24	чер.	2,066			874,78	872,714
		кра.			4,802		
	25	кра.				876,114	
		чер.		0,215	4,798		874,565
XLVIII	25	чер.	1,549			876,114	874,565
		кра.			4,799		
	X-1	кра.				875,185	
		чер.		0,929	4,799		875,185
XLVIII	X-2	чер.		0,917		875,197	875,197
		кра.			4,802		
	X-3	кра.				875,204	
		чер.		0,910	4,010		875,204
XLVIII	X-4	чер.		0,913	4,800		875,201

		кра.					
	X-5	кра.			4,798	875,174	
		чер.	0,940				
XLIX	X-5	чер.	1,037		4,799	876,211	875,174
		кра.					
	X-6	кра.			4,800	876,121	875,153
		чер.	1,058				
L	X-6	чер.	0,968		4,800	876,121	875,153
		кра.					
	X-7	кра.			4,801	876,014	875,169
		чер.	0,952				
LI	X-7	чер.	0,845		4,802	876,014	875,169
		кра.					
	X-8	кра.			4,802	876,211	875,187
		чер.	0,827				
LI	X-9	чер.	0,820		4,799	876,211	875,194
		кра.					
	X-10	кра.			4,799	876,211	875,204
		чер.	0,810				

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Исходные тексты программ с использованием программного комплекса
SiRailScan

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-16"?>
<Localization>
  <Product id="SiRailViewer2" version="2.5.4.81"/>
  <language eName="German" lName="Deutsch"/>
  <dialogs>
    <dialog id="1" caption="SiRailViewer 2011">
      <dlgitem id="2" hint="Открыть, открыть файл" caption=""/>
      <dlgitem id="3" hint="Каскадная запись" caption=""/>
      <dlgitem id="4" hint="Горизонтальная" caption=""/>
      <dlgitem id="5" hint="Вертикальная" caption=""/>
      <dlgitem id="6" hint="Тест на столкновение" caption=""/>
      <dlgitem id="7" hint="" caption="длина минимальной трассы:"/>
      <dlgitem id="8" hint="Тест на столкновение" caption=""/>
      <dlgitem id="9" hint="" caption="Station:"/>
      <dlgitem id="10" hint="" caption="В:"/>
      <dlgitem id="11" hint="" caption="L:"/>
      <dlgitem id="12" hint="" caption="Bf.:"/>
      <dlgitem id="13" hint="" caption="z.B. 51.48553 oder 51 28' 35.147"/>
      <dlgitem id="14" hint="" caption="Маршрут:"/>
      <dlgitem id="15" hint="" caption="Км:"/>
      <dlgitem id="16" hint="" caption="1044636"/>
      <dlgitem id="17" hint="" caption="WMS"/>
      <dlgitem id="18" hint="" caption="Base"/>
      <dlgitem id="19" hint="" caption="TMS"/>
      <dlgitem id="20" hint="" caption="Другое"/>
      <dlgitem id="21" hint="" caption="Маршрут данных"/>
      <dlgitem id="22" hint="" caption="IVL Рдне"/>
      <dlgitem id="23" hint="" caption="Путь"/>
      <dlgitem id="24" hint="" caption="Bahnhofgleise"/>
      <dlgitem id="25" hint="" caption="LIRA Profile"/>
      <dlgitem id="26" hint="" caption="1044636"/>
      <dlgitem id="27" hint="" caption="В:"/>
      <dlgitem id="28" hint="" caption="z.B. 51.48553 oder 51 28' 35.147"/>
      <dlgitem id="29" hint="" caption="Bf.:"/>
      <dlgitem id="30" hint="" caption="Путь:"/>
      <dlgitem id="31" hint="" caption="Км:"/>
      <dlgitem id="32" hint="" caption="L:"/>
      <dlgitem id="33" hint="" caption="1044636"/>
      <dlgitem id="34" hint="" caption="TMS"/>
    </dialog>
  </dialogs>
</Localization>
```

<dlgitem id="35" hint="" caption="Andere"/>
 <dlgitem id="36" hint="Команды относящиеся к файлу" caption="Datei"/>
 <dlgitem id="37" hint="" caption="Новое"/>
 <dlgitem id="38" hint="" caption="Открытие"/>
 <dlgitem id="39" hint="" caption="Открытие с шагом"/>
 <dlgitem id="40" hint="" caption="Открытие XLS"/>
 <dlgitem id="41" hint="" caption="Импорт..."/>
 <dlgitem id="42" hint="" caption="3DS"/>
 <dlgitem id="43" hint="" caption="ASCII"/>
 <dlgitem id="44" hint="" caption="Трасса"/>
 <dlgitem id="45" hint="" caption="DXF"/>
 <dlgitem id="46" hint="" caption="Закреть"/>
 <dlgitem id="47" hint="" caption="База данных"/>
 <dlgitem id="48" hint="" caption="Выйти"/>
 <dlgitem id="49" hint="" caption="Удалить"/>
 <dlgitem id="50" hint="" caption="Полный"/>
 <dlgitem id="51" hint="" caption="Единичное измерение"/>
 <dlgitem id="52" hint="" caption="Проект"/>
 <dlgitem id="53" hint="" caption="Траектория"/>
 <dlgitem id="54" hint="" caption="Инфраструктурный объект"/>
 <dlgitem id="55" hint="" caption="Обзор"/>
 <dlgitem id="56" hint="" caption="LIRA удалить данные"/>
 <dlgitem id="57" hint="" caption="Импорт LIMEZ данные..."/>
 <dlgitem id="58" hint="" caption="Импорт LIRA..."/>
 <dlgitem id="59" hint="" caption="Импорт Scan..."/>
 <dlgitem id="60" hint="" caption="Импортирование траекторий"/>
 <dlgitem id="61" hint="" caption="Импорт OfflineIVL Log"/>
 <dlgitem id="62" hint="" caption="Импорт инфраструктуры..."/>
 <dlgitem id="63" hint="" caption="Импорт данные трассы..."/>
 <dlgitem id="64" hint="" caption="Импорт снимка..."/>
 <dlgitem id="65" hint="" caption="Экспорт в MS Excel"/>
 <dlgitem id="66" hint="" caption="Трансформировать сканер"/>
 <dlgitem id="67" hint="" caption="Конвертировать время GPS"/>
 <dlgitem id="68" hint="" caption="Слой"/>
 <dlgitem id="69" hint="" caption="Параметры"/>
 <dlgitem id="70" hint="Команды относящиеся в окну" caption="Окно"/>
 <dlgitem id="71" hint="" caption="Около"/>
 <dlgitem id="72" hint="Закреть|закрытие текущего файла" caption="Закреть"/>
 <dlgitem id="73" hint="Вырезать|Вырезать выбранное и поместить в буферной памяти" caption="Вырезать"/>
 <dlgitem id="74" hint="Копировать|Копировать выбранное и поместить в буферной памяти" caption="Копировать"/>

```

<dlgitem id="75" hint="Вставить|Вставить содержание буферной памяти"
caption="Вставить"/>
<dlgitem id="76" hint="Каскадная запись" caption="Каскадная запись"/>
<dlgitem id="77" hint="Горизонтально" caption="Горизонтально"/>
<dlgitem id="78" hint="Вертикально" caption="Вертикально"/>
<dlgitem id="79" hint="Свернуть все" caption="Свернуть все"/>
<dlgitem id="80" hint="Упорядочить все" caption="Упорядочить все"/>
</dialog>
<dialog id="81" caption="Дочернее окно">
<dlgitem id="82" hint="" caption="Камера"/>
<dlgitem id="83" hint="Вид сзади" caption=""/>
<dlgitem id="84" hint="Вид спереди" caption=""/>
<dlgitem id="85" hint="Вид слева" caption=""/>
<dlgitem id="86" hint="Вид справа" caption=""/>
<dlgitem id="87" hint="Вид сверху" caption=""/>
<dlgitem id="88" hint="Вид снизу" caption=""/>
<dlgitem id="89" hint="3D навигация" caption=""/>
<dlgitem id="90" hint="Увеличение" caption=""/>
<dlgitem id="91" hint="" caption="Геореф"/>
<dlgitem id="92" hint="" caption="Видимые точки"/>
<dlgitem id="93" hint="" caption="Видимые геометрические объекты"/>
<dlgitem id="94" hint="Корректные траектории" caption=""/>
<dlgitem id="95" hint="Корректный Scan" caption=""/>
<dlgitem id="96" hint="" caption="Импорт"/>
<dlgitem id="97" hint="" caption="G+"/>
<dlgitem id="98" hint="" caption="ASC"/>
<dlgitem id="99" hint="" caption="DXF"/>
<dlgitem id="100" hint="" caption="3DS"/>
<dlgitem id="101" hint="" caption="TRA"/>
<dlgitem id="102" hint="" caption="POS"/>
<dlgitem id="103" hint="" caption="Видео"/>
<dlgitem id="104" hint="" caption="Размер"/>
<dlgitem id="105" hint="Клиренс=""/>
<dlgitem id="106" hint="Минимальное расстояние до платформы"
caption=""/>
<dlgitem id="107" hint="Точка измерения" caption=""/>
<dlgitem id="108" hint="Пограничный пункт измерения" caption=""/>
<dlgitem id="109" hint="" caption="km"/>
<dlgitem id="110" hint="" caption="Точка измерения"/>
<dlgitem id="111" hint="" caption="LIRA профиль"/>
<dlgitem id="112" hint="" caption="Точка"/>
<dlgitem id="113" hint="" caption="Редактировать"/>
<dlgitem id="114" hint="" caption="Исчезать"/>
<dlgitem id="115" hint="" caption="Удалить"/>

```

```

</dialog>
<dialog id="116" caption="Клиренс настройки">
  <dlgitem id="117" hint="" caption="Скорость:"/>
  <dlgitem id="118" hint="" caption="Станция:"/>
  <dlgitem id="119" hint="" caption="Показывать:"/>
  <dlgitem id="122" hint="" caption="От [м]:"/>
  <dlgitem id="123" hint="" caption="До [м]:"/>
  <dlgitem id="124" hint="" caption="Постоянная:"/>
  <dlgitem id="125" hint="" caption="< TPS рама:"/>
  <dlgitem id="126" hint="" caption="Сохранить:"/>
  <dlgitem id="127" hint="" caption="Столкновение тест:"/>
  <dlgitem id="128" hint="" caption="За минимальную трассу:"/>
</dialog>
<dialog id="129" caption="Клиренс настройки">
  <dlgitem id="130" hint="" caption="Скорость:"/>
  <dlgitem id="131" hint="" caption="Станция:"/>
  <dlgitem id="132" hint="" caption="Показатели:"/>
  <dlgitem id="135" hint="" caption="Постоянная:"/>
  <dlgitem id="136" hint="" caption="< TPS рамы: >"/>
  <dlgitem id="137" hint="" caption="Сохранить:"/>
  <dlgitem id="138" hint="" caption="Столкновение тест:"/>
  <dlgitem id="139" hint="" caption="< CSV даты: >"/>
</dialog>
<dialog id="140" caption="Минимальное расстояние до платформы">
  <dlgitem id="141" hint="" caption="Станция:"/>
  <dlgitem id="143" hint="" caption="От [м]:"/>
  <dlgitem id="144" hint="" caption="До[м]:"/>
  <dlgitem id="146" hint="" caption="Шаг[м]:"/>
  <dlgitem id="147" hint="" caption="Страница:"/>
  <dlgitem id="148" hint="" caption="Пуск:"/>
  <dlgitem id="149" hint="" caption="Сохранить точек в базу данных:"/>
</dialog>
<dialog id="150" caption="Импорт">
  <dlgitem id="151" hint="" caption="Scan"/>
  <dlgitem id="152" hint="" caption="Левый рельс"/>
  <dlgitem id="153" hint="" caption="Правый рельс"/>
  <dlgitem id="154" hint="" caption="Координатная система"/>
  <dlgitem id="155" hint="" caption="Исходные точки"/>
</dialog>
<dialog id="156" caption="База данных:">
  <dlgitem id="157" hint="" caption="Вход:"/>
  <dlgitem id="158" hint="" caption="Пропускать:"/>
  <dlgitem id="159" hint="" caption="Информация:"/>
  <dlgitem id="160" hint="" caption="Пользователь:"/>

```

```

<dlgitem id="161" hint="" caption="Пароль:"/>
<dlgitem id="162" hint="" caption="Имя DB:"/>
<dlgitem id="163" hint="" caption="Host (IP):"/>
<dlgitem id="164" hint="" caption="(Пустым для локальной базь данных):"/>
<dlgitem id="165" hint="" caption="Скрыть пароля:"/>
</dialog>
<dialog id="166" caption="Импорт траектория:">
  <dlgitem id="167" hint="" caption="Система координат:"/>
  <dlgitem id="168" hint="" caption="Цвет:"/>
  <dlgitem id="169" hint="" caption="Имя:"/>
</dialog>
<dialog id="170" caption="Гео-слоями">
  <dlgitem id="171" hint="" caption="WMS"/>
  <dlgitem id="172" hint="" caption="Формат изображения:"/>
  <dlgitem id="173" hint="" caption="Ширина [pixel]:"/>
  <dlgitem id="174" hint="" caption="Высота[pixel]:"/>
  <dlgitem id="175" hint="" caption="TMS"/>
  <dlgitem id="176" hint="" caption="Ширина[pixel]:"/>
  <dlgitem id="177" hint="" caption="Размер изображения:"/>
  <dlgitem id="178" hint="" caption="Высота [pixel]:"/>
  <dlgitem id="179" hint="" caption="IVL P1дне"/>
  <dlgitem id="180" hint="" caption="WFS"/>
  <dlgitem id="181" hint="" caption="Прерваты"/>
  <dlgitem id="182" hint="" caption="["/>
</dialog>
<dialog id="183" caption="Параметры испытания на столкновение">
  <dlgitem id="184" hint="" caption="Задание:"/>
  <dlgitem id="185" hint="" caption="Начало:"/>
  <dlgitem id="186" hint="" caption="Край:"/>
  <dlgitem id="187" hint="" caption="Шаг [м]:"/>
  <dlgitem id="188" hint="" caption="Профиль вагона:"/>
  <dlgitem id="189" hint="" caption="Начало"/>
</dialog>
<dialog id="190" caption="Информация">
  <dlgitem id="191" hint="" caption="SiRailView"/>
  <dlgitem id="192" hint="" caption="Версия: 2.44с"/>
  <dlgitem id="193" hint="" caption="technet-rail 2010 GmbH"/>
  <dlgitem id="194" hint="" caption="ул. Гете 42 , 10625 Берлин
www.technet-rail.de"/>
  <dlgitem id="195" hint="" caption="Лиц.№.:"/>
  <dlgitem id="196" hint="" caption="Применить"/>
  <dlgitem id="197" hint="" caption="Апгрейд"/>
  <dlgitem id="198" hint="" caption="Список паролей"/>
</dialog>

```

```

<dialog id="199" caption="Bird View Options">
  <dlgitem id="200" hint="" caption="Траектория"/>
  <dlgitem id="201" hint="" caption="Задание"/>
  <dlgitem id="202" hint="" caption=" трассы"/>
  <dlgitem id="203" hint="" caption="ID трассы:"/>
  <dlgitem id="204" hint="" caption="от [М]:"/>
  <dlgitem id="205" hint="" caption="До [М]:"/>
  <dlgitem id="206" hint="" caption=""/>
  <dlgitem id="207" hint="" caption="Начало"/>
  <dlgitem id="208" hint="" caption="Скорость. [Км/ч]:"/>
</dialog>
<dialog id="209" caption="Прогресс Ascii">
  <dlgitem id="210" hint="" caption="Сепаратор:"/>
  <dlgitem id="211" hint="" caption="Шкала X:"/>
  <dlgitem id="212" hint="" caption="Шкала Y:"/>
  <dlgitem id="213" hint="" caption="Шкала Z:"/>
  <dlgitem id="214" hint="" caption="Оставшееся время::"/>
  <dlgitem id="215" hint="" caption="Трансляция X:"/>
  <dlgitem id="216" hint="" caption="Трансляция Y:"/>
  <dlgitem id="217" hint="" caption="Трансляция Z:"/>
  <dlgitem id="218" hint="" caption="Начало"/>
</dialog>
  <dlgitem id="219" hint="" caption="Обновление карты..."/>
<dialog id="220" caption="Импорт файл">
  <dlgitem id="221" hint="" caption="SCN файл:"/>
  <dlgitem id="222" hint="" caption="DMP файл:"/>
  <dlgitem id="223" hint="" caption="IMU файл:"/>
  <dlgitem id="224" hint="" caption="Снимок:"/>
  <dlgitem id="225" hint="" caption="Имя:"/>
  <dlgitem id="226" hint="" caption="Цвет:"/>
  <dlgitem id="227" hint="" caption="Данные от сервера"/>
</dialog>
  <dlgitem id="228" hint="" caption="Оставшееся время::"/>
  <dlgitem id="229" hint="" caption="Прерваты"/>
<dialog id="230" caption="Импорт инфраструктуры">
  <dlgitem id="231" hint="" caption="файл:"/>
  <dlgitem id="232" hint="" caption="Тип:"/>
  <dlgitem id="233" hint="" caption="Имя слоя:"/>
  <dlgitem id="234" hint="" caption="Цвет слоя:"/>
  <dlgitem id="235" hint="" caption="Сигнал:"/>
  <dlgitem id="236" hint="" caption="Структура"/>
  <dlgitem id="237" hint="" caption="Трасса:"/>
  <dlgitem id="238" hint="" caption="От [М]:"/>
  <dlgitem id="239" hint="" caption="До [М]:"/>

```

```

    <dlgitem id="240" hint="" caption="Информация:"/>
</dialog>
<dialog id="241" caption="Параметры модели импорта">
    <dlgitem id="242" hint="" caption="Масштабирование:"/>
    <dlgitem id="243" hint="" caption="Ориентир:"/>
    <dlgitem id="244" hint="" caption="Трасса:"/>
    <dlgitem id="245" hint="" caption="Направление путей:"/>
    <dlgitem id="246" hint="" caption="Местоположение [М]:"/>
    <dlgitem id="247" hint="" caption="*Ctrl + Shift + лев.кн.мыши на scan"/>
</dialog>
    <dlgitem id="248" hint="" caption="*Некорректное задание."/>
    <dlgitem id="249" hint="" caption="Трасса:"/>
    <dlgitem id="250" hint="" caption="от [М]:"/>
    <dlgitem id="251" hint="" caption="До [М]:"/>
    <dlgitem id="252" hint="" caption="Шаг [М]:"/>
<dialog id="253" caption="Издание">
</dialog>
<dialog id="254" caption="Выбор">
</dialog>
<dialog id="255" caption="WMS параметры">
    <dlgitem id="256" hint="" caption="Ширина [pixel]:"/>
    <dlgitem id="257" hint="" caption="Высота [pixel]:"/>
    <dlgitem id="258" hint="" caption="Формат изображений:"/>
    <dlgitem id="259" hint="" caption="Обновление"/>
</dialog>
<dialog id="260" caption="Настройки">
    <dlgitem id="261" hint="" caption="Scans папки:"/>
    <dlgitem id="262" hint="" caption="Папка для снимков:"/>
    <dlgitem id="263" hint="" caption="МАС:"/>
    <dlgitem id="264" hint="" caption="Открыть GL фоновый цвет:"/>
    <dlgitem id="265" hint="" caption="Сохранить"/>
    <dlgitem id="266" hint="" caption="Закрыть"/>
    <dlgitem id="267" hint="" caption="Связь с IVL Viewer"/>
    <dlgitem id="268" hint="" caption="R U минимальной трассы"/>
    <dlgitem id="269" hint="" caption="Файл от интернета"/>
    <dlgitem id="270" hint="" caption="Подключение к серверу"/>
    <dlgitem id="271" hint="" caption="Scans папки:"/>
    <dlgitem id="272" hint="" caption="Папка для снимков:"/>
    <dlgitem id="273" hint="" caption="Имя пользователя:"/>
    <dlgitem id="274" hint="" caption="Пароль:"/>
    <dlgitem id="275" hint="" caption="Сетевое устройство"/>
</dialog>
<dialog id="276" caption="Удалить">
    <dlgitem id="277" hint="" caption="Закрыть"/>

```

```

    <dlgitem id="278" hint="" caption="Удалить"/>
</dialog>
<dialog id="279" caption="Снимок">
</dialog>
<dialog id="280" caption="Трасса">
    <dlgitem id="281" hint="" caption="Трасса:"/>
    <dlgitem id="282" hint="" caption="Направление путей:"/>
</dialog>
    <dlgitem id="283" hint="" caption="Оставшееся время:"/>
    <dlgitem id="284" hint="" caption="Отмена"/>
<dialog id="285" caption="Strecke wechseln">
    <dlgitem id="286" hint="" caption="Strecke:"/>
    <dlgitem id="287" hint="" caption="Направление путей:"/>
</dialog>
<dialog id="288" caption="TPS файловый редактор">
    <dlgitem id="289" hint="" caption="Новый узел"/>
    <dlgitem id="290" hint="" caption="Удалить узел"/>
    <dlgitem id="291" hint="" caption="Удалить все"/>
    <dlgitem id="292" hint="" caption="Загрузить"/>
    <dlgitem id="293" hint="" caption="Сохранить"/>
    <dlgitem id="294" hint="" caption="Новый"/>
    <dlgitem id="295" hint="" caption="Предварительный просмотр"/>
    <dlgitem id="296" hint="" caption="Переместить в центр"/>
    <dlgitem id="297" hint="" caption="Отразить по горизонтали"/>
    <dlgitem id="298" hint="" caption="Отразить по вертикали"/>
</dialog>
<dialog id="299" caption="Фильтровать пункты">
    <dlgitem id="300" hint="" caption="Трасса"/>
    <dlgitem id="301" hint="" caption="Километр"/>
    <dlgitem id="302" hint="" caption="От:"/>
    <dlgitem id="303" hint="" caption="До:"/>
</dialog>
    <dlgitem id="304" hint="" caption="Разработанные для"/>
<dialog id="307" caption="База данных">
    <dlgitem id="308" hint="" caption="Задание"/>
    <dlgitem id="309" hint="" caption="Имя:"/>
    <dlgitem id="310" hint="" caption="Цвет:"/>
    <dlgitem id="311" hint="" caption="Обновление"/>
</dialog>
<dialog id="312" caption="Загрузка файла">
    <dlgitem id="313" hint="" caption="Имя файла:"/>
    <dlgitem id="314" hint="" caption="Оставшее время:"/>
</dialog>
<dialog id="315" caption="Точка измерения">

```

```

<dlgitem id="316" hint="" caption="Название станции:"/>
<dlgitem id="317" hint="" caption="Станция-имя-оперативно:"/>
<dlgitem id="318" hint="" caption="Станция-имя-транспорт:"/>
<dlgitem id="319" hint="" caption="Трасса:"/>
<dlgitem id="320" hint="" caption="Направление путей:"/>
<dlgitem id="321" hint="" caption="Километр:"/>
<dlgitem id="322" hint="" caption="Расстояние:"/>
<dlgitem id="323" hint="" caption="Высота:"/>
<dlgitem id="324" hint="" caption="Радиус:"/>
<dlgitem id="325" hint="" caption="Превышение:"/>
<dlgitem id="326" hint="" caption="Ширина трассы:"/>
<dlgitem id="327" hint="" caption="Все в метрах"/>
<dlgitem id="328" hint="" caption="*За минимальную трассу"/>
<dlgitem id="329" hint="" caption="Сохранить"/>
<dlgitem id="330" hint="" caption="Прервать"/>
<dlgitem id="331" hint="" caption="Дополнительно"/>
</dialog>
<dialog id="332" caption="Импорт файла">
  <dlgitem id="333" hint="" caption="SCN файл:"/>
  <dlgitem id="334" hint="" caption="DMP файл:"/>
  <dlgitem id="335" hint="" caption="IMU файл:"/>
  <dlgitem id="336" hint="" caption="Снимок:"/>
</dialog>
<dlgitem id="337" hint="" caption="f"/>
<dlgitem id="338" hint="" caption="h"/>
<dlgitem id="339" hint="" caption="g"/>
<dlgitem id="340" hint="" caption="i"/>
<dlgitem id="341" hint="" caption="см."/>
<dialog id="342" caption="Пароль список">
  <dlgitem id="343" hint="" caption="Информация о лицензии:"/>
  <dlgitem id="344" hint="" caption="Добавить"/>
  <dlgitem id="345" hint="" caption="пересохранить"/>
  <dlgitem id="346" hint="" caption="Удалить"/>
</dialog>
<dialog id="386" caption="Троектория">
</dialog>
<dialog id="387" caption="Линейное построение">
  <dlgitem id="388" hint="" caption="Длина (м):"/>
  <dlgitem id="389" hint="" caption="Угол поворота:"/>
  <dlgitem id="390" hint="" caption="Начало с:"/>
  <dlgitem id="391" hint="" caption="X:"/>
  <dlgitem id="392" hint="" caption="Y:"/>
  <dlgitem id="393" hint="" caption="Z:"/>
  <dlgitem id="394" hint="" caption="Прервать"/>

```

```

<dlgitem id="395" hint="" caption="Направление:"/>
<dlgitem id="396" hint="" caption="X:"/>
<dlgitem id="397" hint="" caption="Y:"/>
<dlgitem id="398" hint="" caption="Z:"/>
</dialog>
<dialog id="399" caption="Разделение и цвет">
  <dlgitem id="400" hint="" caption="Разделение:"/>
  <dlgitem id="401" hint="" caption="Номер потока:"/>
  <dlgitem id="402" hint="" caption="Приоритет потока:"/>
  <dlgitem id="403" hint="" caption="GL объект:"/>
  <dlgitem id="404" hint="" caption="шаг:"/>
  <dlgitem id="405" hint="" caption="Трансформация:"/>
  <dlgitem id="406" hint="" caption="Цвет:"/>
  <dlgitem id="407" hint="" caption="Расцветки"/>
  <dlgitem id="408" hint="" caption="Прервать"/>
  <dlgitem id="409" hint="" caption="Форматировать"/>
</dialog>
<dialog id="410" caption="Трасса">
  <dlgitem id="411" hint="" caption=":"/>
  <dlgitem id="412" hint="" caption="Трасса:"/>
  <dlgitem id="413" hint="" caption="градиент:"/>
  <dlgitem id="414" hint="" caption="Коррекция высоты:"/>
  <dlgitem id="415" hint="" caption="От станции:"/>
  <dlgitem id="416" hint="" caption="До станции:"/>
  <dlgitem id="417" hint="" caption="<Leer>"/>
  <dlgitem id="418" hint="" caption="<Leer>"/>
  <dlgitem id="419" hint="" caption="<Leer>"/>
  <dlgitem id="420" hint="" caption="Прервать"/>
</dialog>
<dialog id="421" caption="Постоянная">
  <dlgitem id="422" hint="" caption="k = "/>
  <dlgitem id="423" hint="" caption="m."/>
  <dlgitem id="424" hint="" caption="Tvoie = "/>
  <dlgitem id="425" hint="" caption="D"/>
  <dlgitem id="426" hint="" caption="m."/>
  <dlgitem id="427" hint="" caption="m."/>
  <dlgitem id="428" hint="" caption="h = "/>
  <dlgitem id="429" hint="" caption="S0 = "/>
  <dlgitem id="430" hint="" caption="m."/>
  <dlgitem id="431" hint="" caption="m."/>
  <dlgitem id="432" hint="" caption="h    = "/>
  <dlgitem id="433" hint="" caption="Tsusp = "/>
  <dlgitem id="434" hint="" caption="Tcharge = "/>
  <dlgitem id="435" hint="" caption="grad"/>

```

```

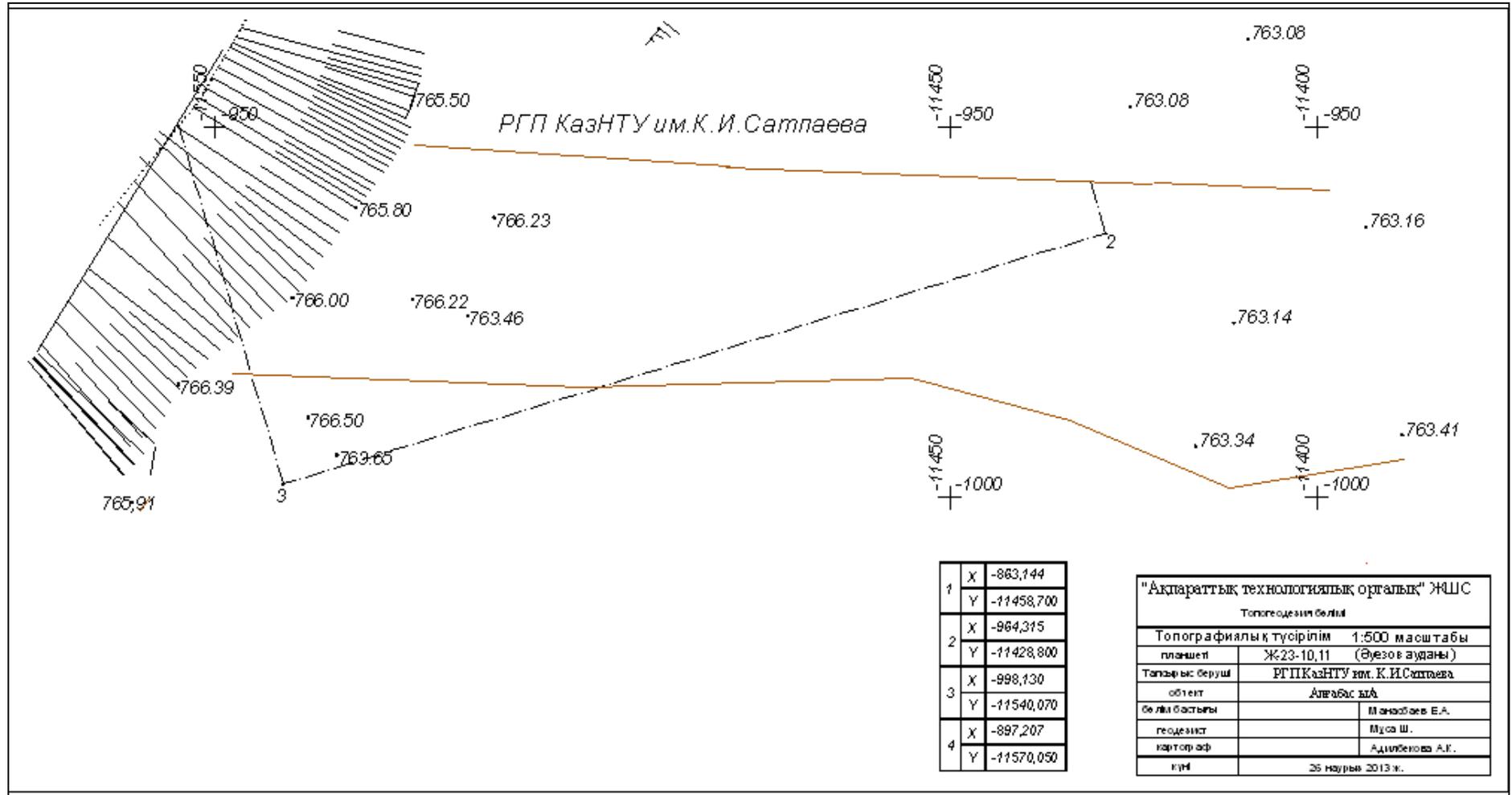
<dlgitem id="436" hint="" caption="grad"/>
<dlgitem id="437" hint="" caption="I0 = "/>
<dlgitem id="438" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="439" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="440" hint="" caption="L = "/>
<dlgitem id="441" hint="" caption="D0 = "/>
<dlgitem id="442" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="443" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="444" hint="" caption="l = "/>
<dlgitem id="445" hint="" caption="Supl = "/>
<dlgitem id="446" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="447" hint="" caption="Tosc = "/>
<dlgitem id="448" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="449" hint="" caption="C0"/>
<dlgitem id="450" hint="" caption="T = "/>
<dlgitem id="451" hint="" caption="m."/>
<dlgitem id="452" hint="" caption="h = "/>
<dlgitem id="453" hint="" caption="P"/>
<dlgitem id="454" hint="" caption="Скорость:"/>
<dlgitem id="455" hint="" caption="Сохранить"/>
</dialog>
<dialog id="456" caption="Клиренс настройки">
  <dlgitem id="457" hint="" caption="Скорость:"/>
  <dlgitem id="458" hint="" caption="Станция:"/>
  <dlgitem id="459" hint="" caption="Указывать:"/>
  <dlgitem id="462" hint="" caption="Постоянная"/>
  <dlgitem id="463" hint="" caption="< Профиль вагона>"/>
  <dlgitem id="464" hint="" caption="Пауза"/>
  <dlgitem id="465" hint="" caption="Клиренс тест"/>
</dialog>
<dialog id="466" caption="Выбрать рельс...">
  <dlgitem id="467" hint="" caption="Левый рельс:"/>
  <dlgitem id="468" hint="" caption="Правый рельс:"/>
  <dlgitem id="469" hint="" caption="Ось:"/>
  <dlgitem id="470" hint="" caption="Профиль:"/>
  <dlgitem id="471" hint="" caption="Высота:"/>
  <dlgitem id="472" hint="" caption="Прервать"/>
  <dlgitem id="473" hint="" caption="Линия из LIMEZ файла"/>
</dialog>
<dialog id="474" caption="Построение линии">
  <dlgitem id="475" hint="" caption="Точка 1:"/>
  <dlgitem id="476" hint="" caption="X:"/>
  <dlgitem id="477" hint="" caption="Y:"/>
  <dlgitem id="478" hint="" caption="Z:"/>

```

```
<dlgitem id="479" hint="" caption="Километр:"/>
<dlgitem id="480" hint="" caption="Прервать"/>
<dlgitem id="481" hint="" caption="Точка 2:"/>
<dlgitem id="482" hint="" caption="X:"/>
<dlgitem id="483" hint="" caption="Y:"/>
<dlgitem id="484" hint="" caption="Z:"/>
<dlgitem id="485" hint="" caption="Сохранить"/>
<dlgitem id="486" hint="" caption="Заряжать"/>
</dialog>
<dialog id="487" caption="Плоскость">
  <dlgitem id="488" hint="" caption="Плоскость 1:"/>
  <dlgitem id="489" hint="" caption="Плоскость 2:"/>
</dialog>
<dialog id="490" caption="Прогресс потока Ascii">
  <dlgitem id="491" hint="" caption="Разделить:"/>
  <dlgitem id="492" hint="" caption="Начало"/>
</dialog>
<dialog id="493" caption="Общие взгляды">
  <dlgitem id="494" hint="" caption="Шаг:"/>
  <dlgitem id="495" hint="" caption="Прервать"/>
</dialog>
</dialogs>
<strings>
</strings>
</Localization>
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Топографическая съемка КазНТУ имени К.И. Сатпаева



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Высотные отметки объекта

