Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»

НГУЕН ХЫУ ВЬЕТ

На правах рукописи

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛИ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

Специальность 25.00.32 – Геодезия

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Мустафин Мурат Газизович

Санкт-Петербург – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИИ ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....10
1.1 Оценка деформационных процессов в России и во Вьетнаме..... 10
1.1.1 Обзор разработок в области наблюдений за оседанием земной поверхности в России.....10
1.1.2 Обзор разработок в области наблюдений за деформациями зданий и сооружений во Вьетнаме.....20
1.1.3 Негативное развитие деформационных процессов при строительстве и эксплуатации гражданских сооружений.....21
1.1.4 Негативное развитие деформационных процессов при строительстве и эксплуатации промышленных сооружений.....25
1.2 Точность измерений 28
1.2.1 Нормы точности измерений в России.....28
1.2.2 Точность измерений деформаций во Вьетнаме.....30
1.3 Проектирование наблюдений за деформациями 31
1.3.1 Методики геодезических наблюдений за деформациями оснований зданий и сооружений в России.....31
1.3.2 Способы организации наблюдений во Вьетнаме.....33
1.4 Способы оценки устойчивости опорных реперов 42
1.4.1 Способ В.А. Карпенко.....43
1.4.2 Способ А. Костехеля.....46
1.4.3 Способ Г.К. Ботяна.....49
1.4.4 Способ В.Н. Ганьшина.....52
1.4.5 Способ В.Ф. Черникова.....54
1.4.6 Способ П. Марчака.....57
1.4.7 Способ Мартусевича.....60

1.5 Анализ существующих методов оценки вертикальных смещений 63
1.6 Предложение к разработке модельного подхода к оценке смещений опорных реперов и деформационной сети 66
Выводы к главе 1 67
ГЛАВА 2 СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ РЕПЕРОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ 70
2.1 Оценка вертикальных смещений реперов 70
2.1.1 Принципиальная основа методики.....70
2.1.2 Суть разрабатываемого способа.....72
2.1.3 Линейный случай.....78
2.1.4 Плоскостной случай.....84
2.1.5 Объемный случай.....87
2.1.6 Сравнительный анализ разработанного метода с традиционными методами оценки устойчивости.....88
2.2 Учет точности наблюдений 99
2.2.1 Съемка реперов методом электронной тахеометрии.....100
2.2.2 Оценка точности геодезических измерений с помощью электронного тахеометра.....102
Выводы к главе 2 106
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ 107
3.1 Схемы геодезических наблюдений 109
3.1.1 Линейный случай.....109
3.1.2 Плоскостной случай.....114
3.2 Исследование возможности применения современных приборов ЭН (электронных нивелиров), ЭТ (тахеометров) и ГНСС технологии 117
3.2.1 Описание практического эксперимента.....117
3.2.2 Спутниковые наблюдения.....120
3.2.3 Проведение нивелирования по методике III класса.....122
3.2.4 Электронная тахеометрия.....125

3.2.5 Сопоставительный анализ методов наблюдений.....131
Выводы к главе 3 133
ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ.....135
4.1 Применение разработанной методики при наблюдениях за деформациями основания железной дороги в г. Ханой..... 135
4.2 Применение разработанной методики при наблюдениях за деформациями основания жилого здания (плоскостной случай разработанной методики)..... 142
Выводы к главе 4 150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 153
ПРИЛОЖЕНИЕ А 164

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Традиционный подход наблюдений за деформациями оснований зданий и сооружений или земной поверхности в районе предполагаемых сдвижений грунта предусматривает размещение геодезических знаков с наличием опорных пунктов (реперов), которые исполняют роль точек отсчета. При этом возникает необходимость оценки устойчивости самих опорных реперов. Существует целый ряд способов оценки их устойчивости. Однако их анализ показывает, что для определенных условий, например, когда все марки имеют один знак смещений, практически все они не дают правильного результата. Кроме того, зачастую в городских условиях или в промышленных зонах просто невозможно найти неподвижные участки для закладки опорных реперов. Известны случаи, когда из-за подвижности опорных реперов забраковывалась вся деформационная сеть, вследствие недостоверности получаемых результатов. Огромный труд и затраты уходили впустую. В этой связи и в России, и особенно во Вьетнаме остро стоит вопрос о создании надежных способов оценки в целом деформационных процессов и в частности вертикальных смещений оснований зданий и сооружений.

Деформационный процесс оснований зданий и сооружений можно рассматривать в системе, элементами которой является иерархическая структура: деформационные марки (точки), звенья (ребра) и треугольники в триангуляционной сети. При этом на каждом этапе (цикле) наблюдений отслеживаются относительные изменения системы,а их суммирование относительно начального цикла характеризует интегральную картину деформационного процесса.

Теоретическое обоснование такого подхода и разработка практических рекомендаций по его реализации обеспечит повышение надежности и точности оценки деформационного процесса и в этой связи представляется весьма актуальной задачей.

Цель работы

Целью работы является повышение надежности и точности определения деформаций оснований зданий и сооружений в условиях городской застройки и в районах развития опасных природных и техногенных процессов

Идея работы заключается в применении модельного принципа изучения деформационного процесса, заключающегося в представлении основания зданий и сооружений в виде системы (сети) геодезических знаков (реперов) и сравнении пространственного положения ее структурных элементов на каждом цикле наблюдений относительно предыдущих циклов.

Основные задачи исследований:

1. Анализ результатов исследований в области наблюдений за оседанием земной поверхности и осадками зданий и сооружений.
2. Разработка теоретических основ модельного принципа оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений.
3. Разработка методики наблюдений за оседанием земной поверхности и осадками зданий и сооружений.
4. Опытная проверка разработанной методики на объектах Вьетнама.

Научная новизна работы

Обоснован модельный принцип оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений, заключающийся в построении модели деформационной сети и сравнении пространственного положения ее структурных элементов на каждом цикле наблюдений относительно предыдущего цикла, позволяющий проводить оценку вертикальных смещений без создания опорных пунктов.

Разработана методика определения вертикальных смещений оснований зданий и сооружений, включающая два этапа: первый, это установление смещенных и несмещенных элементов модели, второй – вычисление смещений относительно неподвижных элементов текущего и предыдущего циклов.

Обоснованы технические схемы измерений вертикальных смещений, способами геометрического и тригонометрического нивелирования со «свободных станций», обеспечивающие нормативную точность.

Определены зависимости точности вертикальных смещений реперов деформационных сетей от типов приборов и способов измерений

Дана сравнительная оценка точности предлагаемого способа оценки деформационного процесса относительно известных способов

Научные положения, выносимые на защиту:

1. При оценке вертикальных смещений оснований зданий и сооружений следует использовать модельный принцип, в котором деформационная сеть рассматривается как система, элементы которой: звенья между двумя марками в линейном случае или треугольники в плоскостном случае, характеризуют изменчивость системы относительно предыдущего цикла наблюдений по своему пространственному положению.

2. Оценка вертикальных смещений реперов должна выполняться в два этапа: на первом – определяются смещенные и несмещенные элементы модели по величине отклонений нормалей элементов деформационной сети текущего и предыдущего циклов наблюдений;на втором – вычисляются отметки относительно неподвижных элементов сети.

3. Геодезические наблюдения должны выполняться по разработанным технологическим схемам со свободных станций геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от допусков и точности приборов.

Применяется комплексный метод исследования включающий

Анализ существующих подходов и технологий геодезических измерений. Компьютерное моделирование деформационной сети. Метод наименьших квадратов для оценки точности геодезических измерений и применяемых геодезических приборов и обоснования методики наблюдений.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается согласованностью теоретических исследований с результатами

фактических данных, а также обоснованностью использования приборов и методики измерений.

Практическая значимость работы

Разработана методика оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений, повышающая надежность и точность отслеживания деформационного процесса.

Апробация работы.

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались: на Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию кафедры «Строительство горных предприятий и подземных сооружений» 8-9 ноября 2017 научного-технических советах строительного факультета. Элементы теоретических и методических разработок диссертации внедрены в учебный процесс в санкт-петербургском горном университете для студентов специальности «Инженерная геодезия».

Личный вклад автора

Автор активно участвовал на всех этапах диссертационной работы. Им самостоятельно проведен анализ точности существующих способов и разработан способ оценки смещений реперов; проведены натурные исследования вариации точности линейно-угловых измерений в зависимости от применяемых приборов и схем наблюдений; выбраны объекты, на которых продемонстрирована эффективность предлагаемых рекомендаций.

Публикации.

Основное содержание работы отражено в 7 публикациях, в том числе 3 статьи - в изданиях, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определяемый ВАК.

Реализация результатов работы

Теоретические выводы и практические рекомендации работы целесообразно использовать в геодезических организациях и в учебном процессе при обучении студентов геодезических направлений, в том числе в

Санкт- Петербургском горном университете, внедрение результатов работы предполагается в геодезических фирмах Вьетнама и России.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, изложенных на 171 страницах машинописного текста. Диссертация содержит 57 рисунков, 60 таблицу, список литературы из 90 российских и зарубежных наименований.

ГЛАВА 1
ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИИ ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрение вопроса о состоянии изученности тематики исследований построено следующим образом. Сначала показаны работы, характеризующие актуальность исследований, в этой связи приведено описание негативных проявлений деформационных процессов, приведших к аварийному состоянию зданий и сооружений. Далее последовательно рассмотрена нормативная база (России и Вьетнама), регламентирующая проведение геодезических наблюдений за вертикальными деформациями. Специально выделен раздел, где рассмотрены наиболее известные способы оценки устойчивости реперов. На основании этого анализа сделаны выводы и рекомендации.

1.1 Оценка деформационных процессов в России и во Вьетнаме

1.1.1 Обзор разработок в области наблюдений за оседанием земной поверхности в России

Интенсивность строительства, особенно в крупных городах, постоянно возрастает. Строительный бум наблюдается как в России, так и в других странах, в том числе и во Вьетнаме. Возводимые сооружения становятся более сложными, как в конструктивном виде, так и по форме, включая разнообразные сочетания размеров. Здания и сооружения, можно сказать, стремятся как ввысь, так и под землю. При этом они могут и пристраиваются к существующим зданиям и строиться вблизи них (так называемая уплотнительная застройка). Они возводятся на весьма разнообразных грунтах и основаниях. Все больше приходится иметь дело с неустойчивыми, просадочными грунтами.

Эти обстоятельства приводят к необходимости проведения комплексных наблюдений за состоянием сооружений, как в процессе строительства, так и в эксплуатационный период. Важное место в этих наблюдениях принадлежит геодезическим методам. Полученные результаты позволяют своевременно

корректировать технологическую схему возведения сооружений и технические условия их эксплуатации. В этой связи следует отметить важный результат многолетнего опыта проведения геодезических наблюдений за осадкой сооружений, позволивший с привлечением аналитических обобщений установить предельные деформации и по ним формировать методики наблюдений за основаниями сооружений [11, 57, 71].

На сегодняшний день существует целый ряд научно-технических публикаций по тематике деформационного мониторинга и оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений (например, [11,53]).

Основательное представление о мониторинге деформационных процессов изложено в работе [18]. Представлены математические модели, которые базируясь на геодезических измерениях в кинематической и динамической формах отражают наблюдаемый процесс деформации сооружения. Модель синтезирует закономерности развития процесса и позволяет на их основе находить прогнозные перемещений каждой наблюдаемой точки сооружения, предвычислять погрешности прогнозирования, возникающих от совместного влияния ошибок геодезических измерений и неучтенных при моделировании факторов. В данной работе освещен обширный опыт наблюдений, приведены разные их способы. Получены результаты, учитывающие деформации в системе «среда-сооружение». Подчеркивается значимость и перспективность геодезических наблюдений за деформационным процессом. При этом рассматриваются нормативные геодезические наблюдения и основной акцент делается на математическое моделирование базовой прогнозной модели на основе корреляционной теории случайных функций и нормализации моделируемого деформационного процесса. Работа имеет глубоко фундаментальный характер и направлена на теоретическое развитие подходов к прогнозу деформационного процесса.

Весьма обширная картина существующих и практически используемых способов представлена в работе [11]. Помимо способов наблюдений, показана главная составляющая наблюдений оценка устойчивости опорных реперов.

Способы, рассмотренные в данной книге будут подробно рассмотрены в других разделах. Имеются много работ, соавторов настоящей работы, например [61] в которых в процесс наблюдений включены современные методы и технологии геодезических измерений, основанные на использовании спутниковых навигационных систем, электронных тахеометров и компьютерной обработки результатов наблюдений.

Олейник А.М., Цуркану А.И., Маслихин В.Н. и Постников П.В. рассматривают устойчивость грунтовых реперов в криолитозоне [49], предлагая собственную схему, повышения устойчивости реперов, предусматривающую конкретику места закладки реперов и их конструктивные решения с учетом действующих на них сил.

Оригинальный способ контроля устойчивости реперов предлагают Буденков Н.А и Нехорошков П.А в работе [8]. Способ заключается в том, что устойчивость положения опорного репера оценивается по результатам наблюдений куста из трех вспомогательных реперов (ВР), одинаковых по конструкции и условиям заложения. Проведение измерений согласно разработанным инструкциям позволяет значительно повысить их качество путем исключения факторов внешней среды и погрешностей наблюдений.

Современные технологии предлагают использовать исследователи Баранова Я.Ю. и Козлова Е.Р. В своей работе [4]. Они рассматривают применение программ для корреляционного анализа, что дает возможность сократить время, выделяемое на вычисления, повысить точность, исключить ошибки, возникающие по причине человеческого фактора.

В работах [55] [36] предлагаются методы определения устойчивости исходных реперов. В числе их особенностей и преимуществ: конкретное теоретическое обоснование на основе неизменной средней высоты, использование свободных сетей, уравнивание свободных сетей путем раздельной и совместной обработки в циклах измерений, обобщенный критерий для предельно допустимых отклонений реперов, автоматизированная обработка и исключение нестабильных реперов.

Стабильность геодезических реперов в районах вечной мерзлоты исследовали Ложкин А.О. и Ходаков П.А [35]. Ими проведены исследования устойчивости реперов на примере наблюдательной станции на полуострове Ямал (территория Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения) и предложены рекомендации по повышению устойчивости реперов с использованием термостабилизаторов.

Оспенников Е.Н., Хилимонюк В.З., и Булдович С.Н. исследовали проблемы организации системы геокриологического мониторинга [50] и установили, что обеспечение в течение длительного времени устойчивости геодезических реперов является ключевой проблемой организации мониторинга на объектах газонефтепромысловых комплексов. Для анализа надежности реперов ученые предлагают использовать метод геокриологического прогноза, а также рассматривают результаты проведения прогнозных исследований по разработанной методике.

Саламатиной Ю.Ф. и Саламатиным В.А. изучен вопрос геодезического мониторинга деформаций на олимпийском объекте: здании Крытого конькобежного центра г. Сочи [58]. Для определения абсолютных и относительных осадок несущих конструкций здания ими использовался метод геометрического нивелирования II класса, по результатам чего получены данные об устойчивости исходной сети, координатные базы высот реперов деформационной сети и графики осадок.

Стороженко А.Ф. и Давыденко А.Е. предлагают авторскую методику уравнивания хода и дают рекомендации к оценке устойчивости реперов [62]. Анализ устойчивости проводится по результатам текущего цикла наблюдений, уравниванием обобщенным способом узлов с использованием математического аппарата теории матриц. Предложенный метод может быть реализован с использованием компьютерных технологий. Работу можно рассматривать как предложение к широкому использованию компьютерных технологий при оценке устойчивости реперов.

Важность обеспечения устойчивости опорных реперов подчеркивается в работе Тарасова А.В. и Сычева Е.С [64]. В статье [64] ими предложены меры по уменьшению воздействия сил морозного пучения на верхнюю часть реперной трубы. Для надежного закрепления якоря репера в толще многолетнемерзлых грунтов они предлагают применить технологии закладки реперов, предполагающие минимальные нарушения естественное сложение пород.

В работе [3] авторы предлагают способ уравнивания превышений в нивелирных сетях, позволяющий избежать необходимость составления и решения системы нормальных уравнений, при этом результаты уравнивания соответствуют результатам, полученным способом наименьших квадратов. Последовательными приближениями с использованием компьютерных технологий достигаются требуемая точность.

При обзоре исследований деформационных процессов (вертикальных смещений) нельзя не коснуться тематики использования появившихся в последнее время новых приборов и технологий измерений. К ним следует отнести: спутниковые технологии, включая ГНСС (глобальные навигационные спутниковые системы), ДЗЗ (дистанционное зондирование Земли), наземное и воздушное лазерное сканирование, в также измерения с использованием современных электронных тахеометров. В ряде работ приведены подробные описание упомянутых технологий измерений [1, 2, 22].

В работах [31, 53] подробно рассмотрен ГНСС-мониторинг деформаций. Суть состоит в многократном спутниковых определенийпунктов съёмочной сети с использованием ГНСС-приёмников. В качестве опорных пунктов используются космические аппараты (КА) с координатами, известными на любой момент времени. Расстояние до спутников измеряется с помощью приемной аппаратуры на борту КА и на земной поверхности. Расстояние определяется как произведение времени прохождения радиосигнала пути от КА до приемника на поверхности Земли на известную скорость электромагнитных колебаний. Для определения трехмерных координат точки достаточно знать расстояния до трёх КА [23, 31].

В настоящее время действуют следующие глобальные системы: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (ЕС) [72], BeiDou (Китай).

Для повышения точности измерений на сегодняшний день применяются методы [81]:

– DGNSS (Differential Global Navigation Satellite Systems): базисное расстояние составляет 100-200 км, точность ±1 м;

– GNSSRTK (RealTimeKinematic): базисное расстояние может достигать 10-20 км при точности ±2 см.

Принцип действия методов представлен на рисунках 1.1-1.2.

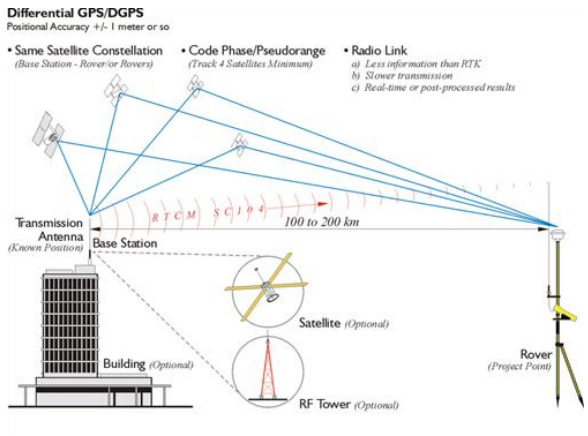


Рисунок 1.1 – DGPS [GEOG 862 - GPS and GNSS for Geospatial Professionals - https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1828].

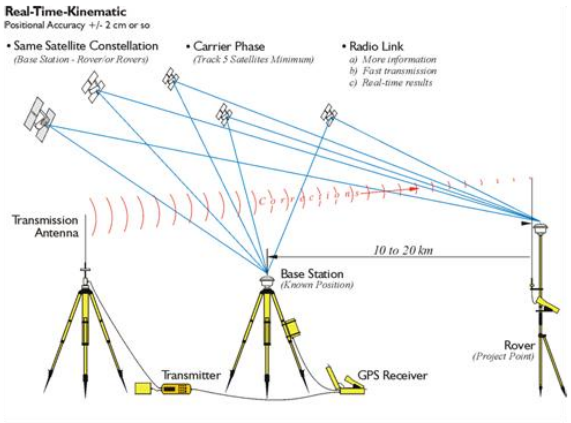


Рисунок 1.2 – RTK [GEOG 862 - GPS and GNSS for Geospatial Professionals - https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1828].

ГНСС - технологии бурно развиваются, однако остаются весьма затратными. Кроме того, измерение плановых положений пунктов обеспечивается с относительно высокой точностью (в миллиметровом диапазоне), но, что касается оценки вертикальных смещений, то здесь пока достигнут сантиметровый уровень точности.

Более высокую точность при измерений вертикальных смещений можно получить при применении метода радарной интерферометрии [9].

Радиолокационная съёмка является активным методом наблюдения: с помощью радарной антенны пространство облучается зондирующим сигналом, затем выполняется приём и обработка отраженного сигнала. На основании

отражённого сигнала формируются радиолокационные изображения (РЛИ), которые содержат информацию о различных свойствах объектов зондирования [32].

Для космического радиолокационного зондирования используется часть электромагнитного спектра – сверхвысокочастотный (СВЧ) диапазон – радиоволны длиной от единиц сантиметров до единиц метров и частотой от 10 ГГц до 400 МГц. Для решения задач радиолокационного зондирования земной поверхности применяют космические радиолокаторы L-, C- и X-диапазонов (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Диапазоны частот космических радиолокаторов с синтезированной апертурой [32].

Диапазон	Частоты	Длина волны
L (long)	1-2 ГГц	15-30 см
S(short)	2-4 ГГц	7,50-15 см
C(compromise)	4-8 ГГц	3,75-7,50 см
X	8-12 ГГц	2,50-3,75 см

Основным средством космического радиолокационного зондирования является радиолокатор с синтезированной апертурой. РСА – активный когерентный датчик, установленный на борту самолёта или спутника. Принцип работы РСА вкратце заключается в следующих этапах:

1. Передатчик, установленный на борту спутника, формирует зондирующие сигналы;
2. С помощью радарной антенны выполняется зондирование поверхности;
3. Отраженные от поверхности сигналы принимаются записываются на специальном устройстве с фиксированием амплитуды и фазы сигнала;
4. Выполняется последовательное когерентное суммирование сигналов, принятых на отрезке полёта.

Определение смещений земной поверхности осуществляется на основе метода радарной интерферометрии, использующего фазовую информацию нескольких циклов когерентных измерений определенного участка земной

поверхности с изменением положения радара в пространстве. Технология космической радарной интерферометрии является высокоточным методом прямого определения деформаций поверхности [5]. Точность оценки смещений при использовании технологии интерферометрии постоянных отражателей составляет 2–4 мм по высоте [28].

Стоит отметить, что в последние годы радиолокационное зондирование претерпевает интенсивное развитие: увеличивается число спутников, качество и разнообразие получаемых данных, совершенствуются технические характеристики съёмочных систем и методики обработки получаемых данных, постоянно обновляется и разрабатывается новое прогрессивное программное обеспечение для обработки данных со спутниковых радаров. Кроме того, растёт доля космических радарных данных, предоставляемых в свободном доступе, что расширяет возможности их использования в научных целях.

Вместе с тем, этот вид съемки все же является пока весьма затратным. Требуется довольно много снимков и специального программного обеспечения для достижения заявляемой точности в 1-3 мм. Опыт применения радарной интерферометрии в России [28] показывает, что при стандартном наборе снимков возможно достичь точности 1-3 см. Кроме того, данные обычно сверяют с геометрическим нивелированием. В то же время для уникальных сооружений или при комплексном мониторинге метод радарной интерферометрии может быть весьма эффективен.

Наземное лазерное сканирование**.** В процессе наземного лазерного сканирования (НЛС) с высокой скоростью измеряются расстояния от сканера до точек объекта и регистрируются соответствующие направления – вертикальные и горизонтальные углы. Система НЛС выполняет тотальную съёмку объекта, а не отдельных точек, и результатом работы его трехмерное изображение. При НЛС применяются лазерные дальномеры, в основе работы которых лежат импульсный и фазовый безотражательные методы измерения расстояний, метод прямой угловой засечки.

Преимуществами НЛС являются: - возможность трехмерной визуализации объектов в режиме реального времени; - высокая точность измерений; - безопасность исполнителя при съемке на труднодоступных и опасных участках; - высокая производительность полевых работ; - высокая степень детализации результатов сканирования. К недостаткам относятся: - чрезвычайно большой и, как правило, избыточный объем получаемой информации; - высокая стоимость проведения работ; - зависимость от метеоусловий; - ограничения по дальности сканирования [19, 59]. НЛС набирает силу. Безусловно, там где необходимо площадная оценка состояния объектов НЛС может быть весьма эффективно. Однако, где надо ограничиться точечными замерами применение НЛС излишне.

В статье [1] приведено описание разных методов, как классических (традиционных), так и современных. К классическим отнесены: геометрическое нивелирование и измерения с использованием электронных тахеометров с цифровыми нивелирами. К современным - лазерное сканирование и мониторинг объектов с применением ГНСС. Показаны примеры реализации мониторинга на примере Обского моста. Предложены [1] варианты функционирования геодезического мониторинга Обского моста, разновидность мониторинга, функции, средства и методы мониторинга. Мониторинг предполагает три разновидности. Так, базовый геодезический мониторинг (ГМ) включает ежегодный мониторинг стабильности ОГС (опорной геодезической сети) в районе мостового перехода. Сезонный (ежеквартальный) мониторинг включает оценку вертикальных и горизонтальных деформаций элементов конструкции моста. Используемые приборы, технологии измерений и их обработки: геодезические спутниковые приемники в режиме статических измерений; высокоточные цифровые нивелиры и электронные тахеометры для геометрического и тригонометрического нивелирования; комбинированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга

Расширенный ГМ. Оперативный (по необходимости) мониторинг стабильности ОГС; ежемесячный мониторинг вертикальных и горизонтальных

деформаций элементов конструкции моста расширенным парком геодезических средств. Здесь предполагается применить: геодезические спутниковые приемники в режиме «статика» и «быстрая статика»; высокоточные цифровые нивелиры и электронные тахеометры для геометрического и тригонометрического нивелирования; лазерный сканер для слежения за 3D-деформациями отдельных элементов конструкции моста; комбинированные или специализированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга.

Предусмотрен также автоматизированный ГМ. Непрерывный мониторинг состояния ОГС и элементов конструкции моста автоматизированным парком геодезических приборов и систем. Используются геодезические спутниковые приемники в режиме «кинематика реального времени» с передачей информации по радиоканалу (сотовая связь, УКВ радио, WiFi); роботизированные электронные тахеометры; лазерные сканирующие системы; специализированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга.

В приведенной работе [1] показана необходимость расширения линейки методов, представленных в нормативе [16] с учетом современных реалий. Представляется весьма эффективным использование в комбинации современные и традиционные технологии измерений. Вместе с тем не выражены точностные параметры применяемых методов измерений, что какой метод обеспечивает. Также не показаны конкретные геодезические схемы. Но в целом статья весьма интересна, и направлена на совершенствование геодезического мониторинга.

Представленный краткий обзор научных работ позволяет, прежде всего, сделать вывод об актуальности тематики диссертационного исследования. Ключевыми вопросами остаются: оценка устойчивости опорных реперов (ниже подробно рассматриваются наиболее распространенные способы), использование компьютерных технологий при организации мониторинга и, конечно, изыскание возможности создания альтернативы геометрическому

нивелированию. Тенденцию исследований можно обозначить как широкое вовлечение компьютерных технологий с процесс обработки измерений и использование современных приборов и оборудования при изучении деформационного процесса.

1.1.2 Обзор разработок в области наблюдений за деформациями зданий и сооружений во Вьетнаме.

Во Вьетнаме в 80-е гг. XX века Геологический научно-технический институт Вьетнама в сотрудничестве с Федеральной службой государственного реестра, кадастра и картографии, проводили наблюдения за земной поверхностью в северной части Вьетнама (от провинции Тхань Хоа до Ханоя) на основе построения геодезических сетей нивелирования I, II и III классов. Одновременно создавали топографические карты этих районов [48].

Инженерно-строительный институт и Комитет по строительству являются главными организациями во Вьетнаме в вопросах проведения мониторинга оседаний для многих проектов гражданского строительства. В частности, в основу проектов мониторинга легли такие известные сооружения, как педиатрическая больница (1989-1991 гг., проводился мониторинг в 24 цикла наблюдений), Ханойская башня (2000-2001 гг., измерено 10 циклов), городской район Нам Тханг Лонг (2006-2008 гг., 15 циклов), здание Вьетнамского государственного конференц-центра (2006-2008 гг., 20 циклов), стадион Ми Динь (2002-2005 гг., 24 цикла) и др [48].

Одним из важнейших документов в области мониторинга оседаний при строительстве во Вьетнаме является «Технический процесс мониторинга гражданских и промышленных зданий методом геометрического нивелирования» [90].

– TCXDVN 271:2002 [90], прикрепленное к разрешению 17/2002/QĐ-BXD, утвержденному комитетом по строительству. Он считается первым правовым документом во Вьетнаме, регулирующим принципы мониторинга оседаний при гражданском и промышленном строительстве, и содержит информацию обо всем накопленном опыте и достижениях в области

мониторинга оседаний при строительстве, как во Вьетнаме, так и в других странах мира.

В работе [90] представленаметодика наблюдений за вертикальными смещениями в ходе работ на гражданских и промышленных объектах. В работе описан порядок закладки реперов, выбор оборудования для измерения оседаний, геометрические методы измерений, обработка данных оседаний и т.д. Кроме того, это вьетнамский стандартный документ, который регламентирует стандарты точности для каждого класса сети при различных видах работ и расположении в районах с различнымигрунтами (1.4.2).

На сегодняшний день Вьетнам продолжает совершенствование в области геодезических наблюдений и геомониторинга, что способствует разработке новых методик и росту числа проектов.В работе [73] показано, что на сегодняшний день во Вьетнаме в дополнение к методам мониторинга вертикальных деформаций традиционными методами (А. Костехель, Г.К. Ботян, В.Н. Ганьшин, П. Марчак, В.Ф. Черников и т.д.) используются современные методы для обеспечения дополнительного контроля при измерениях вертикальных деформаций. Одним из таких способов является контроль вертикальных смещений посредством магнито-электрических устройств (индикатор наклона) или гидравлики. Однако эти методы в основном используются для зданий при контроле оседаний земной толщи на различных глубинах. Принцип этих методов основывается на использовании реперов с известными координатами, используемых в качестве опорных.

1.1.3 Негативное развитие деформационных процессов при строительстве и эксплуатации гражданских сооружений.

Необходимость совершенствования методов геодезических наблюдений за деформациями различных объектов доказывают случаи прихода их в аварийное состояния.

Согласно нормативным документам в России и Вьетнаме гражданскими считаются частные дома, квартирные дома, общественные учреждения (учебные заведения, медицинские учреждения, культурные сооружения, здания

по оказанию социальных услуг и др.). Во Вьетнаме это указано в нормативном документе «Государственные технические нормы и правила классификации гражданских и производственных сооружений, и создания городской инфраструктуры», утвержденном Министерством строительства Социалистической республики Вьетнам [39].

Рассматривая негативное влияние деформационных процессов на здания и сооружения, можно заметить, что строения подвергаются сдвигам и деформациям в связи с рядом факторов, условно разделяемых на две основные группы: влияние природных факторов и влияние строительства и эксплуатации зданий. В ряде случаев заранее неизвестно какой фактов влияет. В этой связи рамках данной диссертационной работы предусматривается рассмотрение наиболее общего случая, когда возможно действие обеих групп факторов.

Как известно, наблюдения за деформациями зданий и сооружений является одним из важнейших и наиболее необходимых мероприятий для оценки их устойчивости и тем самым обеспечения надежности и безопасности эксплуатации. Данный процесс имеет особую важность при строительстве зданий и вводе их в эксплуатацию. Основными деформациями зданий и сооружений, возникающими при строительстве и эксплуатации, являются оседание, наклон, подъем или спуск, выпучивание, скручивание.

На сегодняшний день здания и сооружения подлежит рассмотрению в системе «основание-сооружение», что является существенным при возникновении различных видов деформаций. Далее подробно рассмотрены указанные выше виды деформаций.

В соответствии с [51] приведем виды деформаций оснований фундаментов, связанных с вертикальными перемещениями, составляющими цель нашей работы.

Осадки - деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственного веса грунта, не сопровождающиеся коренным изменением его структуры;

Просадки - деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, как, например, замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т.п.;

Подъемы и осадки - деформации, связанные с изменением объема некоторых грунтов при изменении их влажности или воздействии химических веществ (набухание и усадка) и при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта (морозное пучение и оттаивание грунта);

Оседания - деформации земной поверхности, вызываемые разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод, карстово-суффозионными процессами и т.п..

В соответствии с ГОСТ 24846-81 Грунты. Методы измерения деформаций [17] оснований зданий и сооружени вертикальные перемещения включают:

Термин	Определение
Вертикальные перемещения основания фундамента	Осадки, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственной массы грунта; просадки, происходящие в результате уплотнения под воздействием как внешних нагрузок и собственной массы грунта, так и дополнительно с ними действующих факторов (замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т. п.); набухания и усадки, связанные с изменением объема некоторых видов глинистых грунтов при изменении их влажности, температуры (морозное пучение) или воздействии химических веществ
Крен фундамента	Деформация, происходящая в результате неравномерной осадки, просадки, подъема и т. п. и характеризующаяся разностью вертикальных перемещений точек, отнесенной к расстоянию между ними

При строительстве здание может оседать по нескольким причинам. Одной из них являются вибрации при использовании строительных машин или

неравномерное распределение нагрузок. Данный вид деформаций может влиять не только на строящееся здание, но и на расположенные рядом (рисунок 1.3). Использование зданий, подвергающихся деформациям, чрезвычайно опасно для жизни человека.

Рисунок 1.3 – Картина деформирования здания

Крен. Данный вид деформаций возникает при смещении здания относительно вертикальной оси. Крен часто встречается в зданиях с высокой степенью жесткости. Ранее высота гражданских зданий была небольшой, поэтому влияние неравномерная осадка могла быть незначительной. На сегодняшний день высота многих гражданских зданий может достигать десятков и даже сотен метров, что, безусловно, приводит к повышению опасности, и требует частого и точного контроля (рисунок 1.4).

Рисунок 1.4 – Крен гражданского здания

Подъем и осадка. Данные деформации обычно появляются в зданиях и сооружениях с малой степенью жесткости фундамента и ее равномерностью. При этом одна часть здания может испытывать осадку, а другая - подъем.

1.1.4 Негативное развитие деформационных процессов при строительстве и эксплуатации промышленных сооружений.

По данным нормативных документов [39] промышленными считаются следующие здания и сооружения:

- сооружения по добыче полезных ископаемых (уголь, руды, нефть, природный газ и др.);
- предприятия по производству химических веществ, нефтехимии, переработки природного газа;
- металлургические заводы, заводы машиностроения;
- производства информационных технологий;

– предприятия по производству различных видов энергии (тепловая, гидроэнергия, ядерная).

Во Вьетнаме данная классификация представлена в нормативном документе «Государственные технические нормы и правила классификации гражданских и производственных сооружений, и создания городской инфраструктуры» [39].

Рассмотрим случаи негативного влияния деформаций на промышленные сооружения. Как было описано ранее, наблюдения за деформациями зданий и сооружений являются необходимым мероприятием при оценке устойчивости зданий для обеспечения максимальной безопасности при эксплуатации. В промышленных сооружениях могут возникать те же деформации, что и в гражданских. Особенности деформационного процесса в промышленных сооружениях обусловлены их условиями эксплуатации. Примеры промышленных предприятий: заводы, предприятия по добыче полезных ископаемых (карьеры, рудники, шахты, отвалы), ТЭЦ, ГЭС и др.

При чрезвычайной ситуации в промышленных предприятиях, возникщих по причине критических (предельных) деформаций, ущерб может оказаться не только в виде разрушений сооружений и больших человеческих потерях, но и нанесении вреда окружающей среде.

Например, для ГЭС при деформациях, приводящим к трещинам, разрушения могут быть катастрофическими (рисунок 1.5), так как высота сооружения зачастую достигает нескольких сотен метров, а объем воды – 700-800 млн м^3.

Рисунок 1.5 – Осадка плотины ГЭС (деформация привела к трещинам и прорыву воды)

Следующим примером может служить оценка деформаций бортов карьеров. При наблюдениях за деформацией прибортовой земной поверности закладывают наблюдательные станции по профильным линиям, ориентированным перпендикулярно линии борта карьера [24]. На расстоянии более 1,5 глубины карьера закладывают опорные репера и далее ближе к верхней бровке карьера рабочие репера. Наблюдения за оседаниями земной поверхности выполняют методом геометрического нивелирования. Оценки вертикальных перемещений выполняют относительно опорных реперов (рисунок 1.6).

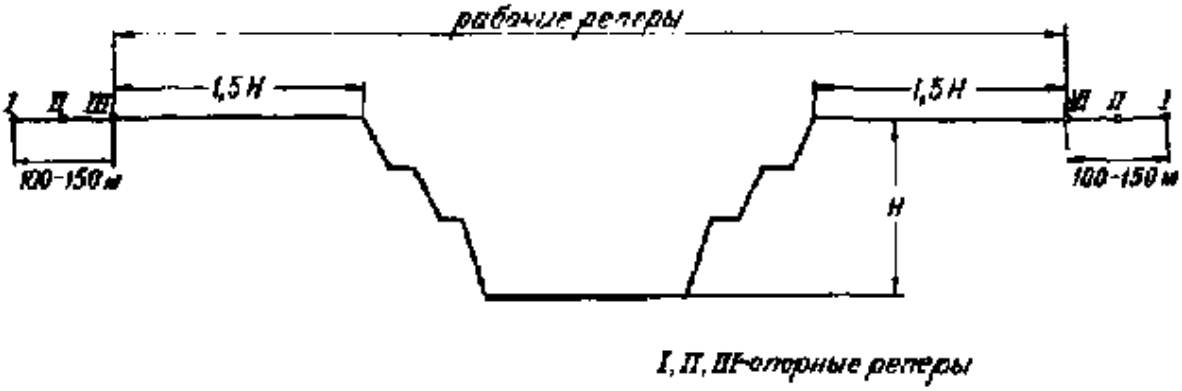


Рисунок 1.6 – Схема наблюдательной станции на карьере.

Подобные станции закладываются на подработанных территориях (рисунок 1.7)

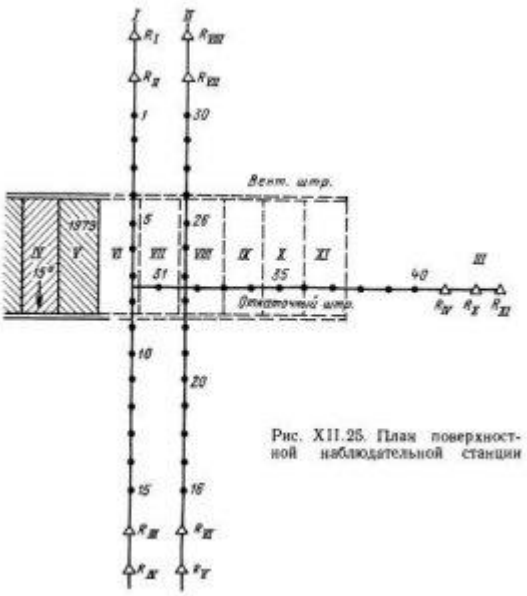


Рисунок 1.7 – Схема наблюдательной станции на подработанной территории (шахта [http://ctcmetar.ru/marksheyderskoe-delo/9278-nablyudeniya-za-sdvizheniem-gornyh-porod.html])

Как видно в обоих случаях возникает актуальная задача оценки устойчивости опорных реперов.

В ходе рассмотрения влияния деформаций на сооружения при строительстве и эксплуатации в разделах 1.1.1 и 1.1.2, можно сделать выводы:

1. Весьма актуальной является задача совершенствования методов наблюдений за вертикальными смещениями земной поверхности, которая одинакова важна как для промышленных зданий, так и для гражданских.
2. Для решения этой задачи (п. 1) необходим анализ существующих методов наблюдений.

1.2 Точность измерений

1.2.1 Нормы точности измерений в России

Согласно ГОСТ 24846-2012 [17], точность измерения вертикальных и горизонтальных деформаций следует определять в зависимости от ожидаемого значения перемещения, установленного проектом, в соответствии с таблицей

1.2. На основании определенной по таблице 1.4 допускаемой погрешности устанавливают класс точности измерения вертикальных перемещений фундаментов зданий и сооружений по таблице 1.3.

Таблица 1.2 – Точность измерения вертикальных и горизонтальных перемещений

Расчетное значение вертикальных или горизонтальных перемещений, предусмотренное проектом, мм	Допускаемая погрешность измерения перемещений в мм, для периода			
	строительного		эксплуатационного	
	Грунты			
	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые
50	1	1	1	1
50...100	2	1	1	1
100...250	5	2	1	2
250...500	10	5	2	5
500	15	10	5	10

Таблица 1.3 – Класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещений

Класс точности измерений	Допускаемая погрешность измерения вертикальных перемещений, мм
I	1
II	2
III	5
IV	10

При отсутствии данных по расчетным значениям деформаций оснований фундаментов классы точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещений допускается устанавливать:

- I, II – для зданий и сооружений: уникальных, длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации, возводимых на скальных и полускальных грунтах, на песчаных, глинистых и других плотных сжимаемых грунтах;
- III – для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;
- IV – для земляных сооружений.

1.2.2 Точность измерений деформаций во Вьетнаме

Для понимания понятия «точности» в измерениях оседаний (осадок) при строительстве, необходимо изначально рассмотреть такое понятие, как предельное значение осадки. В случае, если значение осадки репера меньше предельного, то данный репер считается устойчивым. Абсолютная осадка – это разность вертикальных смещений реперов между двумя циклами (Δ). Существует два фактора, служащих появлению этой разности вертикальных перемещений двух реперов:

– по причине механического смещения репера (δ);
– по причине погрешности измерений деформаций (m_Δ).

Таким образом по разнице высот (Δ) можно судить о суммарном влияния этих факторов, а дифференциальная оценка строится на теоретической базе.

Степень осадки и устойчивости репера можно оценить по значению погрешности измерений (m_Δ). При осадке (оседании) репера в пределах значений погрешности измерений (m_Δ) считается, что репер устойчивый, и обратное, если осадка репера превышает значение погрешности (m_Δ), то репер не является устойчивым.Таким образом, точность точек измерения оседаний определяется величиной погрешности измеренийm_Δ.

В соответствии со стандартом 271:2002 [90,63], установленным во Вьетнаме, различают три уровня точности измерений оседаний (осадок)в зависимости от особенностей земной поверхности и важности сооружения:

Уровень I. Измерение уровня оседаний сооружений, построенных на твердой и полутвердой земной толщи. Применяется к сооружениям повышенной важности.

Уровень II. Измерение уровня оседаний сооружений, построенных на значительно деформированных земных поверхностях. Измерение выполняется с целью выявления причин нарушения земной поверхности.

Уровень III. Измерение уровня оседаний сооружений, построенных на землях с сильной осадкой, способных к поглощению воды, и на заболоченных поверхностях, плохо держащих фундамент.

По вышеуказанному стандарту погрешность сети, определяемая по двух циклам, составляет:

Уровень I: $m_{\Delta} = \pm 1$ мм.

Уровень II: $m_{\Delta} = \pm 2$ мм.

Уровень III: $m_{\Delta} = \pm 5$ мм.

Как следует из приведенного описания, нормы во Вьетнаме схожи с российскими.

1.3 Проектирование наблюдений за деформациями

1.3.1 Методики геодезических наблюдений за деформациями оснований зданий и сооружений в России

В Российской Федерации действует нормативный документ «ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений», введенный 01.07.2013 г. Данный документ устанавливает методы определения деформаций (осадок, наклонов, сдвигов и т.п.) оснований фундаментов строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений [17].

Определение деформаций проводится в целях определения абсолютных и относительных значений деформаций и сравнения их с расчетными, выявления причин возникновения и степени опасности деформаций, принятия своевременных мер по борьбе с возникающими деформациями, получения необходимых характеристик устойчивости оснований и фундаментов и др.

В процессе мониторинга деформаций оснований фундаментов должны быть измерены (отдельно или совместно) следующие величины:

- вертикальные перемещения (осадки, сдвиги, просадки, подъемы, прогибы и т.п.);
- горизонтальные перемещения (сдвиги);
- наклоны (крены).

Перед началом измерений вертикальных перемещений фундаментов необходимо установить реперы (исходные геодезические знаки высотной основы) и деформационные марки (контрольные геодезические знаки, размещаемые на зданиях и сооружениях, для которых определяют вертикальные перемещения).

Деформационные марки устанавливаются по всему периметру здания (сооружения), внутри его, в том числе на углах, на стыках строительных блоков, по обе стороны осадочного или температурного шва, в местах примыкания продольных и поперечных стен, на поперечных стенах в местах пересечения их с продольной осью, на несущих колоннах, вокруг зон с большими динамическими нагрузками, на участках с неблагоприятными геологическими условиями.

Вертикальные перемещения оснований фундаментов измеряют одним из следующих методов или их комбинированием: геометрическим, тригонометрическим или гидростатическим нивелированием, фотограмметрией.

Геометрическое нивелирование следует применять в качестве основного метода измерения вертикальных перемещений. Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования должны приниматься в соответствии с таблицей 1.4.

Способ проведения работ следует принимать для классов нивелирования:

- I – двойным горизонтом, способом совмещения, в прямом и обратном направлении или замкнутый ход;
- II – одним горизонтом, способом совмещения, замкнутый ход;
- III – одним горизонтом, способом наведения, замкнутый ход;
- IV – одним горизонтом, способом наведения.

Таблица 1.4 – Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования

Условия геометрического нивелирования	Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования классов			
	I	II	III	IV
Применяемые нивелиры	Н-05 и равноточные ему		Н-3 и равноточные ему	
Применяемые рейки	РН-05 (односторонние штриховые с инварной полосой и двумя шкалами), инварные штрих-кодовые		РН-3 (двусторонние шашечные), складные штрих-кодовые	
Число станций незамкнутого хода, не более	2	3	5	8
Визирный луч: - длина, м, не более - высота над препятствием, м, не менее	 25 1,0	 40 0,8	 50 0,5	 100 0,3
Неравенство плеч (расстояний от нивелира до реек), м, на станции, не более	0,2	0,4	1,0	3,0
Накопление неравенств плеч, м, в замкнутом ходе, не более	1,0	2,0	5,0	10,0
Допускаемая невязка, мм, в замкнутом ходе (- число станций)	±0,3√n	±0,5√n	±1,5√n	±5√n

1.3.2 Способы организации наблюдений во Вьетнаме

Сети реперов для наблюдений за оседаниями проектируются на основе особенностей осадки сооружений, площади осадки и земной поверхности, на которой возведено сооружение. Деформационные сети при наблюдениях за оседаниями – это сети, предназначенные для определения вертикальных смещений зданий и сооружений, закладываемые на территории для проведения геодезического мониторинга. Точки сетиизмеряются с высокой точностью и в соответствии с требованиями, предъявляемыми к государственным геодезическим сетям I, II и III класса [48, 73, 46, 37] (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Технические стандарты геометрических измерений при мониторинге вертикальных смещений

	Технические требования	**Класс I**	**Класс II**	**Класс III**
1	Длина луча визирования, м	≤ 25	≤ 25	≤ 40
2	Высота луча визирования, м	$0.8 \leq h \leq 2.5$	$0.5 \leq h \leq 2.5$	$0.3 \leq h \leq 2.5$
3	Расхождение между превышениями, измеренными в прямом и обратном ходе (мм), где n – число станций	$\leq 0.3\sqrt{n}$	$\leq 0.5\sqrt{n}$	$\leq 1.0\sqrt{n}$
4	Невязка измерений (мм), где n – число станций	$\leq 0.3\sqrt{n}$	$\leq 1.0\sqrt{n}$	$\leq 2.0\sqrt{n}$

Нивелирные сети, контролирующие осадки зданий и сооружений, проектируются соответственно двум уровням: базовому и мониторинговому [68]. Для строительства сооружений измерение оседания проводится измерением расстояния, так же, как и для мостов, плотин и т.д. Сеть в основном проектируется по опорам с обеих сторон сооружения. Нивелирная сеть проектируется по реперам, расположенным по плотине сооружения [67].

Съемочные сети для измерений оседаний сооружений проектируются в виде сетей сгущения с равномерно распределенными по территории реперами для обеспечения высокой точности. Нивелирная сеть также имеет контрольные реперы, расположенные в местах концентрации оседаний.

1.3.2.1 Построение исходной геодезической сети

Что касается проектирования сетей, нивелирные сети могут быть размещены как вдоль объектов, так и по периметру вокруг них. С целью определения надежного репера, по которому будет рассчитана степень оседания строения, необходимо определить план проектирования и составить верный расчет [68]. Нивелирная сеть используется для измерения вертикальных смещений точек геодезической сети.

Существует три типа исходных (опорных) реперов: глубинные, грунтовые и пристенные [67, 20].

Глубинные реперы располагают вблизи сооружения, их устанавливают впрочных породах грунтовой толщи. Для обеспечения точности государственной геодезической сети I класса таких реперов должно быть не менее двух.

Грунтовые реперы располагают вне территории влияния сооружения в количестве не менее трех. Они используются в случае, если необходима точность II и III уровня.

Пристенные реперы устанавливают в основании конструкций, стен как устойчивых сооружений, так и сооружений, требующих измерения осадки. Кроме пристенных реперов можно использовать реперы, установленные на фундаменте.

Планирование закладки реперов для измерений вертикальных смещений зависит от особенностей местности. Наилучшим вариантом является равномерное расположение реперов относительно здания.

Нивелирные сети проектируются на уровне государственных геодезических сетей I, II и III классов [48, 73]. Наблюдения производятся в соответствии с требованиями, предъявляемыми к указанным классам нивелирования. В процессе используется технология (способ) нивелирования «из середины» (рисунок 1.8).

Прибор устанавливается в середине звена реперов (A,B) на одинаковом расстоянии между точками A и B; при этом превышение рассчитывается по формуле [10, 38]:

$$h_{AB} = b - a \tag{1.1}$$

где a и b – отметки по рейкам, расположенным на соответствующих пунктах A и B.

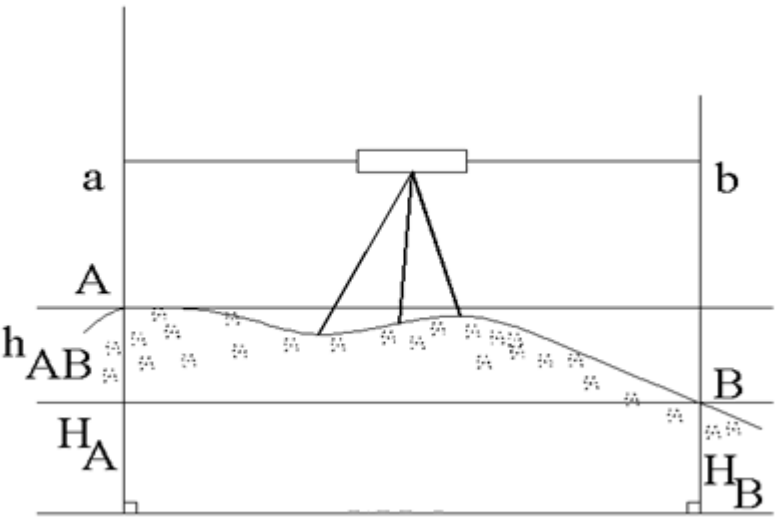


Рисунок 1.8 – Схема нивелирования по способу «из середины»

В основном используются приборы марок Н-05Т, Ni002, Ni004, Ni007 идр. Приборы должны удовлетворять следующим требованиям:

– увеличениеобъективаVx ≥ 40;
– цена деления шкалы в диапазоне 0,05 ÷ 0,10 мм;
– высокая чувствительность.

Перед использованием прибора, следует его проверить на соответствие вышеперечисленным требованиям, а также на предмет погрешности определения углов. В основном используются инварные рейки, цена деления шкалы которых составляет 0,5 мм, длиной от 1 до 3 метров. Рейка также должна быть поверена перед использованием.

Переходя к вопросу об уравнивании геодезических сетей, то существует достаточно много методов, например, метод Миттермайера [48, 77], метод Берхаммера [77], метод Маркузе [66]. В качестве примера представлен алгоритм метода Миттермайера [48, 77].

1. Выбирают наивысшую точку сети. Имеют (t+1) как переменную. Определяют приближенное значение переменных.
2. Составляют систему уравнений (1.2):

$$V = AX - L \tag{1.2}$$

$$V = \begin{pmatrix} v_1 \\ \dots \\ v_n \end{pmatrix}_{nx1} \quad (1.2а) \qquad A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1(t+d)} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{n(t+d)} \end{pmatrix}_{nx(t+d)} \quad (1.2б)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}_{nx1} \quad (1.2в) \qquad L = \begin{pmatrix} l_1 \\ \dots \\ l_n \end{pmatrix}_{nx1} \quad (1.2В)$$

Где: V–матрица поправок

A–матрица коэффициентов

X–матрица приращений

L–матрица свободных членов

n–количество всех измерений

t– количество избыточных измерений

d– недостающее число

3. Система стандартных уравнений имеет вид:

$$(A^TPA)X - (A^TPA) = NX - M = 0 \quad (1.3\ )$$

Где: P -матрица весов

При работе со свободными сетями матрица N является вырожденной,так что матрица N^{-1} не может быть вычислена. Чтобы решить эту проблему, необходимо сделать отдельный шаг при расчете матрицы N, что означает, что необходимо вычислить дополнительные матрицы.

4. Расчет дополнительной матрицы.

Разделяют матрицы A = (A_1/A_2), X = $\left(\frac{X_1}{X_2}\right)$. Матрицы A_1, A_2 имеют столько же строк, сколько и матрица A – число, равное количеству измеренных высот. В матрице A_1 количество столбцов равно определяемому числу измеренных значений (t) при t = p – 1 и t выбирают первым столбцом матрицы A. Матрица A_2 добавляется в конец матрицы A. Матрица X_1 имеет число строк, равное количеству определяемых значений (t), а матрица X_2 имеет d = 1.

- Составляютматрицы (1.4):

$$N_{11} = A_1^T P A_1$$

$$N_{12} = A_1^T P A_2 \qquad (1.4)$$

$$N_1 = (N_{11} / N_{12})$$

- Определяют матрицу:

$$N^0 = N_1^T (N_1 N_1^T)^{-1} \qquad (1.5)$$

5. Вычисляют обобщенную матрицу A_0

$$A_0 = N^0 A^T{}_1 P \qquad (1.6)$$

6. Вычисляют матрицы приращений (X) и матрицы поправок (V)

$$X = A_0 L \qquad (1.7)$$

$$V = AX - L \qquad (1.8)$$

7. Вычисляют матрицы после уравнивания высот и превышений.

$$X' = X_0 + X \qquad (1.9)$$

$$L' = L + V \qquad (1.10)$$

Где: X' – Уравненная высота точки

L' – Уравненное превышение.

8. Рассчитывают точность:

Для диапазона измерений по формуле

$$m_0 = \sqrt{\frac{V^T PV}{n-t}} \qquad (1.11)$$

Где: m_0: Средняя квадратическая погрешность единицы веса

Для переменных

$$Q_{XX} = A_0 P^{-1} A_0^T = N_0 N_{11} N_0^T$$

$$m_x = m_0 \sqrt{(Q_{XX})} \qquad (1.12)$$

Где: Q_{XX}: Матрица обратных весов приращений

m_x: Средняя квадратическая погрешность измерений отметки репера

Данные математические действия могут быть успешно автоматизированы.

Оценка устойчивости опорных реперов высотной сети является важным процессом, т.к. от этого зависит безопасность строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

В настоящее время существует довольно много способов определения устойчивости опорных реперов. Среди них можно выделить: А. Костехеля, В.А. Карпенко, В.Ф. Черникова, В.Н. Ганьшина, Мартусевича и др [11, 82]. У каждого способа есть свои достоинства и недостатки. Однако эффективность способа на взгляд автора должна отвечать следующим требованиям:

1. Способ должен быть основан на теоретической базе. Для выполнения этого требования необходимо опираться на математические операции и практический опыт.
2. Способ должен выявлять надежность или оседание реперов в реальных условиях. Выполнение этого требования помогает оценить уровень устойчивости реперов и контролировать точность определения результатов.
3. Способ должен быть применим на практике и прост в исполнении, вычисления должны быть автоматизированы.

В разделе 1.4 представлено рассмотрение нескольких способов оценки устойчивости реперов при строительстве сооружений; также оценены достоинства и недостатки каждого способа.

1.3.2.2 Построение деформационной геодезической сети

Реперы деформационной геодезической сети должны быть установлены надежно в местах механических смещений, деформаций и разрушений. Реперы закрепляются в местах соединения строительных блоков, зазорах с большим давлением, местах нестабильных геодезических условий, местах сильного оседания. Реперы устанавливают на одной высоте.

Число реперов должно быть достаточным для измерения оседания сооружения. Репер должен оставаться на месте до конца периода мониторинга. Реперы должны быть просты, удобны при закладке и установлении реек. Место

соприкосновения репера и рейки не должно изменяться в разных циклах измерений. Место закладки репера должно быть освещено; доступ к нему не должен быть затруднен. При выполнении этих требований можно судить о готовности исходной сети реперов к работе [73, 74].

При установлении репера нужно учитывать высоту реперов относительно земной поверхности для большего обзора. Реперы устанавливают на одном уровне с приборами для проведения наблюдений визирным лучом. Для реек, установленных в начале репера, следует поставить репер на высоте 15-20 см от земной поверхности; для свешенных реек следует поставить реперы на высоте 80-200 см от земной поверхности; расстояние репера до стены или столба должно составлять 3-4 см; для стенных реперов не следует устанавливать выше 1 см. Когда уровень оседания вокруг сооружения невелик, реперы следует устанавливать вглубь земли на 40-50 см.

Число реперов должно быть рассчитано таким образом, чтобы можно было определить все признаки оседаний сооружений, а также рассчитать финансовые расходы. Расстояние между реперами зависит от геологических свойств, структуры фундамента и всего сооружения, предполагаемых величин оседаний и целей наблюдения за оседаниями. Для таких сооружений заводского и гражданского назначения число реперов рассчитывается по формуле [42]:

$$N = \frac{P}{L} \tag{1.13}$$

где N – число реперов, P – периметр сооружения или длина фундамента, L – расстояние между реперами (обычно 10-15 м или по шагу столба).

Для сооружений с большой площадью число реперов рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{S}{F} \tag{1.14}$$

где N – число реперов, S – площадь фундамента, F – площадь, занимаемая реперами (обычно 100-150 м^2).

Порядок уравнивания геодезической сети и контроля смещений будет выглядеть следующим образом [69, 70]:

1. Находят число независимых переменных (t) по формуле:

   Для независимой сети:

$$t = p - 1 \tag{1.15}$$

   Для зависимой сети:

$$t = p - p^{*} \tag{1.16}$$

   Где: p – общее число высотных точек; p^{*}- число точек с известной высотой.

Выбирают (t) независимых переменных как число точек, которые нужно переоценить. Вычисляют примерную разность переменных, опираясь на высоты основных точек и абсолютные погрешности высот.

2. Составляют систему уравнений:

$$V = AX - L \tag{1.17}$$

   Где: V:Матрица поправок

   A:Матрица коэффициентов

   X:Матрица приращений

   L:Матрица свободных членов

3. Решают систему уравнений:

$$NX + M = 0 \tag{1.18}$$

   где:

$$N = (A^{T} PA) \tag{1.19}$$

$$M = (A^{T} PL) \tag{1.20}$$

После решения системы, вычисляют матрица приращения и матрица поправки:

$$X = N^{-1} M \tag{1.21}$$

$$\mathrm{V} = \mathrm{AX} - \mathrm{L} \tag{1.22}$$

4. Вычисление матрицы после уравнивания высот и превышений:

$$X' = X^{0} + X \tag{1.23}$$

$$\mathrm{L}' = \mathrm{L} + \mathrm{V} \tag{1.24}$$

5. Оценка точности включает:

   а) Для измеренных расстояний:

$$m_0 = \sqrt{\frac{V^T PV}{n-t}} \quad (1.25)$$

b) Для рассчитанных переоценок:

$$Q_{XX} = Q_{H'H'} = N^{-1} \quad (1.26)$$

$$m_{xj} = m_{H'j} = m_0 \sqrt{(N^{-1})_{jj}} \quad (1.27)$$

c) Для ряда неизвестных:

$$m_F = m_0 \sqrt{(Q_{FF})} \quad (1.28)$$

Где: $Q_{FF} = F_x^T N^{-1} F_X = F_x^T Q_{XX} F_X$

Во Вьетнаме автору не удалось найти научные работы по теме оценки устойчивости опорных реперов. После измерения и проверки устойчивости реперов сети, измеряют расстояние между реперами геодезической сети, затем проводят уравнивание независимой или зависимой сети для выявления погрешностей высот реперов геодезической сети. В конце, оценивают степень оседания реперов.

1.4 Способы оценки устойчивости опорных реперов

Существует целый ряд способов оценки устойчивости опорных реперов деформационных сетей, в которых применяются различные математические операции, однако оперируют в них одними и теми же физическими величинам – изменениями превышений между реперами по циклам. Различие методов состоит в принципе выбора исходной высоты при повторном нивелировании. Исходя из этого, существующие методы анализа устойчивости реперов подразделяются на три группы:

1. Корреляционный и дисперсионный методы анализа (методы В. Карпенко) [29, 30].
2. Способы, в основе которых лежит принцип неизменной отметки одного из наиболее устойчивых реперов сети (способы А. Костехеля [11, 80], Г.К Ботяна [11, 7], В.Н Ганшина [11, 12], Мартусевича [82]).

3. Способы, в основе которых лежит принцип неизменной средней отметки всех реперов сети или группы наиболее устойчивых реперов (способы В. Черникова [75], П. Марчака [11, 85, 84, 86, 87]).

1.4.1 Способ В.А. Карпенко

Теоретической базой способа В.А. Карпенко [29, 30] служит сравнение средней квадратической погрешности уравненных превышений, полученных из расчета на каждом цикле$m_{h_{ij}}$, и общей средней квадратической погрешности$\sigma_{h_i^*}$. Далее рассчитывают коэффициент корреляции для оценки, анализа и определения ненадежного репера.

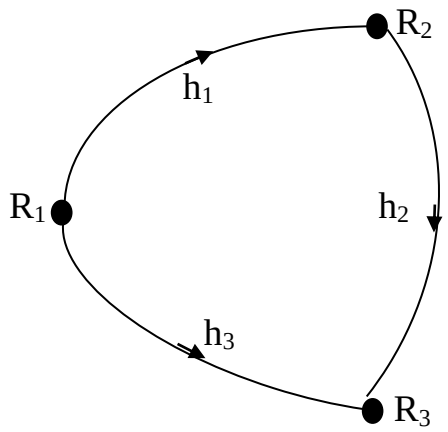


Рисунок 1.9 – Схема нивелирного хода

Рассмотрим нивелирования, представленную наРис (1.9), состоящую из трех опорных реперов R1, R2, R3 и имеющую превышения h1, h2, h3, измеренные в 10 циклах. Результаты представлены в следующей таблице 1.6:

Таблица 1.6 – Размещение превышений и средней квадратической погрешностиизмерений после уравнивания

Цикл	Превышения после уравнивания			Средняя квадратическая погрешностьизмерений после уравнивания		
	h'_{1j}	**h'_{2j}**	**h'_{3j}**	**mh_{1j}**	**mh_{2j}**	**mh_{3j}**
1	h'_{1_1}	h'_{1_2}	h'_{1_3}	mh_{1_1}	mh_{1_2}	mh_{1_3}
2	h'_{2_1}	h'_{2_2}	h'_{2_3}	mh_{2_1}	mh_{2_2}	mh_{2_3}
…	$h'_{\ldots}$	$h'_{\ldots}$	$h'_{\ldots}$	$mh_{\ldots}$	$mh_{\ldots}$	$mh_{\ldots}$
9	h'_{9_1}	h'_{9_2}	h'_{9_3}	mh_{9_1}	mh_{9_2}	mh_{9_3}
10	h'_{10_1}	h'_{10_2}	h'_{10_3}	mh_{10_1}	mh_{10_2}	mh_{10_3}

а) Выполняется вычисление средних общих превышений по результатам измерений в 10 циклах:

$$\overline{h}_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} h_{ij}^*}{10} \qquad (1.29)$$

б) Вычисляется разница между уравненным превышением (i = 1 ÷ 3). измеренным в каждом цикле, и средним общим превышением:

$$\Delta_{ij} = h_{ij}^* - \overline{h_i} \qquad (1.30)$$

при j = 1 ÷ 10. Вычисляются все превышения сети (i = 1 ÷ 3).

в) Вычисляется общая средняя квадратическая погрешность для каждого превышения по 10 циклам:

$$\sigma_{h_i^*} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} \Delta_{ij}^2}{10-1}} \qquad (1.31)$$

(назовем это общей средней квадратической погрешностью, т.к. она вычисляется по средним общимпревышениям).

Если общая средняя квадратическаяпогрешность (1.31) и средняя квадратическая погрешность уравненного превышения, вычисленная при уравнивании сети в каждом цикле mh_{ij} равны, то вычисляются остальные

превышения сети (i=1÷3) и также оцениваются результаты, и делаются выводы о надежности сети.

В противном случае, если имеется как минимум однопревышение сети не удовлетворяет условию общая средняя квадратическаяпогрешность (1.31) и средняя квадратическая погрешность превышения после уравнивание не равны, то следует провести проверку для нахождения надежных (устойчивых) и ненадежных реперов.

Для нахождения надежных и ненадежных реперов, опираются на определение коэффициентов корреляции, подходящих условиям оценки и анализа, основанного на планировке сети. Для большего понимания возьмем сеть с реперами R_1, R_2, R_3, где имеются три высоты h_1, h_2, h_3.Сеть имеет 10 циклов Рисунок 1.9. Имеем:

– Коэффициент корреляции, характеризующий разницу между высотами h_1 и h_2при постоянной высоте h_3

$$r_{h_1,h_2/h_3} = \frac{r_{h_1h_2} - r_{h_1h_3}r_{h_2h_3}}{\sqrt{(1-r^2_{h_1h_2})(1-r^2_{h_2h_3})}} \quad (1.32)$$

– Коэффициент корреляции, характеризующий разницу между высотами h_1 и h_3при постоянной высоте h_2

$$r_{h_1,h_3/h_2} = \frac{r_{h_1h_3} - r_{h_1h_2}r_{h_2h_3}}{\sqrt{(1-r^2_{h_1h_2})(1-r^2_{h_2h_3})}} \quad (1.33)$$

– Коэффициент корреляции, характеризующий разницу между высотами h_2 и h_3при постоянной высоте h_1

$$r_{h_1,h_3/h_2} = \frac{r_{h_2h_3} - r_{h_1h_2}r_{h_1h_3}}{\sqrt{(1-r^2_{h_1h_2})(1-r^2_{h_1h_3})}} \quad (1.34)$$

В формулах (1.28), (1.29), (1.30) коэффициент корреляции для разницы высот h_1 и h_u вычисляется по формуле:

$$r_{h_ih_u} = \frac{1}{\sigma_{h_i}\sigma_{h_u}}\frac{[\Delta_1\Delta_2]}{k} \quad (1.35)$$

По методике данного способа анализа, имеем несколько примечаний:

*Примечание 1.*Данный способ не предъявляет точных требований для доказательства предположения (1.31), то есть, нет определенных значений разницы между общей средней квадратической погрешностью $\sigma_{h_i^*}$ и средней квадратической погрешностью уравненного превышения $m_{h_{ij}}$ для получения выводов о надежности сети.

Примечание 2. Данный способ анализа имеет непростой математический ход вычислений, некоторые действия не обоснованы, точность невысокая, а также объем вычислений очень велик. Кроме того в литературе [90] показано, что для применения этого метода требуется достаточно большое количество циклов измерений, количество циклов измерения обычно должно составлять 10 циклов или более, а количество реперов должно быть не слишком велико. В случае большого количества реперов взаимосвязь между различиями будет очень сложной, что также повлечет за собой сложность при проведении анализа.

1.4.2 Способ А. Костехеля

Согласно теоретическим основамспособа А. Костехеля [11, 80, 44] предполагается, что после уравнивания нивелирной сети колебание значений одноименных превышений по циклам зависит только от осадок реперов. Автор предлагает следующую методику оценки устойчивости реперов. Пусть h и h' – уравненные значения превышений одного и того же звена соответственно в первом и i циклах наблюдений (i = I, II, III). Для сети (хода) грунтовых реперов (рисунок 1.10).

Значение (v) вычисляется по формуле:

$$v = h' - h\,, \tag{1.36}$$

отражающей суммарное влияние осадок реперов за период между первым и i циклами нивелирования. В табл. 1.5 приведены данные вычислений для двух циклов.

А. Костехель полагает, что репер, для которого $[vv] = min$, является наиболее устойчивым, и его высотная отметка из первого цикла должна быть

принята за исходную при вычислении высот других реперов в текущем цикле наблюдений.

Вычислим разности превышений (v) для циклов I и II.

Принимая за исходный репер 1 (рис. 1.10), получим:

для звена (1—2)

$$v_{12} = h_{12}' - h_{12} \tag{1.37}$$

для звена (1—3)

$$v_{13} = h_{13}' - h_{13} \tag{1.38}$$

для звена (1—4)

$$v_{14} = h_{14}' - h_{14} \tag{1.39}$$

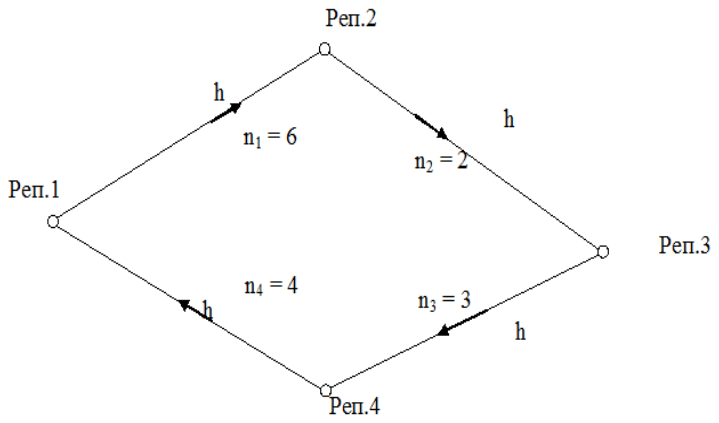


Рисунок 1.10 – Схема нивелирного хода

Далее, принимая последовательно за исходные реперы *2*, *3* и *4* сети, аналогично вычисляем величины vи их произведения [vv] для всех звеньев сети. Положим, что репер 3, для которого [vv] = min, во II и последующих циклах наблюдений принят за исходный при вычислении оптимальных высот остальных реперов.

Таблица 1.7 – Расчеты в циклах по методу А. Костехеля

Циклы I - II четырьмя реперами					
Исходный репер	Звенья сети			[vv]	Примечание
Реп.1	*1 - 2*	*1- 3*	*1 - 4*		
v	$h_{12}' - h_{12}$	$h_{13}' - h_{13}$	$h_{14}' - h_{14}$		
vv	$(h_{12}' - h_{12})^2$	$(h_{13}' - h_{13})^2$	$(h_{14}' - h_{14})^2$	$[v_1v_1]$	
Реп.2	*2 - 1*	*2 – 3*	*2 - 4*		
v	$h_{21}' - h_{21}$	$h_{23}' - h_{23}$	$h_{24}' - h_{24}$		
vv	$(h_{21}' - h_{21})^2$	$(h_{23}' - h_{23})^2$	$(h_{24}' - h_{24})^2$	$[v_2v_2]$	
Реп.3	*3 - 1*	*3 – 2*	*3 - 4*		
v	$h_{31}' - h_{31}$	$h_{32}' - h_{32}$	$h_{34}' - h_{34}$		
vv	$(h_{31}' - h_{31})^2$	$(h_{32}' - h_{32})^2$	$(h_{34}' - h_{34})^2$	$[v_3v_3]$	min
Реп.4	*4 - 1*	*4 – 2*	*4 - 3*		
v	$h_{41}' - h_{41}$	$h_{42}' - h_{42}$	$h_{43}' - h_{43}$		
vv	$(h_{41}' - h_{41})^2$	$(h_{42}' - h_{42})^2$	$(h_{43}' - h_{43})^2$	$[v_4v_4]$	

Для получения количественной характеристики А. Костехель предлагает определять степень относительной устойчивости или неустойчивости реперов сети.

Пусть H_{j1}и H_{ji} – высоты репера j (j = 1, 2, 3, 4) соответственно из первого и i циклов нивелирования;

Осадка репера j за время от первого до i цикла вычислены по формуле:

$$\Delta i = H_{ji} - H_{j1} \qquad (1.40)$$

Если осадка репера Δi не превосходит предельную погрешность определения ее $\Delta_{Пред}$, т. е. $\Delta i < \Delta_{Пред}$, то репер считается устойчивым, и наоборот.

Погрешности нивелирования по ходам от начального до исследуемого репера в первом и iциклах равны каждая $m_h\sqrt{\pi}$, гдеm_h – средняя квадратическая погрешность превышения, измеренного на станции в ходе одного направления при двух горизонтах инструмента или по двум шкалам реек; π– обратный вес эквивалентного хода, выраженный числом штативов.

Переходя к предельной погрешности определения осадки, получим (в мм):

$$\Delta_{Пред} = 0{,}90 \text{ мм } \sqrt{\pi} = K\sqrt{\pi} \qquad (1.41)$$

где K=0,90 мм.

Значения Δ_i и $\Delta_{Пред}$вычислены по формуле (1.40) и (1.41). Границы относительной устойчивости могут быть вычислены по формуле:

$$N = \frac{\Delta_{Пред}}{\Delta i} > 1 \qquad (1.42)$$

и относительной неустойчивости

$$I = \frac{\Delta_{Пред}}{\Delta i} < 1 \qquad (1.43)$$

Репер, изменивший свое положение, исключается из опорной сети.

Таким образом, последовательность вычисления оптимальных высот реперов опорной сети в рассматриваемом методе состоит в:

1) уравнивании нивелирной сети как свободной;
2) Определении наиболее устойчивого репера в текущем цикле (табл. 1.7);
3) вычислении высот реперов сети по исходной высоте устойчивого репера и уравненным превышениям по формуле (1.40);
4) расчете степени относительной устойчивости N или неустойчивости I для каждого из реперов сети по формуле (1.42) и (1.43);
5) улучшении качества опорной сети путем исключения неустойчивых реперов.

1.4.3 Способ Г.К. Ботяна

Согласно теоретическим основам способ Г.К. Ботяна [11, 7] предполагается, что величины (w) из равенства $D - nS_i = w_i$, т. е. наиболее устойчивым является тот репер, для которого w_i имеет наибольшее отрицательное значение.

Способ Г. К. Ботяна применялся для анализа устойчивости реперов на территориях, расположенных вблизи подрабатываемых территорий. Он повторяет в основных чертах способ А. Костехеля [11, 80].

Пусть h и h' – уравненные значения превышений одного и того же звена в первом и i циклах наблюдений соответственно (i = I, II, III). Для сети реперов (рисунок 1.10).

Значение (Δh_{ij}) вычисляется по формуле:

$$\Delta h_{ij} = h_{ij}' - h_{ij}\,, \qquad (1.44)$$

отражающей суммарное влияние осадок реперов за период между первым и i циклами нивелирования. В табл. 1.3 приведены вычисления для двух циклов.

В таблице 1.8 репер, для которого

$$[\Delta h_{ij}^2] = min \qquad (1.45)$$

считается наиболее устойчивым. Реперы с максимальным значением $[\Delta h_{ij}^2]$ исключается из числа пунктов опорных реперов.

Таблица 1.8 – Вычисление устойчивости реперов по способу Г.К. Ботяна

Циклы I - II четырьмя реперами					
Исходный репер	Звенья сети			$[\Delta h_{ij}^2]$	Примечание
Реп.1	*1 - 2*	*1- 3*	*1 - 4*		
Δh_{ij}	$h_{12}' - h_{12}$	$h_{13}' - h_{13}$	$h_{14}' - h_{14}$		
Δh_{ij}^2	$(h_{12}' - h_{12})^2$	$(h_{13}' - h_{13})^2$	$(h_{14}' - h_{14})^2$	$[\Delta h_{11}^2]$	
Реп.2	*2 - 1*	*2 – 3*	*2 - 4*		
Δh_{ij}	$h_{21}' - h_{21}$	$h_{23}' - h_{23}$	$h_{24}' - h_{24}$		
Δh_{ij}^2	$(h_{21}' - h_{21})^2$	$(h_{23}' - h_{23})^2$	$(h_{24}' - h_{24})^2$	$[\Delta h_{22}^2]$	
Реп.3	*3 - 1*	*3 – 2*	*3 - 4*		
Δh_{ij}	$h_{31}' - h_{31}$	$h_{32}' - h_{32}$	$h_{34}' - h_{34}$		
Δh_{ij}^2	$(h_{31}' - h_{31})^2$	$(h_{32}' - h_{32})^2$	$(h_{34}' - h_{34})^2$	$[\Delta h_{33}^2]$	
Реп.4	*4 - 1*	*4 – 2*	*4 - 3*		
Δh_{ij}	$h_{41}' - h_{41}$	$h_{42}' - h_{42}$	$h_{43}' - h_{43}$		
Δh_{ij}^2	$(h_{41}' - h_{41})^2$	$(h_{42}' - h_{42})^2$	$(h_{43}' - h_{43})^2$	$[\Delta h_{44}^2]$	min

Автор делает акцент на табулировании всех расчетов для сети с большим числом реперов и предлагает вычислять весовой коэффициент:

$$K = \frac{\Delta h_{Пред}}{\Delta h_{ij}}\,, \qquad (1.46)$$

характеризующий степень устойчивости реперов. В формуле (1.46) $\Delta h_{пред}$ – предельная погрешность определения изменений Δh_{ij} превышений. Если $K > 1$, то взаимное положение реперов принимается неизменным. При $K < 1$ из двух реперов *i* и *j* изменил положение тот, которому соответствует большая величина (1.45).

Для этого способа анализа стабильности реперов характерным является принятие гипотезы смещения реперов (или все смещаются ввеерх, или вниз) [11].

Обозначив осадки реперов через S_i (i = 1, 2, ..., i, ..., j, ..., n), а разности одноименных превышений через

$$\Delta h_{ij} = h_{ij}' - h_{ij} \tag{1.47}$$

напишем для каждого цикла сети:

$$\left.\begin{matrix} S_2 - S_1 = \Delta h_{12} \\ S_3 - S_1 = \Delta h_{13} \\ \dots\dots\dots\dots \\ S_n - S_1 = \Delta h_{1n} \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} S_1 - S_2 = \Delta h_{21} \\ S_3 - S_2 = \Delta h_{23} \\ \dots\dots\dots\dots \\ S_n - S_2 = \Delta h_{2n} \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{matrix}\right\}; \quad \left.\begin{matrix} S_1 - S_n = \Delta h_{n1} \\ S_2 - S_n = \Delta h_{n2} \\ \dots\dots\dots\dots \\ S_{(n-1)} - S_n = \Delta h_{n(n-1)} \end{matrix}\right\} \tag{1.48}$$

Полагая попеременно в уравнениях (1.45) $S_i = 0$, получим:

$$\left.\begin{matrix} S_1 = 0 \\ S_2 = \Delta h_{12} \\ S_3 = \Delta h_{13} \\ \dots\dots \\ S_n = \Delta h_{1n} \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} S_2 = 0 \\ S_1 = \Delta h_{21} \\ S_3 = \Delta h_{23} \\ \dots\dots \\ S_n = \Delta h_{2n} \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{matrix}\right\} \left.\begin{matrix} S_n = 0 \\ S_1 = \Delta h_{n1} \\ S_2 = \Delta h_{n2} \\ \dots\dots \\ S_{(n-1)} = \Delta h_{n(n-1)} \end{matrix}\right\} \tag{1.49}$$

Далее, обозначив $\sum_1^n S = D$ и $\sum_1^n \Delta h = w_i$, для каждого столбца получим равенство:

$$D - nS_i = w_i \tag{1.50}$$

В табл. 1.9 вычислены разности Δh_{ij} между превышениями последующего и первого циклов и величины w_i.

Рассмотренный способ позволяет довольно просто выявить характер смещения грунтовых реперов и определить наиболее устойчивый из них. При этом имеет место и удобная табличная форма представления материала и использование свойств кососимметричной матрицы.

Таблица 1.9 – Разности между превышениями циклов

Δh_{ij}, мм (циклы I - II)				
Репер	Репер			
	1	2	3	4
1	0	$h_{12}' - h_{12}$	$h_{13}' - h_{13}$	$h_{14}' - h_{14}$
2	$h_{21}' - h_{21}$	0	$h_{23}' - h_{23}$	$h_{24}' - h_{24}$
3	$h_{31}' - h_{31}$	$h_{32}' - h_{32}$	0	$h_{34}' - h_{34}$
4	$h_{41}' - h_{41}$	$h_{42}' - h_{42}$	$h_{43}' - h_{43}$	0
w_i	w_1	w_2	w_3	w_4

1.4.4 Способ В.Н. Ганьшина

Способ В.Н. Ганьшина [11, 12] основан на сравнениимотметок реперов после проведения двух циклов.

Проанализируем устойчивость грунтовых реперов (рис. 1.10). Пусть проведено 3 цикла нивелирования.

В соответствии с теорией результаты каждого цикла надлежит уравнять по условию$\overline{H_1} + \overline{H_2} + \overline{H_3} + \cdots + \overline{H_n} = 0$ и получить значения высот H_{ij}с весом $\overline{P_{ij}}$**,** где i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3.

Веса $\overline{P_{ij}}$уравненных высот являются функцией структуры сети и весов измеренных превышений. Поэтому, если программа наблюдений в каждом цикле остается неизменной, то $\overline{P_{ij}}$= P_i для всех значений i = 1, 2, 3, 4 и j = 1, 2, 3.

Вычисленные указанным образом высоты реперов будут отнесены к одной и той же уровенной поверхности только в том случае, если средняя отметка реперов не изменила своего значения за время наблюдения всех 3 циклов.

Устойчивость репера i за период времени, прошедший с момента наблюдения j цикла до момента наблюдения r цикла, с доверительной вероятностью ρ = 0,9545, определяется критерием.

$$M = \left|\overline{H_{ij}} - \overline{H_{ir}}\right| \leq 2\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_j^2 + \hat{\sigma}_r^2}{\overline{P_i}}} \qquad (1.51)$$

где $\hat{\sigma}_j^2$ — оценка дисперсии измерения единичного веса в 1-3 цикле, которая

находится по формуле $\overline{\sigma^2} = \frac{V^T N^{-1} V}{n-m+1}$, где n и $(m - 1)$ - соответственно ранг матриц N^{-1} и B. Число $v = n - m + 1$ называют числом степеней свободы, оно соответствует числу дополнительных (избыточных) измерений.

Если это неравенство выполняется для всех реперов и для любой пары циклов, то расхождение в отметках реперов из разных циклов следует объяснять случайными ошибками измерений.

Осадка Δ_{ij} репера *i*в 1-3 цикле определится как разность

$$\Delta_{ij} = \overline{H_{\iota J}} - \overline{H_{\iota 1}} \tag{1.52}$$

Если критерий M не выдерживается, то для совместной обработки наблюдений, выполненных k циклами, нужно определить меру устойчивости реперов, т.е. веса P_1**,** P_2, P_m**.** Эти параметры практически могут быть оценены двумя способами. Во-первых, по данным исследования грунта, во-вторых, по результатам многократных наблюдений высот реперов.

Для этого надлежит определить среднее значение высоты каждого репера по всем циклам:

$$\overline{H_{\iota 0}} = \frac{1}{k}\sum_1^k \overline{H_{\iota J}}\ , \tag{1.53}$$

и по отклонениям отдельных значений от соответствующего среднего:

$$\delta_{ij} = \overline{H_{\iota J}} - \overline{H_{\iota 0}}\ , \tag{1.54}$$

вычислить вес P_i, характеризующий устойчивость репера за время наблюдения с первого по k цикл:

$$P_i = \frac{c}{\sum_{j=1}^{k} \delta_{ij}^2} \tag{1.55}$$

Где c — произвольная постоянная, согласующая размерность.

Наибольшую вероятность сохранить неизменную отметку имеет средняя взвешенная высота, отсюда

$$P_1\overline{\overline{H_{1J}}} + P_2\overline{\overline{H_{2J}}} + P3\overline{\overline{H_{3J}}} + P4\overline{\overline{H_{4J}}} = 0, \tag{1.56}$$

Где H_{ij} – окончательное значение высоты (с учетом устойчивости реперов):

$$\overline{\overline{H_{\iota J}}} = \overline{H_{\iota J}} - \frac{(\sum_{\lambda=1}^{m} P_\lambda \bar{H}_{\lambda j})}{\sum_{\lambda=1}^{m} P_\lambda}\ . \tag{1.57}$$

Осадку Δ_{ij}в этом случае находим по формуле:

$$\Delta_{ij} = \overline{\overline{H_{ij}}} - \overline{\overline{H_{i1}}}. \quad (1.58)$$

Таким образом, последовательность вычисления оптимальных высот реперов опорной сети в рассматриваемом методе выглядит следующим образом:

1) уравнивание нивелирной сети как свободной;
2) Определение критерия устойчивого репера *i* за период времени, прошедший с момента наблюдения *j* цикла до момента наблюдения *r*цикла, по формуле (1.51);
3) Если критерий М выдерживается, все реперов являются устойчивыми. Если нет – происходит переход к шагу 4;
4) вычисление значений по формулам (1.53), (1.54), (1.55), (1.56) и (1.57);
5) определение осадки Δ_{ij} по формуле (1.58).

1.4.5 Способ В.Ф. Черникова

СпособВ.Ф. Черникова [11, 75] основан на принципе неизменной средней отметки всех реперов сети или группы наиболее устойчивых реперов.

Проанализируем устойчивость грунтовых реперов (рисунок 1.10). Пусть H_{i_1},H_{i_2}, H_{i_3}, H_{i_4}– высоты реперов сети, полученные из уравнивания в *i*-м цикле наблюдений; H_{k_1},H_{k_2}, H_{k_3}, H_{k_4} – высоты тех же реперов, полученные из уравнивания *k* цикла нивелирования. Предположим, что исходным в обоих циклах был репер №1**,** т. е. $H_{i_1} = H_{k_1}$.

Найдем разности высот соответствующих реперов в этих циклах:

$$\left.\begin{aligned} \Delta h_{ik_1} &= H_{k_1} - H_{i_1} \\ \Delta h_{ik_2} &= H_{k_2} - H_{i_2} \\ \Delta h_{ik_3} &= H_{k_3} - H_{i_3} \\ \Delta h_{ik_4} &= H_{k_4} - H_{i_4} \end{aligned}\right\} \quad (1.59)$$

Каждая из разностей Δh_{ik} равнялась бы нулю, если бы не было погрешностей нивелирования и реперы не меняли свою высоту в результате смещений. В действительности только $\Delta h_{ik_1} = 0$, так как репер 1 был принят за

исходный в обоих циклах. Остальные разности Δh_{ik_r} (r = 2, 3, 4) не равны нулю из-за погрешностей нивелирования v_{ik}, а также вследствие изменения разности высот η_{ik_r}реперов с номерами 1 и r (r = 2, 3, 4) под влиянием вертикальных смещений самих реперов. Запишем:

$$\left.\begin{aligned} \Delta h_{ik_1} &= 0 \\ \Delta h_{ik_2} &= v_{\mathrm{ik}_2} + \eta_{\mathrm{ik}_2} \\ \Delta h_{ik_3} &= v_{\mathrm{ik}_3} + \eta_{\mathrm{ik}_3} \\ \Delta h_{ik_4} &= v_{\mathrm{ik}_4} + \eta_{\mathrm{ik}_4} \end{aligned}\right\}, \tag{1.60}$$

Где $v_{ik_1} = 0$.

Далее находим такое значение изменения высоты исходного репера i в k цикле, что после исправления всех высот в этом цикле на величину η_{ik_1} квадрат суммы остаточных уклоненийбудет удовлетворять условию

$$\left[v_{ik_r} + \eta_{ik_r}\right]^2 = min. \tag{1.61}$$

Положив $(v_{\mathrm{ik_r}} + \eta_{\mathrm{ik_r}}) = \delta_{\mathrm{ik_r}}$, получим соотношения, имеющие вид уравнений поправок:

$$\left.\begin{aligned} \delta h_{ik_1} &= \eta_{ik_1} + \Delta h_{ik_1} \\ \delta h_{ik_2} &= \eta_{ik_1} + \Delta h_{ik_2} \\ \delta h_{ik_3} &= \eta_{ik_1} + \Delta h_{ik_3} \\ \delta h_{ik_4} &= \eta_{ik_1} + \Delta h_{ik_4} \end{aligned}\right\} \tag{1.62}$$

Решая уравнения (1.60) и (1.62) под условием (1.61), находим:

$$\mathrm{N}\eta_{\mathrm{ik}_1} + [\Delta h_{ik}] = 0. \tag{1.63}$$

Тогда:

$$\eta_{\mathrm{ik}_1} = -\frac{[\Delta h_{ik}]}{\mathrm{n}} \tag{1.64}$$

Полученная величина η_{ik_1} вводится в отметку исходного репера №1, после чего по уравненным превышениям k цикла вычисляют отметки реперов сети в этом цикле.

В табл. 1.10 приведены отметки реперов сети, полученные по уравненным превышениям в семи циклах наблюдений (исходный репер №1).

Вычисления величин η_{ik_1}, для II, III циклов наблюдений и вероятнейших отметок реперов в этих циклах приведены и табл. 1.11.

В табл. 1.11 приведены значения δh_{ik},позволяющие судить об изменениях высот реперов между текущим kи начальным циклами наблюдений. Если величины δh_{ik}, не превышают удвоенные средние квадратические погрешности определения разности высот, стабильность реперов высотной основы.

Таблица 1.10 – Отметки реперов по циклам

Номер репера	Отметки реперов по циклам, Исходный репер 1		
	I	*II*	*III*
1	H_{11}	H_{11}	H_{11}
2	H_{12}	H_{22}	H_{32}
3	H_{13}	H_{23}	H_{33}
4	H_{14}	H_{24}	H_{34}

Таблица 1.11 – Расчет вероятнейших отметок по методу В.Ф. Черникова

Номер репера	Отметки реперов, I цикл	Циклы I - II			Циклы I - III		
		Δh_{12}	$\delta h_{12} = \Delta h_{12} + \eta_{12}$	Вероятнейшее отметки, II цикл	Δh_{13}	$\delta h_{13} = \Delta h_{13} + \eta_{13}$	Вероятнейшее отметки, III цикл
1	H_{11}	0,00	δh_{12_1}	$H_{(II)1}$	0,00	δh_{13_1}	$H_{(III)1}$
2	H_{12}	Δh_{12_2}	δh_{12_2}	$H_{(II)2}$	Δh_{13_2}	δh_{13_2}	$H_{(III)2}$
3	H_{13}	Δh_{12_3}	δh_{12_3}	$H_{(II)3}$	Δh_{13_3}	δh_{13_3}	$H_{(III)3}$
4	H_{14}	Δh_{12_4}	δh_{12_4}	$H_{(II)4}$	Δh_{13_4}	δh_{13_4}	$H_{(III)4}$
$[\Delta h_{ik}]$		$[\Delta h_{12}]$			$[\Delta h_{12}]$		
$\eta_{ik} = -\frac{[\Delta h_{ik}]}{n}$		$\eta_{12} = -\frac{[\Delta h_{12}]}{n}$			$\eta_{13} = -\frac{[\Delta h_{13}]}{n}$		

В рассматриваемом способе наиболее наглядно проявляется принцип, положенный в основу классификации методов анализа устойчивости реперов, за исходную принимается средняя плоскость относимости, отметка которой определяется как среднее арифметическое из отметок устойчивых реперов сети.

Поскольку сумма отклонений вероятнейших высот в каждом цикле от неуравненных высот этих же точек равна нулю, то, очевидно, что способ

соответствует случаю, когда наиболее надежные отметки берут как среднее из отметок, полученных по уравненным превышениям в данном цикле при принятии за исходный каждого из опорных реперов.

Последовательно примем за исходные высоты всех реперов сети и по уравненным превышениям II цикла вычислим высоты остальных реперов (табл. 1.12).

Таблица 1.12 – Расчет отметок реперов от исходного

Номер репера	Превышения, II цикл	Отметки реперов от исходного				
		1	2	3	4	Вероятнейшеие
1	h'_{12}	$\underline{\mathbf{H_{11}}}$	H^2_{21}	H^3_{21}	H^4_{21}	$\frac{(H_{11}+H^2_{21}+H^3_{21}+H^4_{21})}{4} = H_{(II)1}$
2	h'_{23}	H^1_{22}	$\underline{\mathbf{H_{12}}}$	H^3_{22}	H^4_{22}	$\frac{(H^1_{22}+H_{12}+H^3_{22}+H^4_{22})}{4} = H_{(II)2}$
3	h'_{34}	H^1_{23}	H^2_{23}	$\underline{\mathbf{H_{13}}}$	H^4_{23}	$\frac{(H^1_{23}+H^2_{23}+H_{13}+H^4_{21})}{4} = H_{(II)3}$
4	h'_{41}	H^1_{24}	H^2_{24}	H^3_{24}	$\underline{\mathbf{H_{14}}}$	$\frac{(H^1_{24}+H^2_{24}+H^3_{24}+H_{14})}{4} = H_{(II)4}$

Далее вычислим наиболее надежное значение отметок реперов во II цикле как среднее арифметическое из четырех результатов. В итоге получаем результаты, идентичные значениям отметок реперов, представленным в табл. 1.12.

1.4.6 Способ П. Марчака

Согласно способу П. Марчака [11, 85, 84, 86, 87], при расчетах определяется устойчивость реперов путем анализа изменений превышений между реперами в начальном и последующих циклах наблюдений, однако с применением определенной методики исследования.

Из-за погрешности измерений, даже между устойчивыми реперами абсолютного равенства превышений не может быть. Учитывая это, предложено для анализа использовать два следующих критерия.

– Допустимая разность в превышениях между одноименными реперами:

по П. Марчаку

$$\Delta h \leq \mu_{1km}\sqrt{2L} \tag{1.65}$$

по К. Тарновскому

$$\Delta h \leq \mu_{1ст}\sqrt{2n} \qquad (1.66)$$

– Предельно допустимая разность в превышениях между одноименными реперами:

по П. Марчаку [50].

$$\Delta h_{пред} \leq 2\mu_{1км}\sqrt{2L} \qquad (1.67)$$

по К. Тарновскому [3].

$$\Delta h_{пред} \leq 2\mu_{1ст}\sqrt{2n} \qquad (1.68)$$

Где $\mu_{1км}$ – средняя квадратическая погрешность в превышении на 1 км хода в миллиметрах; $\mu_{1ст}$ – средняя квадратическая погрешность в превышении на одну станцию нивелирного хода в миллиметрах; L – длина хода в километрах; n – число станций в ходе между реперами.

Если разность одноименных превышений Δh по циклам близка к критерию 1, то утверждается стабильность реперов. Если же фактическая разность в превышениях Δhпревышает предельно допустимую величину, вычисленную по критерию 2, то полагают, что реперы получили вертикальные смешения.

Методика анализа устойчивости реперов, предложенная П. Марчаком, проста. Для ее осуществления необходимо уравнять нивелирную сеть как свободную и подсчитать:

– фактическую разность превышений для отдельных звеньев ходов по формуле

$$\Delta h_i = h_n - h_1, \qquad (1.69)$$

Где i – номер звена, n и 1 – номера циклов наблюдений;

– фактическую разность превышений от начала нивелирного хода до данного репера $\Delta h_р$;

– среднее арифметическое из разностей превышений каждого репера над начальным, не превышающих по абсолютной величине критерия $2\frac{\sum \Delta h_р}{К}$, где K – число устойчивых реперов сети;

– исправленные разности превышений или так называемые редуцированные вертикальные перемещения реперов по формуле

$$\Delta h_0 = \Delta h_р - \frac{\sum \Delta h_р}{К}. \quad (1.70)$$

Проанализируем устойчивость глубинных реперов (рисунок 1.10), уравненные превышения между которыми приведены в табл. 1.13 и 1.14; начиная с любого репера, вычисляем допустимые и предельно допустимые разности в превышениях от начала нивелирного хода. При этом число станций считают от начала до середины хода нарастающим итогом.

Таблица 1.13 – Расчет превышений по циклам

Номер звеньев	Превышения по циклам		
	I	II	III
1	h^1_{12}	h^2_{12}	h^3_{12}
2	h^1_{23}	h^2_{23}	h^3_{23}
3	h^1_{34}	h^2_{34}	h^3_{34}
4	h^1_{41}	h^2_{41}	h^3_{41}

Столбцы Δh_i получают на основании табл. 1.10, вычитая одноименные превышения по формуле (1.69). Столбцы $\Delta h_р$ есть алгебраическая сумма разностей Δh_i от начала нивелирного хода.

Реперы, для которых фактические разности $\Delta h_р$ превосходят рассчитанные по формуле (1.68),считают нестабильными и из дальнейшего анализа исключают.

Затем подсчитывают $\Sigma\Delta h_р$ для устойчивых реперов и определяют среднее арифметическое из разностей превышений между наиболее устойчивыми реперами, т.е. величину $\frac{\sum \Delta h_p}{K}$записывая ее под итоговой чертой. Наконец, вычисляют величины Δh_0, характеризующие изменения высот реперов по циклам.

Таблица 1.14 – Расчет превышений по методу П. Марчака

Номер репера	Число станций	Допустимое и предельно допустимое расхождение в превышениях	Изменение превышений и поправки в отметки реперов		
			Δh_i	Δh_p	Δh_0
1	1	0,00		0,00	$\Delta h_{0(1)}$
2		$\Delta h_{(2)}$, $\Delta h_{пред(2)}$	Δh_{12}	$\Delta h_{p(2)}$	$\Delta h_{0(2)}$
3		$\Delta h_{(3)}$, $\Delta h_{пред(3)}$	Δh_{23}	$\Delta h_{p(3)}$	$\Delta h_{0(3)}$
4		$\Delta h_{(4)}$, $\Delta h_{пред(4)}$	Δh_{34}	$\Delta h_{p(4)}$	$\Delta h_{0(4)}$
1		0,00	Δh_{41}	0,00	$\Delta h_{0(1)}$
$\Sigma\Delta h_i$			$\Sigma\Delta h_i$		
$\Sigma\Delta h_p$				$\Sigma\Delta h_p$	
$\frac{\sum \Delta h_p}{K}$				$\frac{\sum \Delta h_p}{K}$	

Таким образом, приближенный метод исследования устойчивости основан на сравнении соответствующих разностей превышений в начальном и текущем циклах наблюдений с предельными погрешностями измерений.

1.4.7 Способ Мартусевича

Цель способа [82, 45, 43] состоит в нахождении наиболее устойчивого репера путем поочередного изменения исходного репера. При этом репер считается самым устойчивым при выполнении условия:

$$\sum_{z=1}^{P} \left| U_{zj} \right| = min. \tag{1.71}$$

U_{zj} вычисляется по формуле:

$$U_{zj} = \Delta h_{zj} - \Delta H_{zj} = \Delta_z - \Delta_j \tag{1.72}$$

Величины $\Delta H_{zj}^{(k)}$ и $\Delta h_{zj}^{(i)}$ рассчитываются по формулам:

цикл (i) $$\Delta h_{zj}^{(i)} = H_j^{*(i)} - H_z^{*(i)} \tag{1.73}$$

цикл (k) $$\Delta H_{zj}^{(k)} = H_j^{*(k)} - H_z^{*(k)} \tag{1.74}$$

В результате получаютотметки реперов z = (1, 2, …, p), и проводят уравнивание по принципу свободной сети для циклов (i) и (k). Результат уравнивания представляют в виде значений $H_j^{*(k)}$, $H_j^{*(i)}$.

Затем вычисляют величины разностей высот $\Delta h_{zj}^{(i)}$ và $\Delta H_{zj}^{(k)}$ поформулам (1.72) и (1.73).Затем проводят расчет величины U_{zj}по (1.71).

Для реперов z = (1÷p) проводят вычисление величины $\sum_{z=1}^{P}\left|U_{zj}\right|$ иопределяютсуммупо формуле (1.71).

Проверка стабильностиопорных реперов (j) выполняется согласно неравенству:

$$\frac{\left|U_{zj}\right|}{\sigma_{U_{zj}}} \le t_{\alpha} \qquad (1.75)$$

Где $\sigma_{U_{zj}}$ определяют как:

$$\sigma_{U_{zj}}^{2} = \sigma_{\Delta H_{zj}}^{2} + \sigma_{\Delta h_{zj}}^{2} \qquad (1.76)$$

Величина t_{α}, согласно способу Мартусевича, находится в диапазоне (2÷3).

Далее представлен порядок определения условногоустойчивого репера:

– расчетвеличины U_{zj}по формуле (1.77);

– расчетвеличины $\sum_{z=1}^{P}\left|U_{zj}\right|$с учетом условия:

$$\sum_{z=1}^{P}\left|U_{zj}\right| = min \qquad (1.77)$$

Выполняют расчеты, начиная последовательно с каждого из реперов: 1 (табл. 1.15), 2 (табл. 1.16), 3 (табл. 1.17).

Табл. 1.15 – Расчет устойчивого репера по способу Мартусевича (условно устойчивым принят первый репер)

Репер	цикл (i)		цикл (k)		$\lvert U_{1j} \rvert$
	$H_j^{(i)}$	Δh_{zj}	$H_j^{(k)}$	ΔH_{zj}	
1	$H_1^{(i)}$	Δh_{11}	$H_1^{(k)}$	ΔH_{11}	$\Delta H_{11} - \Delta h_{11}$
2	$H_2^{(i)}$	Δh_{12}	$H_2^{(k)}$	ΔH_{12}	$\Delta H_{12} - \Delta h_{12}$
3	$H_3^{(i)}$	Δh_{13}	$H_3^{(k)}$	ΔH_{13}	$\Delta H_{13} - \Delta h_{13}$
					$\sum \lvert U_{1j} \rvert$

Табл. 1.16 – Расчет устойчивого репера по способу Мартусевича (условно устойчивым принят 2 репер)

Репер	цикл (i)		цикл (k)		$\lvert U_{2j} \rvert$
	$H_j^{(i)}$	Δh_{zj}	$H_j^{(k)}$	ΔH_{zj}	
1	$H_1^{(i)}$	Δh_{21}	$H_1^{(k)}$	ΔH_{21}	$\Delta H_{21} - \Delta h_{21}$
2	$H_2^{(i)}$	Δh_{22}	$H_2^{(k)}$	ΔH_{22}	$\Delta H_{22} - \Delta h_{22}$
3	$H_3^{(i)}$	Δh_{23}	$H_3^{(k)}$	ΔH_{23}	$\Delta H_{23} - \Delta h_{23}$
					$\sum \lvert U_{2j} \rvert$

Оценка устойчивости остальных реперов проводится с учетом наиболее устойчивого репера.

Табл. 1.17 – Расчет устойчивого репера по способу Мартусевича (условно устойчивым принят 3 репер)

Репер	цикл (i)		цикл (k)		$\lvert U_{3j} \rvert$
	$H_j^{(i)}$	Δh_{zj}	$H_j^{(k)}$	ΔH_{zj}	
1	$H_1^{(i)}$	Δh_{31}	$H_1^{(k)}$	ΔH_{31}	$\Delta H_{31} - \Delta h_{31}$
2	$H_2^{(i)}$	Δh_{32}	$H_2^{(k)}$	ΔH_{32}	$\Delta H_{32} - \Delta h_{32}$
3	$H_3^{(i)}$	Δh_{33}	$H_3^{(k)}$	ΔH_{33}	$\Delta H_{33} - \Delta h_{33}$
					$\sum \lvert U_{3j} \rvert$

Предполагая, что z = 1 является наиболее устойчивымрепером, проводят оценку стабильности остальных реперов с использованием стандартных отклонений:

$$\frac{|U_{1j}|}{\sigma_{U_{1j}}} \le t_\alpha = (2 \div 3) \qquad 1.78)$$

Где (j = 2÷(P$_1$)

$$\sigma^2_{U_{1j}} = \sigma^2_{\Delta H_{1j}} + \sigma^2_{\Delta h_{1j}} \qquad (1.79)$$

$$|U_{1j}| = \Delta H_{1j} - \Delta h_{1j} \qquad (1.80)$$

Таблица 1.18 – Оценка устойчивости реперов по методу Мартусевича

Репер	цикл (i)				цикл (к)				$\lvert U_{1j}\rvert$	$\sigma_{U_{1j}}$	$\frac{\lvert U_{1j}\rvert}{\sigma_{U_{1j}}}$
	$H_j^{(i)}$	$\sigma_{Hj}^{(i)}$	Δh_{1j}	$\sigma_{\Delta h_{zj}}$	$H_j^{(k)}$	$\sigma_{Hj}^{(k)}$	ΔH_{1j}	$\sigma_{\Delta H_{zj}}$			
1	$H_1^{(i)}$	$\sigma_{H1}^{(i)}$			$H_1^{(k)}$	$\sigma_{H1}^{(k)}$					
2	$H_2^{(i)}$	$\sigma_{H2}^{(i)}$	Δh_{12}	$\sigma_{\Delta h_{12}}$	$H_2^{(k)}$	$\sigma_{H2}^{(k)}$	ΔH_{12}	$\sigma_{\Delta H_{12}}$	U_{12}	$\sigma_{U_{12}}$	$\frac{\lvert U_{12}\rvert}{\sigma_{U_{12}}}$
3	$H_3^{(i)}$	$\sigma_{H3}^{(i)}$	Δh_{13}	$\sigma_{\Delta h_{13}}$	$H_3^{(k)}$	$\sigma_{H3}^{(k)}$	ΔH_{13}	$\sigma_{\Delta H_{13}}$	U_{13}	$\sigma_{U_{13}}$	$\frac{\lvert U_{13}\rvert}{\sigma_{U_{13}}}$

На основании таблицы 1.18 после вычисления значений $\frac{|U_{1j}|}{\sigma_{U_{1j}}}$ мы сравниваем ct$_\alpha$ = 2÷3 (1.78) Если значение $\frac{|U_{1j}|}{\sigma_{U_{1j}}}$ меньше t$_\alpha$ = 2÷3то ориентир считается стабильным и наоборот.

1.5 Анализ существующих методов оценки вертикальных смещений

Авторы Уваров А.И., Ларин П.В., Понкратов Е.Д. проводят рассмотрение способов расчета устойчивости реперов [65]. Ими исследованы методы Г.К. Ботяна, И.Л. Серебряковой, И.В. Рунова, А.П. Шестакова, А. Костехеля и В.Ф. Черникова. Наиболее распространенными они считают последние два способа. Сравнительный анализ позволяет сделать ряд выводов:

1. Способ И.Л. Серебряковой не учитывает влияние отрицательных температур на положение репера по высоте, что особенно сильно проявляется в условиях Южной зоны многолетнемерзлых грунтов.

2. Способ И.В. Рунова (основан на использовании величин взаимного смещения реперов по высоте относительно друг друга. Расчеты ряда авторов показывают, что результаты расчетов по данному методу совпадают с результатами способов Г.К. Ботяна и А. Костехеля.
3. В способе А.П. Шестакова предлагается для выбора самого устойчивого репера в цикле наблюдений последовательно принимать за исходный каждый из реперов сети; данный метод является перспективным для использования.
4. Недостатком способа А. Костехеля является уменьшение числа исходных реперов с каждым последующим циклом измерений, т.к. в процессе исключаются нестабильные реперы.
5. В способе Г.К. Ботяна считается, что величины осадок реперов заведомо отрицательные, однако в условиях отрицательных температур возможны явления морозного пучения.
6. Способ В.Ф. Черникова, основанный на правиле постоянной средней отметки реперной сети и принципе минимальной суммы квадратов отклонений является достаточно сложным для практического применения.

В целом можно заключить, что в большинстве методов не учитываются положительные вертикальные смещения реперов.

В статье [54] авторами Пархоменко Н.А., Лариным П.В., Понкратовым Е.Д. выполняется расчет устойчивости реперов на основе наиболее универсальных способов: А. Костехеля и В.Ф. Черникова. Они считаются наиболее простыми и легко реализуемыми.

Автор Калинченко И.С. также проводит анализ способов оценки устойчивости реперов [27]. Им рассмотрены способы А. Костехеля, Г.К. Ботяна, Л.И. Серебряковой, И.В. Рунова, П. Марчака, В.Ф. Черникова, Б. Готца и В.В. Попова. Им приводятся упомянутые ранее описания, преимущества и недостатки данных методов. В частности, в отношении методов П. Марчака, В.Ф. Черникова, Б. Готца и В.В. Попова он делает вывод, что, несмотря на

различный математический аппарат, получаются одни и те же значения поправок в отметки реперов по циклам.

Ровенко Д.С. и Огнева Л.Ю. исследуют вопрос оценке стабильности реперов высотной основы в работе [56]. Ими описан способ П. Марчака, приведен пример оценки устойчивости реперов высотной основы, созданной на территории промышленного предприятия г. Волгограда.

Дьяков Б.Н. в работе [21] представляет результаты сравнительного анализа способов Костехеля и Марчака. Он заключает, что ни первый, ни второй способ не могут гарантировать правильного выбора наиболее устойчивого репера, если не вычислять и не учитывать значения рейтинга каждого репера в сети. При отрицательных смещениях всех или большинства реперов значение рейтинга самого устойчивого репера наибольшее положительное; при положительных смещениях – наибольшее отрицательное; при разных по знаку смещениях – наименьшее по абсолютной величине.

Наблюдатель может столкнуться со следующими ситуациями:

1) все реперы сети оседают относительно опорного репера;
2) все реперы сети поднимаются относительно опорного репера;
3) реперы сети претерпевают различные деформации (оседания и поднятия) относительно опорного репера.

При сравнении традиционных методов было установлено, что данные способы дают верный результат лишь для варианта 3. Для вариантов 1 и 2 они выдают ошибочный результат.

1.6 Предложение к разработке модельного подхода к оценке смещений опорных реперов и деформационной сети

Как следует из анализа состояния вопроса об определении вертикальных смещений оснований фундаментов зданий и сооружений, так сказать стопроцентных способов оценки устойчивости, пока не существует. В то же время сегодня в связи с бурным развитием компьютерных технологий и средств измерений, есть хорошие предпосылки для совершенствования методики оценки вертикальных смещений реперов.

К разработке предлагается модельный подход оценки смещений. Система реперов, включая опорные, рассматривается как единая модель. После каждого цикла наблюдений выявляются подвижные (смещенные) участки модели. При этом базовыми считаются несмещенные элементы модели. Для профильных наблюдательных станций это будут линии между реперами (марками), для площадных деформационных сетей – это будет треугольники. На рис. показаны практически важные случаи: линейный, плоскостной, объемный [47].

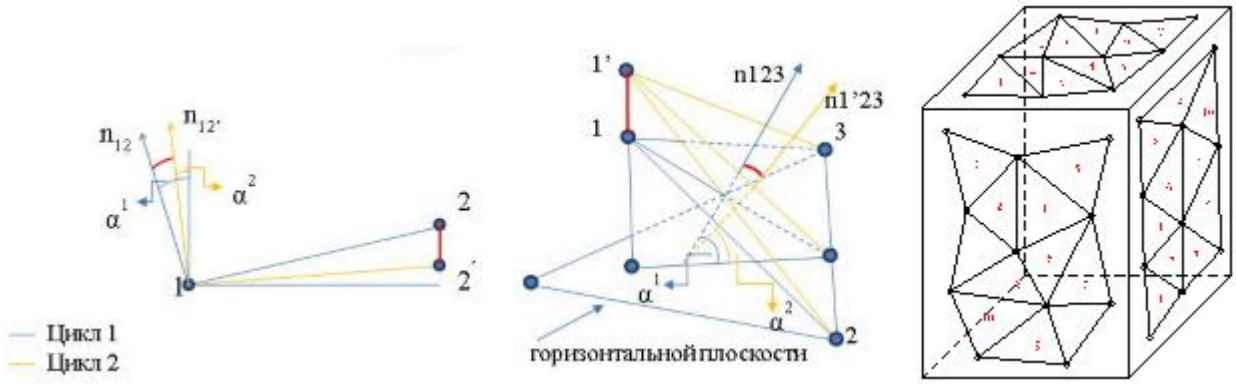


Рисунок 1.11 – Линейный, плоскостной и объемный случаи модельного изучения деформационного процесса

Смещения определяются по изменению пространственного положения элементов модели (отрезков, плоскостей). Эти изменения можно выявить по отклонениям нормалей или углов наклона элементов. В линейном случае это выразится в определении угла наклона стороны. Относительно предыдущего цикла наблюдений. В плоскостном случае определяется наклон плоскости

элемента. Объемный случай схож с двумерным, но отличием является то, что отклонения интерпретируются по плоскостям объемной фигуры.

Преимуществами разрабатываемого способа являются его наглядность и однозначность определения смещений, а также производство наблюдений со свободных станций. При этом контролируются как рабочие деформационные знаки, так и опорные реперы. Недостатком такого подхода является необходимость обеспечения достаточного количества несмещенных элементов, при которых деформируется лишь часть деформационной сети. Это требование выполняется за счет правильной организации наблюдений, включая их периодичность. Однако даже при наихудшем варианте, когда не окажется несмещенных элементов, то способ может быть скорректирован традиционным подходом и таким образом заявляемый способ вместе с традиционным существенно повышает надежность определения вертикальных смещений. Безусловно следует определить численные параметры реализации заявляемого способа, которым посвящаются следующие главы настоящей диссертации.

выводы к главе 1

Исходя из приведенного анализа состояния рассматриваемого вопроса тема диссертационной работы представляется весьма актуальной. К настоящему времени накопился довольно большой опыт геодезических специальных исследований данного вопроса. Следует подчеркнуть, что основной задел в этих исследованиях был сделал еще в прошлом веке. Так, были разработаны способы оценки устойчивости опорных реперов, базирующиеся на точечном анализе результатов измерений. Несмотря на появившиеся сегодня электронные средства измерений, обладающие высокой точностью, решение задачи повышения точности оценки вертикальных смещений остается востребованной. Эта востребованность сохраняется в условияхширокого спектра возможностей и средств измерений. Показано, что с помощью привлечения метода радарной интерферометрии теоретически можно обеспечить точность, отвечающую геометрическому нивелированию 1-го или

2-го класса. Однако стоимость при этом будет значительна. Кроме того, в ряде случаев придется-таки проводить наземные измерения. Таким образом, весьма перспективной задачей является разработка способа, базирующегося на доступных инженерных методах измерений. Что касается обработки измерений, то здесь весьма целесообразно применение компьютерных технологий, которые обеспечат отслеживание процесса деформирования. В общем, при модельном подходе, описанном в предыдущем разделе, способы измерений возможны различные, так как измерения в каждом цикле автономны, например, могут быть выполнены со свободных станций, и все внимание уделяется инкрементальному изменению системы (деформационной сети). При достаточном количестве несмещенных (устойчивых) элементов деформационной сети способ позволит однозначно оценивать вертикальные смещения точек (реперов, причем любой направленности) и корректировать традиционные способы оценки устойчивости опорных реперов. При недостаточном их количестве предлагаемый способ может работать вкупе с традиционными (нормативным) с взаимной проверкой отметок, что также повышает надежность определения оседаний (осадок).

При всей прозрачности заявляемого подхода возникает много вопросов по его конкретной реализации. Развитие компьютерного обеспечения позволяет строить модели деформационных сетей и проводить анализ их изменения по результатам проведенных наблюдений.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать способ оценки вертикальных смещений деформационной сети.
2. Выполнить сравнительный анализ существующих способов с разработанным способом оценки вертикальных смещений.
3. Разработать на базе разработанного способа методику мониторинга (геодезических наблюдений) вертикальных смещений деформационной сети.

4. Провести экспериментальную проверку разработанной методики оценки вертикальных смещений деформационной сети.

Эти вопросы последовательно рассматриваются в следующих главах.

ГЛАВА 2
СПОСОБ ОЦЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ РЕПЕРОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

2.1 Оценка вертикальных смещений реперов

2.1.1 Принципиальная основа методики

Известно, что моделирование является наиболее эффективным способом познания различных процессов. Однако ранее при моделировании превалировали физические методы. С бурным развитием компьютерных технологий метод моделирования (математическое, численное, знаковое и т.д.) становится все более распространенным во многих отраслях: в научных исследованиях [76], промышленности, образовательной деятельности, экологии и др. [33].

В геодезии метод моделирования используется все чаще, и прежде всего это моделирование различных поверхностей (ЦМР – цифровые модели рельефа) и объектов [34, 41, 40]. Моделирование может быть использовано и для решения задачи оценки вертикальных смещений реперов при наблюдении за деформациями сооружений.

Специалистами при наблюдениях используются традиционные способы оценки смещений, разработанные такими учеными как А. Костехель, Г.К. Ботян, Я. Мартусевич, В.Ф. Черников, П. Марчак и др. [11, 82]. Данные способы как было показано в первой главе, имеют некоторые недостатки.

В главе 1.6 был предложен к разработке модельных подход оценки смещений. Он состоит в том, что сеть реперов и деформационных марок представляют как целостную модель триангуляционного (или линейного) вида.

В работе рассматриваются два геометрически различных варианта модели и оценки: линейный и плоскостной случай.

В линейном случае сеть рассматривается цепочка последовательно соединенных реперов (например, наблюдательная станция в виде нивелирного

хода). При этом стороны модели (линии, соединяющие репера) соединены в одну возможно ломаную линию.

В плоскостном случае сеть может представлять собой триангуляционныепостроения, объединяющее грунтовые репера и деформационные марки (стенные). На рисунок 2.1 представлен пример триангуляционной сети для проведения анализа их смещений.

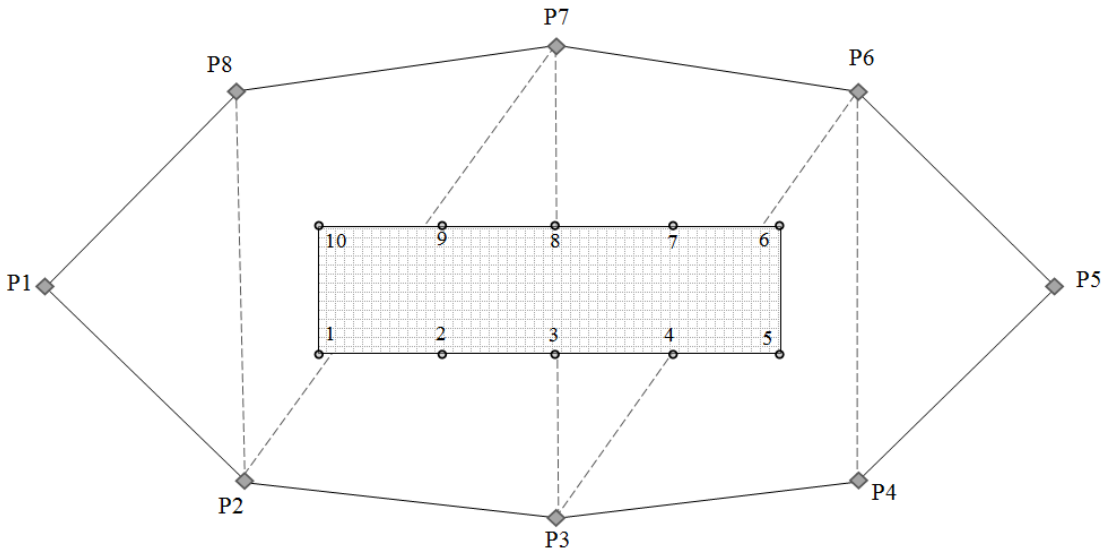


Рисунок 2.1 – Простая триангуляционная сеть для оценки вертикальных смещений

Вариантов совмещенной триангуляционной сети может быть много. В общем случае она может состоять из сети грунтовых реперов, включая опорные и стенные марки (рисунок 2.2). Это позволяет оценивать не только смещения (неравномерные осадки) самого объекта наблюдения, но и смещения земной поверхности, которые заблаговременно позволят увидеть приближающуюся опасность (например, природные подвижки или техногенный фактор - строительство какого-либо объекта рядом с существующим зданием) и принять своевременные меры предотвращения опасного развития деформационного процесса. Это весьма актуально сегодня в связи и с так называемой уплотнительной застройкой и с учетом возможного развития опасных процессов в соответствии с нормативным документом (СНИП Инженерно-геодезические изыскания).

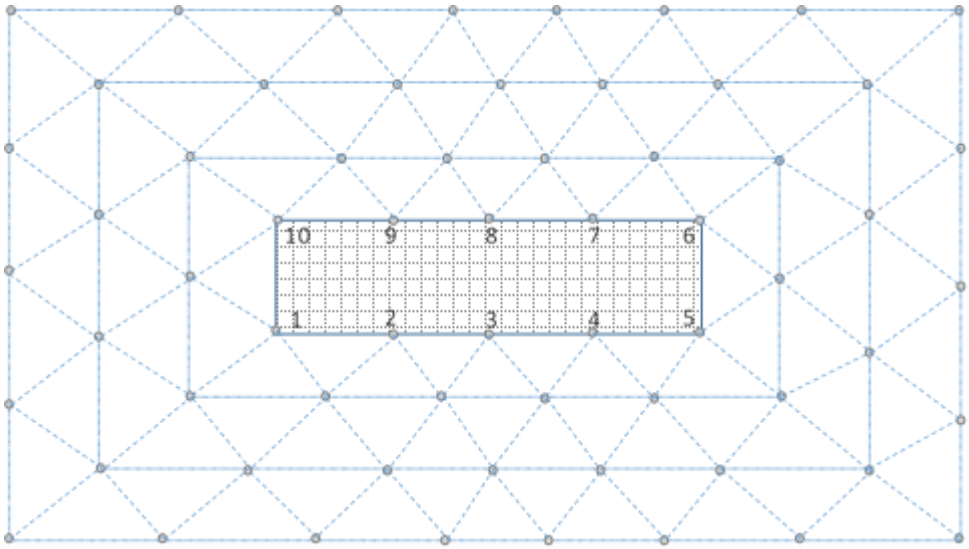


Рисунок 2.2 – Обобщенная триангуляционная сеть
для оценки вертикальных смещений

Также в рамках диссертации исследован особый объемный случай, при котором общая оценка устойчивости геодезической сети переходит в оценку стабильности пространственной модели. Отличием объемного случая от совмещенного плоскостного является то, что марки на стенах здания располагают не просто по периметру, а создают на каждой из стен отдельную триангуляционную сеть. Как и в предыдущих случаях, съемка с каждой из точек стояния производится для всех реперов и марок, находящихся в зоне видимости. Очевидно, что для объемного случая следует рассматривать значения всех координат (x,y,z).

Алгоритм оценки устойчивости выглядит следующим образом:

1. Составление триангуляционной модели деформационной сети.
2. Организация наблюдений
3. Оценка смещений деформационной сети.

2.1.2 Суть разрабатываемого способа

В разрабатываемом способе смещения точек деформационной сети определяются по изменению пространственного положения ее элементов. Для линейного случая определяют изменение положения линий между реперами

(деформационными марками), для плоскостного и объемного – плоскостей (треугольников). Эти изменения можно выявить по отклонениям нормалей или углам наклона элементов.

В линейном случае в ходе каждого цикла j (0…n) для всех линий между реперами i (1…m) определяют угол отклонения нормали или угол наклона звена α (рис. 2.3), после чего вычисляют разности между углами наклона в циклах 0 и j.

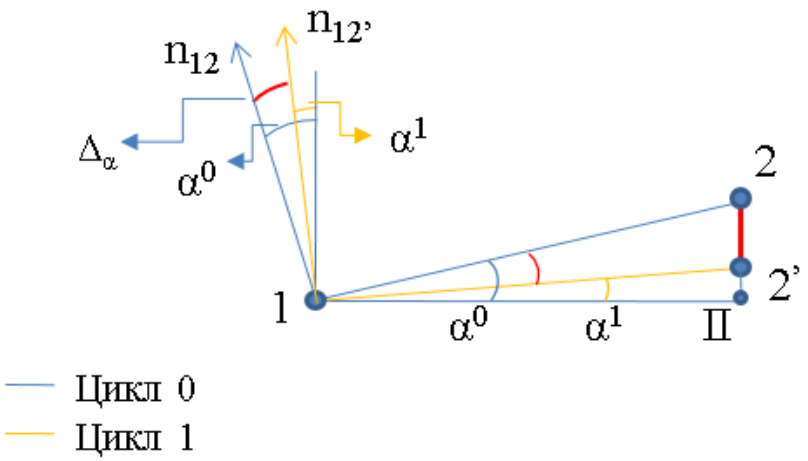


Рисунок 2.3 – Схема к определению угла наклона линии между реперами 1 и 2 (репер 1 неподвижный)

Принцип разрабатываемого нового подхода состоит в определении смещенных и устойчивых элементов сети по отклонениям нормалей или углам наклона линий. Такая оценка выполняется после каждого цикла наблюдений и измерения представляются для анализа в графическом виде.

Наглядное преставление показано на рис. 2.4. Для реперов 1-4 проведено несколько циклов наблюдений: цикл 0 и циклы 1-3. Для каждой линии (1-2, 2-3, 3-4) рассчитаны углы наклона α (обозначаемые как $\alpha_{\text{сторона}}^{\text{цикл}} = \alpha_{i=1\ldots m}^{j=0\ldots n}$). На рис. 2.4 нулевой (начальный) цикл представлен красной линией, остальные циклы – другими цветами.

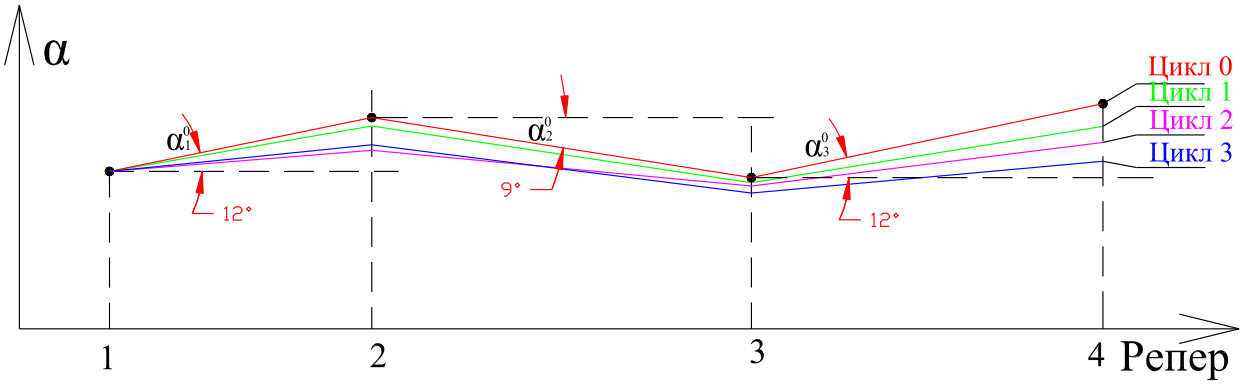


Рисунок 2.4 – Результаты моделирования линейного случая

В плоскостном случае целью является определение углов отклонения нормалей или углов наклона плоскостейα в каждом цикле j (0…n) для всех плоскостей, образованных реперами i (1…m), что продемонстрировано на рис. 2.5.

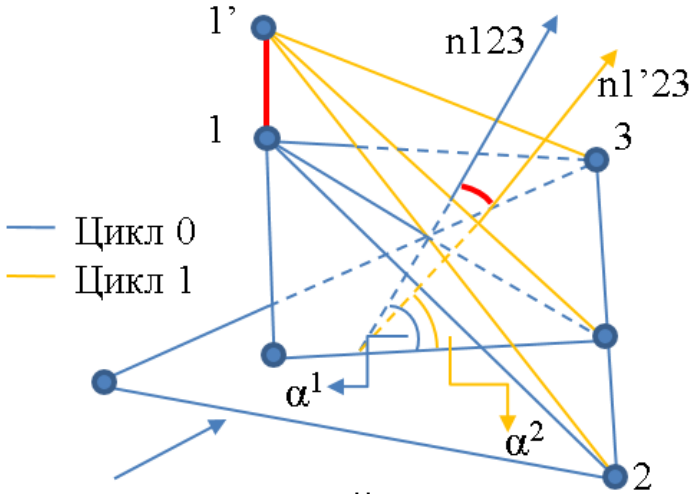


Рисунок 2.5 – Угол между нормалями к плоскостям в разных циклах

В плоскостном случае делается то же, что и в линейном. При этом установление смещения элементов определяем по отклонениям нормалей или углам наклона плоскостей. После каждого цикла измерений также проводится моделирование циклов в графическом виде.

Предположим, что имеется деформационная сеть из 9 треугольников, как показано на рис. 2.6. После каждого цикла наблюдений выполняется оценка устойчивых и смещенных элементов сети. (рисунок 2.7).

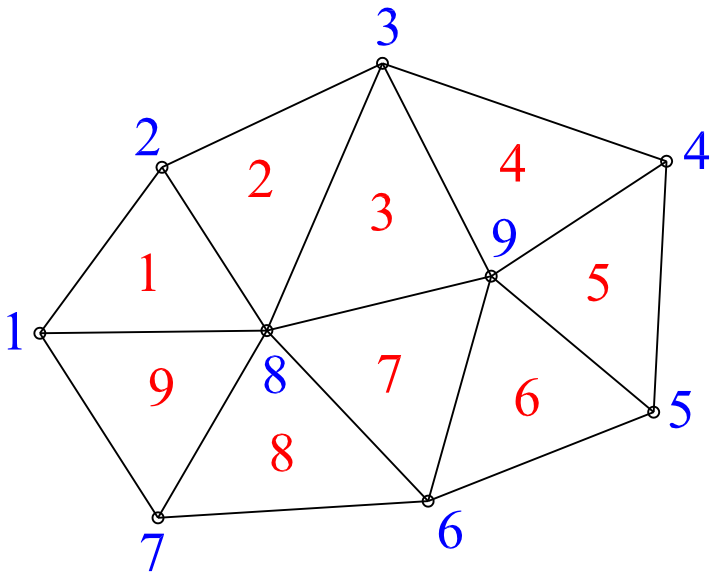


Рисунок 2.6 – Деформационная сеть

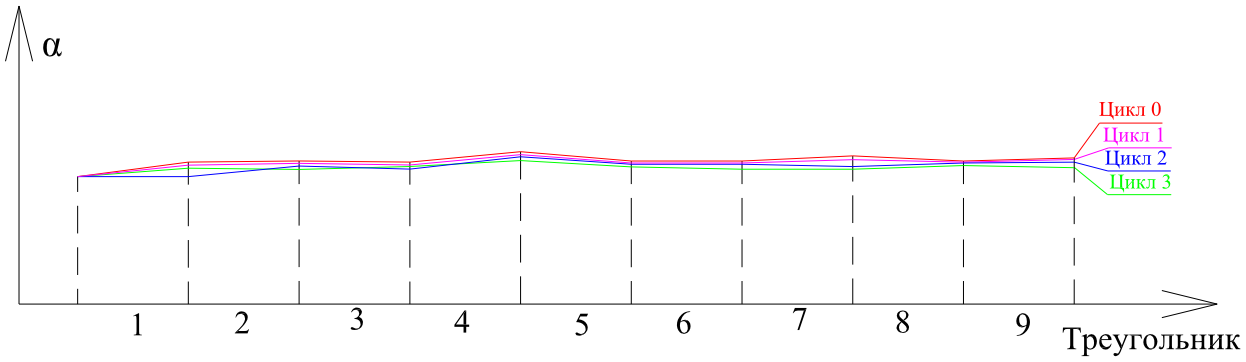


Рисунок 2.7 – Результаты моделирования (плоскостной случай)

Общую схему оценки можно выразить с помощью рисунка 2.8. Теоретически предполагается наличие хотя бы одной устойчивой стороны (в данном примере, сторона 1-2) для возможности оценки смещений всех остальных сторон и точек.

Как следует из принципа работы способа, определяются устойчивые и неустойчивые элементы сети. Возникают вопросы.

Ввиду того обстоятельства, что наблюдения выполняют со свободных станций, в каждом цикле отметки получаются в разных системах отсчета. Приведение к единой системе проводится совмещением устойчивых (совпадающих) элементов. Требуется определение надежного количества совпадающих элементов. При этом следует учитывать ложные совпадения,

например нормали к элементам имеют одинаковые направления, но при этом рассматриваемый элемент сместился как бы поступательно и естественно имеет другие (не истинные) отметки. Выявление и исключение ложных совпадений осуществляется достаточным превалированием истинных совпадений. Достаточность может быть определена для случаев превышения истинных совпадений над однотипными ложными (имеющими одни отметки, может иметь место ложные совпадения с разными отметками) на 3 единицы. Например, если ложных однотипных совпадений обнаружено 2 (что весьма редко может встретиться), то истинных должно быть не менее 5. Величина, равная 3, которую можно считать неким коэффициентом надежности, помимо общих соображений о систематичности при троекратном совпадении, в некой мере обосновывается еще и с помощью коэффициента Стьюдента. Так, для небольшого количества измерений, их необходимое количество вычисляется на основе коэффициента Стьюдента и при соответствующей надежности (P = 70) и ошибке измерений, равной СКО, необходимо выполнить 3 измерения (совпадения).В таблице приведено необходимое количество измерений при ошибке измерений, равной СКО (http://teachmen.ru/methods/phys_prac6.php).

Необходимое число измерений для получения ошибки Δ с надежностью P						
$\Delta = \Delta x/\sigma$	Значения P					
	0.5	0.7	0.9	0.95	0.99	0.999
1.0	2	3	5	7	11	17

Строго говоря, недостаточностьили отсутствие истинных совпадений это результат плохой организации наблюденийи при использовании компьютерных технологий и современных электронных тахеометров этот вопрос во многом исключается.

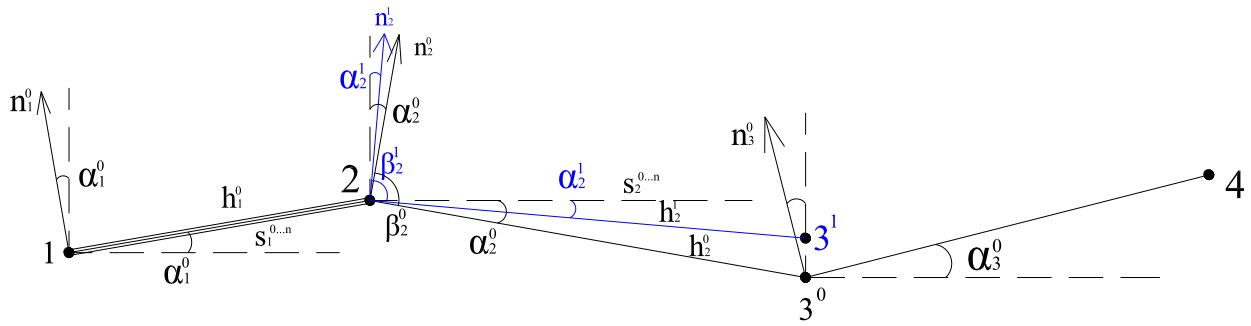


Рисунок 2.8 – Схема к пояснению способа (Одно истинное совпадения - линия 1, смещение линии 2, угол наклона линии 2 между циклами 0 и 1)

Разработана программа на языке Паскаль, реализующая алгоритм способа (приложение А). На рис. 2.9 приведена панель ПК и визуализация для линейного случая.

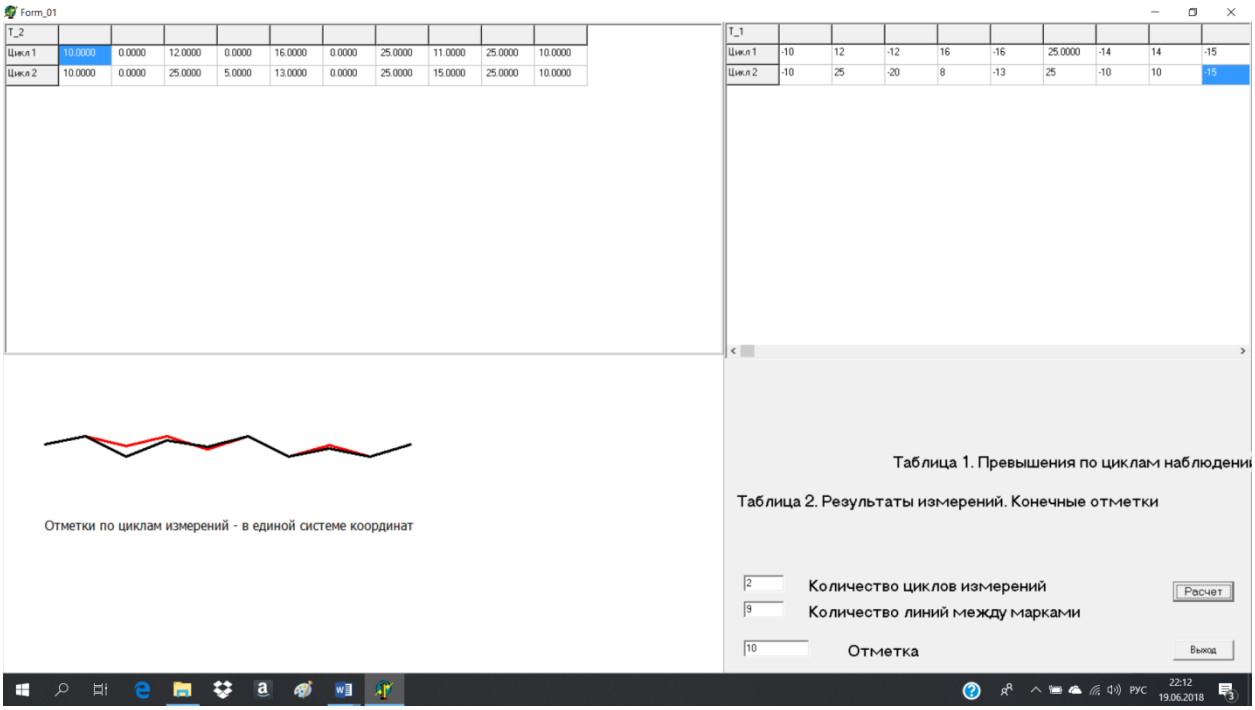


Рисунок 2.9 – Программа для определения отметок реперов по результатом измерений в двух циклах.

Справа панель исходный данных (в таблице приведены превышения), слева в таблице вычисленные отметки, ниже графическое представление конечных результатов.

Алгоритмы определения устойчивых элементов деформационных сетей приведены ниже.

2.1.3 Линейный случай

Как было сказано ранее, в линейном случае контроль изменений выразится в определении угла наклона стороны.

Оценка смещений выполняется на основании данных нескольких циклов. После каждого цикла измерений делается оценка смещений по методике, приведенной выше. При этом результаты измерений во всех последующих циклах сравнивают с результатами предыдущего и до нулевого цикла.

Условия для работы линейного случая состоят в том, что количество точек должно быть не менее трех, и необходимо наличие одной устойчивой стороны, определенной по результатам двух циклов наблюдений. Примерами линейного случая могут служить реперные станции при наблюдениях на подработанных территориях или профильные линии на карьерах, а также нивелирные ходы в качестве деформационной сети при наблюдениях за осадками зданий и сооружений.

В качестве примера можно привести сеть (ход), включающую фрагмент из реперов 1, 2, 3, 4. Было выполнено несколько циклов нивелирования III класса и измерения с помощью электронного тахеометра, соответствующие точности полигонометрии III класса: нулевой цикл 0 и циклы 1…n (рис. 2.10). По результатам проведенных работ были вычислены соответственно высотные и плановые координаты реперов. Разрабатываемый метод позволяет устранить недостатки, описанные в источнике [55].

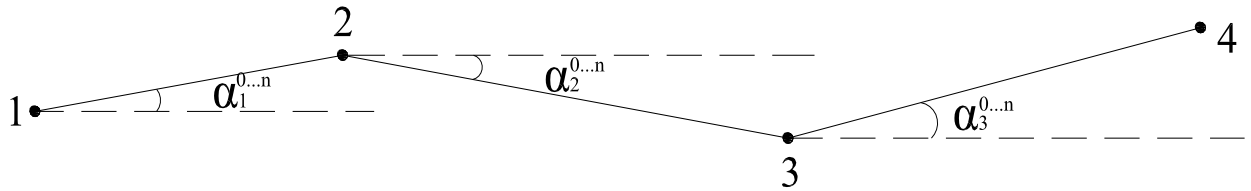


Рисунок 2.10 – Фрагмент деформационной сети: циклы 0...n

Углы наклона α равны углам отклонения нормалей от вертикали, и вычисляются согласно нижеизложенному алгоритму.

Первоначально необходимо задать в общем виде уравнение прямой, проходящей через 2 точки:

$$\frac{x-x_1}{x_1-x_2}=\frac{y-y_1}{y_1-y_2} \quad (2.1)$$

Это же уравнение может быть представлено в виде:

$$x(y_1-y_2)+y(x_2-x_1)+x_1y_2-x_2y_1=0 \quad (2.2)$$

Затем для удобства расчетов необходимо ввести дополнительные переменные:

$$A=y_1-y_2;\ \ B=x_2-x_1 \quad (2.3)$$

Исходя из этого для любой точки на прямой может быть построена нормаль к этой прямой:

$$\frac{x-x'}{A}=\frac{y-y'}{B} \quad (2.4)$$

где x', y' – координаты произвольной точки на прямой.

Уравнение нормали может быть получено и иным способом [78]. Рассматривая график функции $y = f(x)$, представим $M_0\ (x_0; y_0)$ как одну из его точек. В таком случае можно записать уравнение прямой:

$$y-y_0=f'(x_0)(x-x_0), \quad (2.5)$$

и уравнение нормали к этой прямой:

$$y-y_0=-\frac{1}{f'(x_0)}(x-x_0), \quad (2.6)$$

где угловой коэффициент нормали связан с угловым коэффициентом касательной (прямой):

$$k_n=-\frac{1}{f'(x_0)}. \quad (2.7)$$

Получив уравнение нормали вида $y_n=a_nx+b_n$ можно найти α – угол отклонения нормали от вертикали. Расчет угла выполняется по следующей формуле:

$$\alpha=90°-|arctg\ a_n|. \quad (2.8)$$

Работая с простыми углами наклона, можно воспользоваться формулой расчета на основании тангенса искомого угла. Тогда угол α будет определяться по формуле:

$$\alpha=\mathrm{atan}\frac{2-\mathrm{II}}{1-\mathrm{II}} \quad (2.9)$$

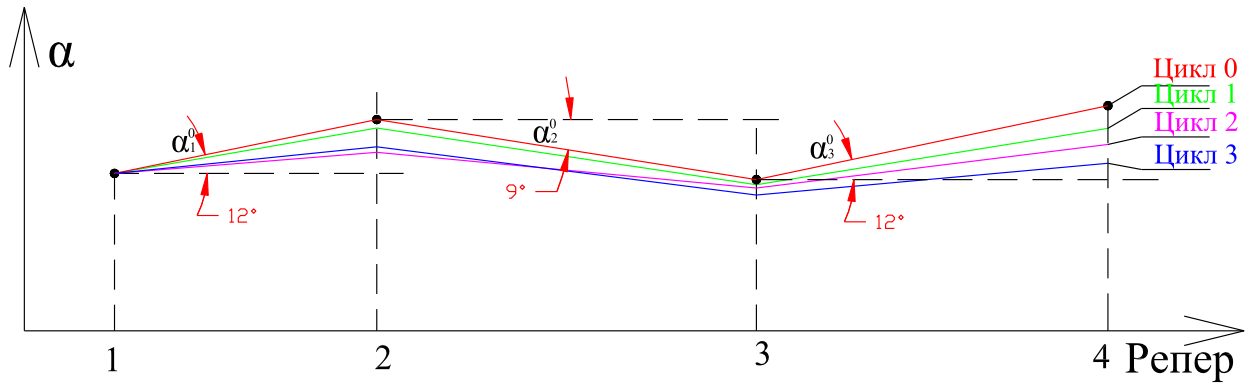


Рисунок 2.11 – Схема к моделированию линейного случая

Ключевым вопросом при измерениях является оценка их точности. Этот вопрос для удобства понимания рассмотрим относительно способа А. Костехеля. Устойчивость деформационной сети может быть оценена по величинам разностей между циклами Δ◦, определяемой из выражения:

$$\Delta_{\circ} = \left|\alpha^{i} - \alpha^{0}\right| \qquad (2.10)$$

Оценить стабильность сети можно на основании следующего условия:

$$\Delta_{\circ} < \Delta_{\text{пред},\circ} \qquad (2.11)$$

где $\Delta^{\circ}_{\text{пред}}$ – предельное значение разности между углами наклона, измеряемых в градусах.

Согласно Инструкции [14], средняя квадратическая погрешность m_h нивелирования III класса на один км хода составляет 5 мм. Превышение между точками рассчитывается как разность между их высотами. Осадка точки рассчитывается подобным образом: как разность между отметками одной и той же точки. Следовательно:

$$\mathrm{m}_{\Delta,\text{мм}} = \mathrm{m}_{\mathrm{h},\text{мм}} \qquad (2.12)$$

Это означает, что погрешность осадки так же, как и погрешность нивелирования, составит 5 мм.

В теории ошибок измерений доказано, что нормальное большинство результатов измерений (68,3%) находится в пределах $\pm m$; в интервал $2m$ попадает 95,4% измерений, а если задаться $3m$ – то вероятность ошибки составит 0,03%. На этом основании предельную ошибку $m_{\text{пред}}$ длянашего

примераприм равной удвоенной средней квадратической ошибке, т. е. $m_{\text{пред}}$ = $2m_{\Delta}$ = 10 мм.

Чтобы связать величины предельных средних квадратических ошибок, следует воспользоваться формулой:

$$\Delta_{\text{пред},^{\circ}} = 2\,\text{atan}\left(\frac{m_{\text{пред}}}{2S_{\text{ср}}}\right) \tag{2.13}$$

где $S_{\text{ср}}$ – средняя длина стороны сети.

Определение истинной устойчивости элемента деформационной сети для линейного случая.

Формулу (2.11) можно применить для определения сторон деформационной сети (хода), для которых изменение вычисленного угла наклона не превышает допустимого значения. Как было уже замечено, здесь могут возникнуть различные варианты.

Основным параметром, по которому устанавливается устойчивость той или иной стороны является факт совпадения наклона сторон в двух соседних циклах (α_1, α_2).

Случай 1.

Количество установленных устойчивых элементов сети с учетом ошибки измерения меньшечем на 3 единицы превышаетчисло однотипных ложных совпадений. Это означает, что большая часть элементов сети является неустойчивой (они претерпели изменения). В этом случае необходимо проведение корректировки интервала между циклами наблюдений в сторону его уменьшения и дополнительных наблюдений, результаты которых совместно с предыдущими циклами определят тенденцию процесса и установление устойчивых элементов сети..

В случае отсутствия устойчивых элементов (совпадений положений элементов между циклами), которое обусловлено неправильной организацией наблюдений, например, большой временной разрыв между циклами наблюдений. В этом случае за устойчивый элемент сети принимается наименее

изменивший свое положение. Принадлежащие ему репера (марки) принимают за устойчивые и относительно их выполняется оценка вертикальных смещений

Правильная организация наблюдений подразумевает установление интервалов между наблюдениями, при котором будет обеспечено деформирование модели сети с достаточным количеством устойчивых ее элементов. Это достигается экспериментальным путем с учетом стадий развития наблюдаемого деформационного процесса. Например, при возведении здания примерно можно выделить этапы нагружения и разгрузки земной толщи. При возведении котлована известны его геометрические параметры и можно выделить по процентам его создание (100% - полное откопка) циклы наблюдений. Например, циклы наблюдений проводить по мере 10% откопки котлована. То же можно организовать и для возведения здания. Гораздо сложнее организовать порядок наблюдений при строительстве сложных объектов (с заранее неизвестным процессом деформирования). В этом случае интервал наблюдений устанавливается эмпирическим путем, но с учетом процесса строительства. Например, подработка зданий и сооружений. Первые циклы наблюдений выполняют с интервалом соразмерным скорости подземной проходки выработки (подвигания очистной выработки). Это может потребовать каждодневных замеров. Первые замеры покажут обязательность такого интервала. Возможно его учащение или увеличение. Вообще тенденция мониторинговых наблюдений определяется в использовании роботизированных тахеометров, применение которых в значительной степени снимает рассматриваемый вопрос.

Вторым важным вопросом при использовании предлагаемого способа измерений вертикальных смещений является выявление наиболее устойчивогорепера. Это важно, так как от него будет выполняться вычисление отметок. Алгоритм следующий. Установленные устойчивые элементы (звенья нивелирного хода или треугольники в плоскостном случае) проверяются на наибольшую устойчивость. Точки, принадлежащие только устойчивым элементам сети, поочередно принимают отметку предыдущего цикла.

Вычисляются отметки всех устойчивых точек (реперов, марок) по измеренным превышениям текущего цикла (при этом точкой отсчета является текущая, принятая за устойчивую). Вычисляются последовательно СКО отметок каждой точки (текущий цикл и предыдущий). Далее вычисляется их сумма. В итоге устойчивым считается репер (марка) с наименьшей суммой СКО.

Случай 2.

Имеется достаточное число совпадений сторон (больше на 3 единицы ложных совпадений).

В данном случае полноценно реализуется предлагаемый способ оценки вертикальных смещений деформационной сети (ход, рисунок 2.12).

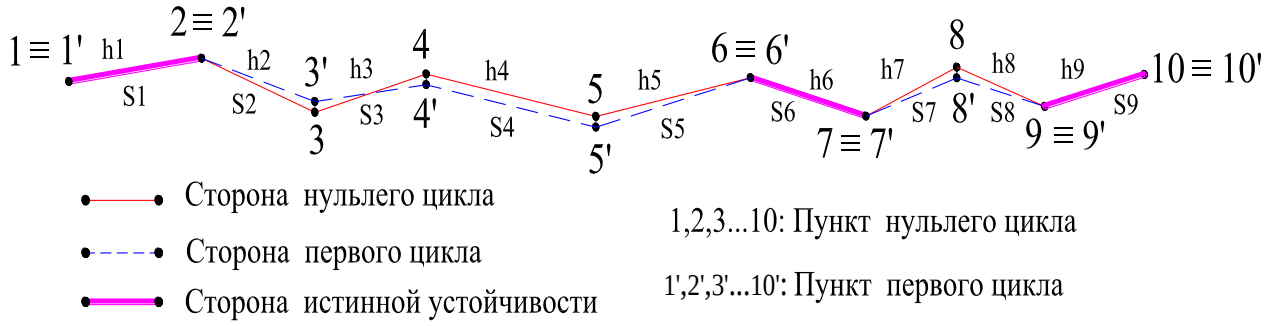


Рисунок 2.12 – Схема определения устойчивых элементов сети

На рисунке (2.12) приведен нивелирный ход. Высоты точек в цикле 0: H_1, H_2… H_{10} и высоты точек в цикле 1: $H_{1'}$, $H_{2'}$… $H_{10'}$. Уравненные превышения в цикле 0: h_1, h_2 … h_9 и уравненные превышения в цикле 1: h'_1, h'_2 … h'_9.

Зная превышения (h) мы можем в каждом из циклов рассчитать высоту всех точек сети (хода), если известна отметка хотя бы одной точки. Этими точками являются точки, принадлежащие истинным (устойчивым, несмещенным) сторонам деформационной мети (хода).

Программная реализация приведенной схемы на рисунок 2.12 приведена на рисунок 2.9

2.1.4 Плоскостной случай

Плоскостной случай реализуется аналогично линейному. При этом для определения устойчивых элементов деформационной сети (не изменяющих своего положения в двух циклах наблюдений) определяется угол наклона плоскости, ограниченной тремя реперами (треугольник в триангуляционной сети).

На рис. 2.13 приведен пример геодезической сети, где синим обозначены номера реперов сети (деформационных марок) i (1…9), а красным – номера элементов (треугольников) k (1…9). При каждом цикле эти плоскости могут изменять свое положение.

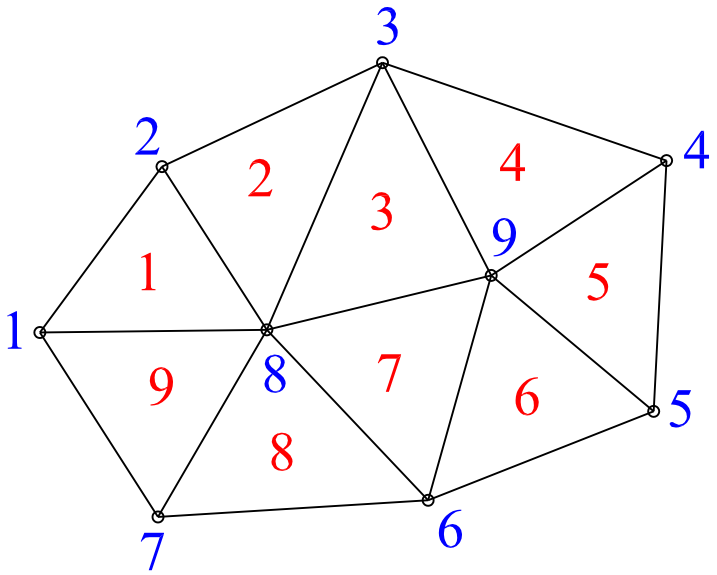


Рисунок 2.13 – Схема деформационной сети

Выполняется вычисление разностей между углами наклона элементов (или нормалей к ним) в циклах 0 и 1 *(предыдущем и последующем)*. Как и в линейном случае, нулевой цикл принимается за базовый – от него считаем интегральные смещения.

На рис. 2.14 приведен искомый угол α между плоскостью ABC, образованной тремя реперами сети, и горизонтальной плоскостью ABD.

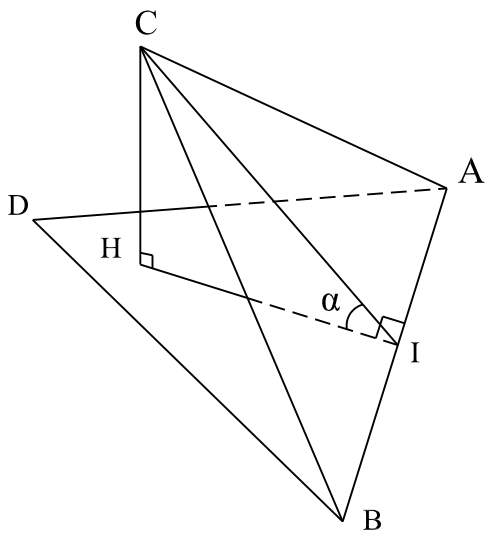


Рисунок 2.14 – Схема к определению угла между плоскостями ABC и ABD

Для линейной модели было рассмотрено уравнение прямой; в данном случае применяется уравнение плоскости. Уравнение плоскости по трем точкам, не лежащим на одной прямой, может быть составлено по формуле [26]:

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & x_1 - x_0 & x_2 - x_0 \\ y - y_0 & y_1 - y_0 & y_2 - y_0 \\ z - z_0 & z_1 - z_0 & z_2 - z_0 \end{vmatrix} = 0 \qquad (2.14)$$

Вектор нормали плоскости, если плоскость задана общим уравнением

$$Ax + By + Cz + D = 0 \qquad (2.15)$$

является $\bar{n}(A; B; C)$.

Уравнение нормали по аналогии с предыдущей главой может быть представлено как:

$$\frac{x - x'}{A} = \frac{y - y'}{B} = \frac{z - z'}{C} \qquad (2.16)$$

где x', y', z' – координаты произвольной точки на прямой в пространстве.

Задача состоит в определении разности между нормалями в смежных циклах, которая будет характеризовать отклонение плоскостей (их неустойчивость в случае, если отклонение не равно 0).

При рассмотрении углов между плоскостями, при их пересечении образуются четыре двухгранных угла и любой из этих углов называют углом между плоскостями. Наклон плоскости определяется ее вектором нормали,

поэтому угол между плоскостями можно найти как угол между нормальными векторами данных плоскостей [26]:

$$cos\Delta_\circ = \frac{\overline{n_1}\cdot\overline{n_2}}{|\overline{n_1}|\cdot|\overline{n_2}|} \tag{2.17}$$

Раскрыв формулу, имеем:

$$cos\Delta_\circ = \frac{A_1A_2+B_1B_2+C_1C_2}{\sqrt{A_1^2+B_1^2+C_1^2}\cdot\sqrt{A_2^2+B_2^2+C_2^2}} \tag{2.18}$$

За угол между плоскостями, как правило, принимают острый угол, поэтому при получении тупого угла лучше дополнить расчеты вычислением:

$$\Delta'_\circ = 180° - \Delta_\circ \tag{2.19}$$

где $\Delta_\circ$ – тупой угол между плоскостями (в случае такового),$\Delta'_\circ$ – острый угол.

Методика определения устойчивых треугольников сети подобна линейному случаю. Также, как и в линейном, имеет место два случая совпадения элементов сети. Вычисление отметок проводят по аналогии с линейным случаем.

Допустим имеется достаточное число истинных совпадений элементов.

В данном случае смещения деформационной сети определяют по предлагаемому способу (рисунок 2.15).

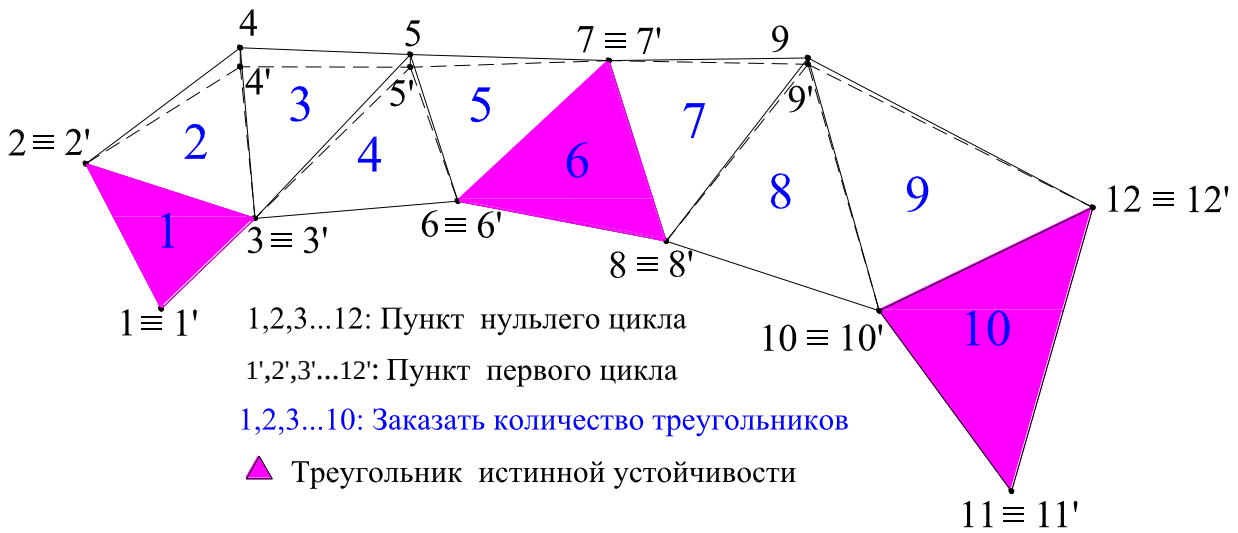


Рисунок 2.15 – Схема определения вертикальных смещений деформационной сети (плоскостной случай)

Расчет отметок точек деформационной сети выполняется относительно устойчивых элементов сети. В основу расчета закладывается вычисление средней квадратической погрешности измерения превышений с помощью формул (2.13), и с ее учетом определяется предельная погрешность. Устойчивость самих реперов определяется и для линейного и плоскостного случая одинаково: репер считается устойчивым, если он принадлежит устойчивому элементу.

2.1.5 Объемный случай

Объемный случай - это реализация плоскостного на гранях объемного тела (рисунок 2.16). При этом его особенностью является использование не только отметок, но и значений координат по всем осям. В работе этот метод не рассматривается, но в перспективе может быть разработан.

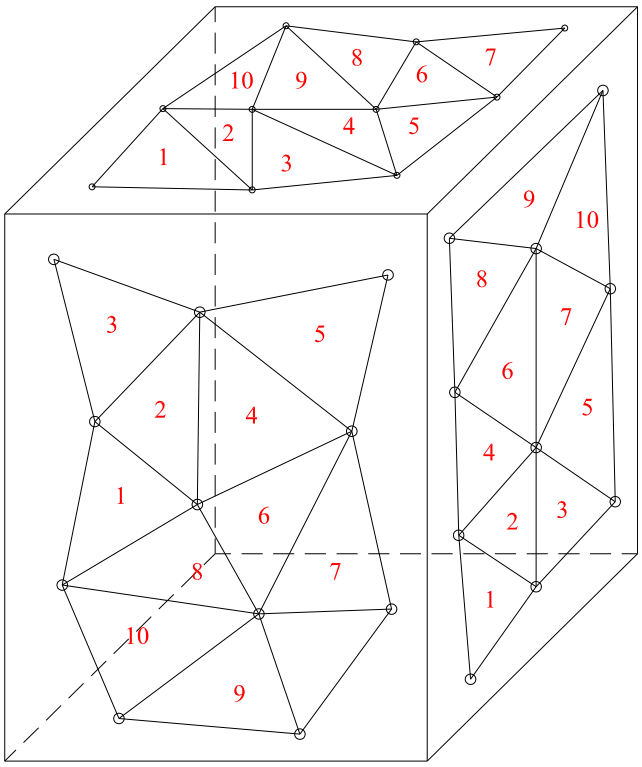


Рисунок 2.16 – Схема реализации разрабатываемого способа для объемного случая

2.1.6 Сравнительный анализ разработанного метода с традиционными методами оценки устойчивости.

В главе 1 представлен ряд методов оценки устойчивости. Для доказательства преимуществ разработанного метода в среде Mathcad был проведен ряд расчетов.

На рис. 2.17 приведена схема сети, обрабатываемой в качестве примера.

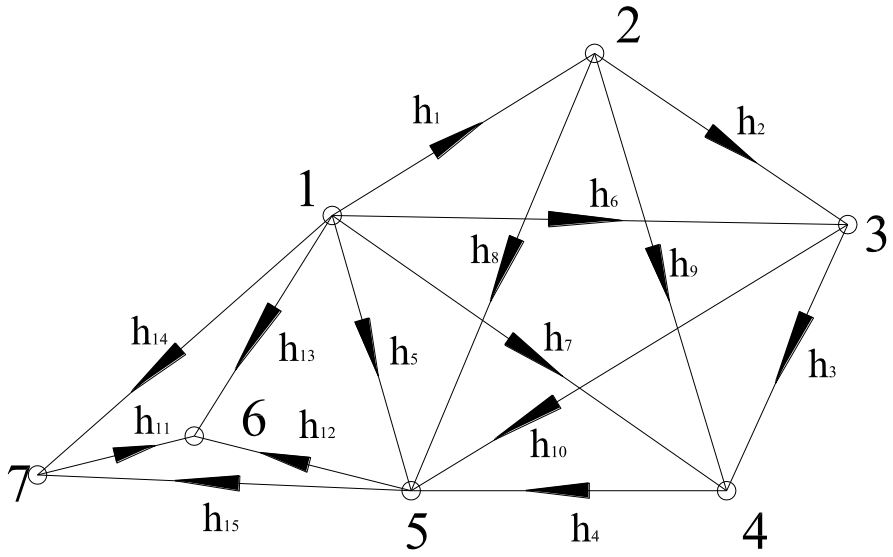


Рисунок 2.17 – Схема деформационной сети для оценки устойчивости и смещений реперов

Исходные данные, принимаемые для расчетов, представлены в таблице 2.1. Как видно, реперы 1, 2, 4, 5 претерпели оседания в варианте 1, поднятие – в варианте 2, и различные деформации – в варианте 3.

Между реперами были рассчитаны значения превышений; например, превышение h_3 – между реперами 3 и 4, h_8 – между реперами 2 и 5, и так далее. Значения превышений объединены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Репер	Отметки реперов, мм		
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Рп 1	-10	20	-10
Рп 2	-25	35	25
Рп 3	0	0	0
Рп 4	-30	15	30
Рп 5	-45	40	-45
Рп 6	0	0	0
Рп 7	0	0	0

Таблица 2.2 – Превышения реперов сети

Обозначение превышений	Превышения, мм		
	Вариант1	Вариант2	Вариант3
h_1	-15	15	35
h_2	25	-35	-25
h_3	-30	15	30
h_4	-15	25	-75
h_5	-35	20	-35
h_6	10	-20	10
h_7	-20	-5	40
h_8	-20	5	-70
h_9	-5	-20	5
h_{10}	-45	40	-45
h_{11}	0	0	0
h_{12}	45	-40	45
h_{13}	10	-20	10
h_{14}	10	-20	10
h_{15}	45	-40	45

Далее был проведен сравнительный анализ способов А. Костехеля, Г.К Ботяна, Я. Мартусевича, В.Ф. Черникова, П. Марчака и разработанного способа. Для способов В.А. Карпенко, Н. Ганьшина, анализ не выполняется ввиду необходимости наличия многократных результатов наблюдений; при этом суть анализа состоит в поиске методов, предоставляющий поиск стабильных реперов после двух циклов.

Для основных методов были выполнены расчеты на конкретном примере. В конце представлен расчет по разработанному автором способу.

Метод В.А. Карпенко.

Метод В.А. Карпенко основан на применении статистического анализа, в частности, корреляционных зависимостей между превышениями в разных циклах. Данный метод предусматривает вычисления коэффициентов корреляции при наличии многократных наблюдений. Смысл заключается в следующем: одни и те же превышения практически не будут отличаться, если реперы являются устойчивыми, следовательно, коэффициенты корреляции будут близки к нулю. В обратном случае коэффициенты корреляции будут

возрастать, если реперы претерпевают некоторые вертикальные смещения. Метод является весьма объемным и трудоемким, и не изучается подробно в рамках данного исследования.

Метод В.Н. Ганьшина.

Метод В.Н. Ганьшина, как и метод В.А. Карпенко, не рассчитан на применение после 2 циклов, и используется при наличии как минимум 3 циклов. В ходе расчетов выполняется определение критерия устойчивого репера за некоторый период времени. Устойчивость реперов устанавливается при условии удовлетворения критерию. Ввиду принципиальных отличий расчетов данного метода от прочих в дальнейшем вычисления представлены не будут.

Методы А. Костехеля, Г.К. Ботяна и Я. Мартусевича.

В таблицах 2.3-2.5 приведены вычисления для вариантов 1, 2 и 3 по данному методу. В таблицы внесены значения превышений между реперами, рассчитаны суммы квадратов превышений, определены итоговые величины (-V)/[VV], определены наиболее стабильные реперы для каждого варианта. Расчеты по методам Г.К. Ботяна и Я. Мартусевича повторяют в общих чертах расчеты по методу А. Костехеля (табл. 2.3-2.5). По результатам расчетов можно заключить, что при общем поднятии или оседании реперов методы дают неадекватные результаты.

Таблица 2.3 – Расчет варианта 1 по способам А. Костехеля, Г.К. Ботяна и Я. Мартусевича

Способ Костехеля – Вариант1								
№ репера	Превышение между реперами						(-V)/ [VV]	Прим.
	2	3	4	5	6	7		
Рп 1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7		
V	-15	10	-20	-35	10	10	40	
[VV]	225	100	400	1225	100	100	2150	**(Стаб)**
Рп 2	2-1	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7		
V	15	25	-5	-20	25	25	-65	
[VV]	225	625	25	400	625	625	2525	
Рп 3	3-1	3-2	3-4	3-5	3-6	3-7		
V	-10	-25	-30	-45	0	0	110	
[VV]	100	625	900	2025	0	0	3650	
Рп 4	4-1	4-2	4-3	4-5	4-6	4-7		
V	20	5	30	-15	30	30	-100	
[VV]	400	25	900	225	900	900	3350	
Рп 5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-6	5-7		
V	35	20	45	15	45	45	-205	
[VV]	1225	400	2025	225	2025	2025	7925	
Рп 6	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-7		
V	-10	-25	0	-30	-45	0	110	
[VV]	100	625	0	900	2025	0	3650	
Рп 7	7-1	7-2	7-3	7-4	7-5	7-6		
V	-10	-25	0	-30	-45	0	110	
[VV]	100	625	0	900	2025	0	3650	

Таблица 2.4 – Расчет варианта 2 по способам А. Костехеля, Г.К. Ботяна и Я. Мартусевича

Способ Костехеля – Вариант2								
№ репера	Превышение между реперами						(-V)/[VV]	Прим.
	2	3	4	5	6	7		
Рп 1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7		
V	15	-20	-5	20	-20	-20	30	
[VV]	225	400	25	400	400	400	1850	
Рп 2	2-1	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7		
V	-15	-35	-20	5	-35	-35	135	
[VV]	225	1225	400	25	1225	1225	4325	
Рп 3	3-1	3-2	3-4	3-5	3-6	3-7		
V	20	35	15	40	0	0	-110	
[VV]	400	1225	225	1600	0	0	3450	
Рп 4	4-1	4-2	4-3	4-5	4-6	4-7		
V	5	20	-15	25	-15	-15	-5	
[VV]	25	400	225	625	225	225	1725	**(Стаб)**
Рп 5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-6	5-7		
V	-20	-5	-40	-25	-40	-40	170	
[VV]	400	25	1600	625	1600	1600	5850	
Рп 6	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-7		
V	20	35	0	15	40	0	-110	

Продожение таблицы 2.4

[VV]	400	1225	0	225	1600	0	3450	
Рп 7	7-1	7-2	7-3	7-4	7-5	7-6		
V	20	35	0	15	40	0	-110	
[VV]	400	1225	0	225	1600	0	3450	

Таблица 2.5 – Расчет варианта 3 по способам А. Костехеля, Г.К. Ботяна и Я. Мартусевича

Способ Костехеля – Вариант3								
№ репера	Превышение между реперами						(-V)/[VV]	Прим.
	2	3	4	5	6	7		
Рп 1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7		
V	35	10	40	-35	10	10	-70	
[VV]	1225	100	1600	1225	100	100	4350	
Рп 2	2-1	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7		
V	-35	-25	5	-70	-25	-25	175	
[VV]	1225	625	25	4900	625	625	8025	
Рп 3	3-1	3-2	3-4	3-5	3-6	3-7		
V	-10	25	30	-45	0	0	0	
[VV]	100	625	900	2025	0	0	3650	**(Стаб)**
Рп 4	4-1	4-2	4-3	4-5	4-6	4-7		
V	-40	-5	-30	-75	-30	-30	210	
[VV]	1600	25	900	5625	900	900	9950	
Рп 5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-6	5-7		
V	35	70	45	75	45	45	-315	
[VV]	1225	4900	2025	5625	2025	2025	17825	
Рп 6	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-7		
V	-10	25	0	30	-45	0	0	
[VV]	100	625	0	900	2025	0	3650	**(Стаб)**
Рп 7	7-1	7-2	7-3	7-4	7-5	7-6		
V	-10	25	0	30	-45	0	0	
[VV]	100	625	0	900	2025	0	3650	**(Стаб)**

Метод В.Ф. Черникова.

Данный метод использует принцип неизменной средней отметки всех реперов сети. Он включает следующие расчеты:

- определение разностей высот реперов во всех циклах;
- поиск значения изменения высоты исходного репера, при котором удовлетворяется условие $\left[v_{ik_r} + \eta_{ik_r}\right]^2 = min$;
- составление и решение уравнений поправок;
- вычисление отметок реперов сети.

Анализируя результаты расчетов можно сделать вывод, что способ Черникова, как и способы Костехеля и Ботяна, дает неверные результаты в случае общего поднятия или оседания реперов. Верные результаты наблюдаются лишь в варианте 3 – при наличии смещений различного направления.

Таблица 2.6 – Расчет варианта 1 по способу В.Ф. Черникова

Репер	Черников вариант 1				
	цикл 2	цикл 1	δ h12	Вероятнейшие отметки 2 цикл	Прим.
Рп 1	-10	0	-10	5.714	**(Стаб)**
Рп 2	-25	0	-25	-9.286	
Рп 3	0	0	0	15.714	
Рп 4	-30	0	-30	-14.286	
Рп 5	-45	0	-45	-29.286	
Рп 6	0	0	0	15.714	
Рп 7	0	0	0	15.714	
			-110		
		η 12	15.714		

Таблица 2.7 – Расчет варианта 2 по способу В.Ф. Черникова

Репер	Черников вариант 2				
	цикл 2	цикл 1	δ h12	Вероятнейшие отметки 2 цикл	Прим.
Рп 1	20	0	20	4.286	
Рп 2	35	0	35	19.286	
Рп 3	0	0	0	-15.714	
Рп 4	15	0	15	-0.714	**(Стаб)**
Рп 5	40	0	40	24.286	
Рп 6	0	0	0	-15.714	
Рп 7	0	0	0	-15.714	
			110		
		η 12	-15.714		

Таблица 2.8 – Расчет варианта 3 по способу В.Ф. Черникова

Репер	Черников вариант 3				
	цикл 2	цикл 1	δ h12	Вероятнейшие отметки 2 цикл	Прим.
Рп 1	-10	0	-10	-10.000	
Рп 2	25	0	25	25.000	
Рп 3	0	0	0	0.000	**(Стаб)**
Рп 4	30	0	30	30.000	
Рп 5	-45	0	-45	-45.000	
Рп 6	0	0	0	0.000	**(Стаб)**
Рп 7	0	0	0	0.000	**(Стаб)**
			0		
		η 12	0.000		

Способ П. Марчака.

Оценка устойчивости и поиск наиболее стабильного репера был выполнен также и по способу Марчака. Данный способ включает следующие расчеты:

- определение превышений Δh_i между реперами;
- расчет накопления превышений Δh_{pn} от первого к последнему реперу;
- расчет суммы накоплений $\Sigma\Delta h_{pn}$;
- деление суммы накоплений$\Sigma\Delta h_{pn}$ на количество реперов N;
- расчет накопления превышенийΔh_0 с прибавлением величины $\Sigma\Delta h_{pn}/N$;
- определение наиболее стабильного репера.

Таким образом, в таблицах 2.9-2.11 представлены расчеты по нахождению наиболее стабильного репера в соответствии с описанным ранее способе Марчака.

В способе Марчака также наблюдается определение стабильных реперов, не совпадающее с действительной ситуацией. Лишь для варианта 3 метод Марчака дает верный результат.

Таблица 2.9 – Расчет варианта 1 по способу П. Марчака

Способ Марчака – Вариант 1				
Номер репера	Δh_i	Δh_{pn}	Δh_0	Прим.
Рп 1	-15	0	**5.71**	**(Стаб)**
Рп 2	25	-15	-9.29	
Рп 3	-30	10	15.71	
Рп 4	-15	-20	-14.29	
Рп 5	45	-35	-29.29	
Рп 6	0	10	15.71	
Рп 7	-10	10	15.71	
		$\Sigma\Delta h_0$	0.00	
$\Sigma\Delta h_{pn}$		-40	$\Sigma\Delta h_{pn}/7$	-5.71

Таблица 2.10 – Расчет варианта 2 по способу П. Марчака

Способ Марчака – Вариант 2				
Номер репера	Δh_i	Δh_{pn}	Δh_0	Прим.
Рп 1	15	0	4.29	
Рп 2	-35	15	19.29	
Рп 3	15	-20	-15.71	
Рп 4	25	-5	**-0.71**	**(Стаб)**
Рп 5	-40	20	24.29	
Рп 6	0	-20	-15.71	
Рп 7	20	-20	-15.71	
		$\Sigma\Delta h_0$	0.00	
$\Sigma\Delta h_{pn}$		-30	$\Sigma\Delta h_{pn}/7$	-4.29

Таблица 2.11 – Расчет варианта 3 по способу П. Марчака

Способ Марчака – Вариант 3				
Номер репера	Δh_i	Δh_{pn}	Δh_0	Прим.
Рп 1	35	0	-10.00	
Рп 2	-25	35	25.00	
Рп 3	30	10	**0.00**	**(Стаб)**
Рп 4	-75	40	30.00	
Рп 5	45	-35	-45.00	
Рп 6	0	10	**0.00**	**(Стаб)**
Рп 7	-10	10	**0.00**	**(Стаб)**
		$\Sigma\Delta h_0$	0.00	
$\Sigma\Delta h_{pn}$		70	$\Sigma\Delta h_{pn}/7$	10.00

Предлагаемый способ.

Содержание метода подробно описано (2.1) в главе 2. Основываясь на разделе (2.1.3), формуле (2.11) и пункте "***Определение истинной устойчивости элемента деформационной сети для линейного случая*"*,** мы можем определить устойчивоезвено (элемент) между двумя циклами. Далее вычисляемотметки точек, считая за исходные устойчивые пункты.

Расчеты, аналогичные проведенным ранее, были выполнены по вычислению угла α по формулам:

$$\propto_i^j = -\beta_i^j - \frac{\pi}{2} \text{ если } \beta_i^j < 0 \quad (2.20)$$

$$\propto_i^j = -\beta_i^j + \frac{\pi}{2} \text{ если } \beta_i^j > 0 \quad (2.21)$$

где:

$$\beta_i^j = \text{atan}\left(\frac{S_i}{h_i^j}\right) \quad (2.22)$$

где S_i – длина звена между реперами, h_i^j –превышение между точками.

Высота точки вычисляется по формуле:

$$H_i^j = H_{i-1}^j + S_i tan \propto_i^j \quad (2.23)$$

где H_i^j – высота репера в цикле j, H_{i-1}^j – высота репера, соседнего с репером i в цикле j, S_i – сторона между реперами, $\propto_i^j$ – угол наклона стороны.

Результаты расчетов сведены в таблицы 2.12-2.14. В таблицах в столбце X показана плановая координата точек сети при условно принятых длинах сторон, равных единице, H – отметки реперов сети.

Таблица 2.12 – Расчет варианта 1 по разработанному способу

Разработанный метод – Вариант 1					
Репер	Цикл 0		Цикл 1		Премечание
	X(м)	H (м)	X(м)	H (м)	
Рп 7	0.000	**0.000**	0.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 6	1.000	**0.000**	1.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 5	2.000	0.000	2.000	-0.045	
Рп 4	3.000	0.000	3.000	-0.030	
Рп 3	4.000	**0.000**	4.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 2	5.000	0.000	5.000	-0.025	
Рп 1	6.000	0.000	6.000	-0.010	

Таблица 2.13 – Расчет варианта 2 по разработанному способу

Разработанный метод – Вариант 2					
Репер	Цикл 0		Цикл 1		Премечание
	X(м)	H (м)	X(м)	H (м)	
Рп 7	0.000	**0.000**	0.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 6	1.000	**0.000**	1.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 5	2.000	0.000	2.000	0.040	
Рп 4	3.000	0.000	3.000	0.015	
Рп 3	4.000	**0.000**	4.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 2	5.000	0.000	5.000	0.035	
Рп 1	6.000	0.000	6.000	0.020	

Таблица 2.14 – Расчет варианта 3 по разработанному способу

Разработанный метод – Вариант 3					
Репер	Цикл 0		Цикл 1		Премечание
	X(м)	H (м)	X(м)	H (м)	
Рп 7	0.000	**0.000**	0.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 6	1.000	**0.000**	1.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 5	2.000	0.000	2.000	-0.045	
Рп 4	3.000	0.000	3.000	0.030	
Рп 3	4.000	**0.000**	4.000	**0.000**	**(Стаб)**
Рп 2	5.000	0.000	5.000	0.025	
Рп 1	6.000	0.000	6.000	-0.010	

Результаты расчетов по традиционным способам и разработанному автором представлены на рис. 2.18 - 2.220.

Как видно из графиков, отметки по разработанному способу совпали с истинными во всех трех вариантах. В то же время рассмотренные традиционные способы показали неправильные результаты в первых двух и лишь в третьем дали правильный результат. Этот результат корреспондируется с выводами работы [21], где получке такой же результат.

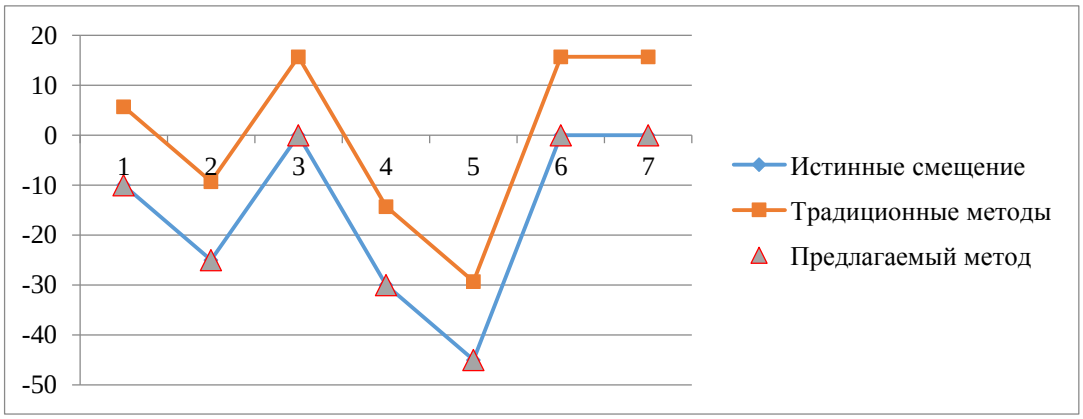


Рисунок 2.18 – Графики вертикальных смещений для варианта 1

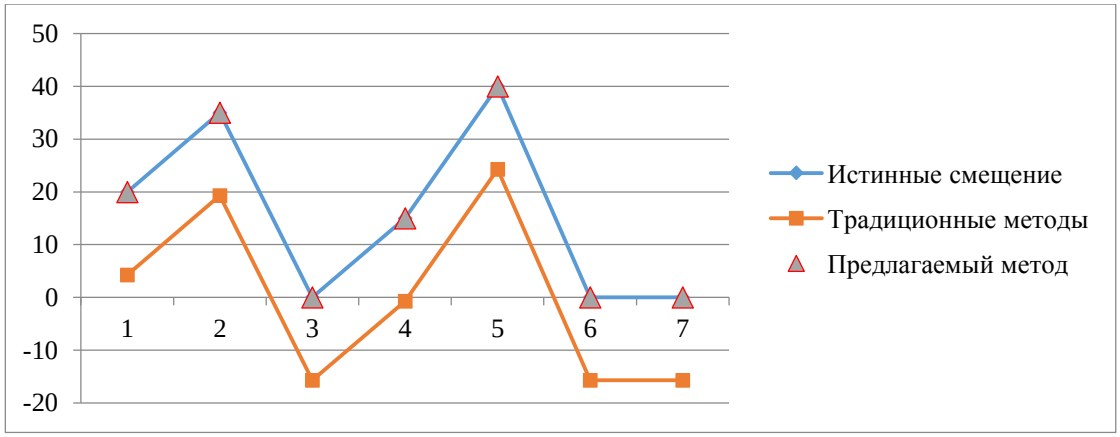


Рисунок 2.19 – Графики вертикальных смещений для варианта 2

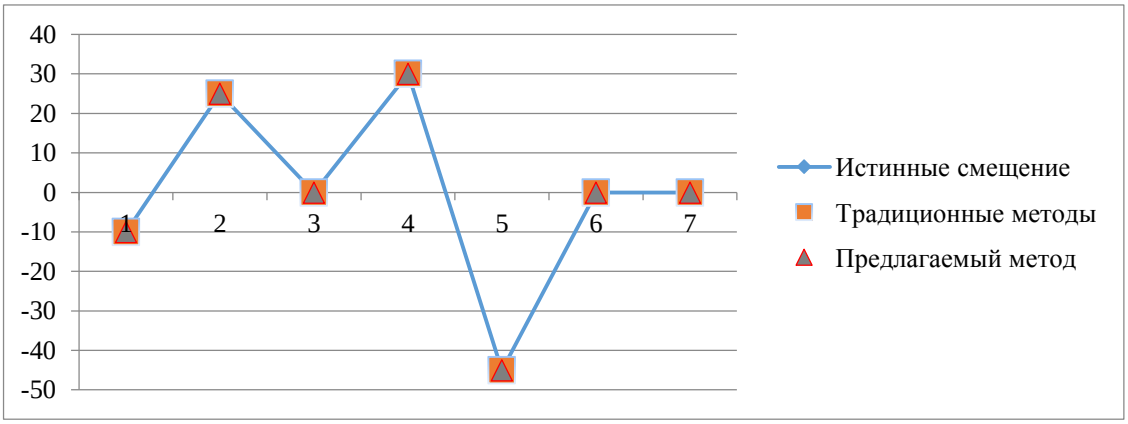


Рисунок 2.20 – Графики вертикальных смещений для варианта 3

На основании вышесказанного можно заключить, что данные способы имеют ряд недостатков, в частности, в ходе расчетов отсутствует учет знака репера. Кроме того, представленные способы оценки смещений не вполне удобны для реализации на компьютере в автоматизированном режиме.

Разработанный способ показал существенное преимущество по сравнению с рассмотренными традиционными способами, в соответствии с которыми после определения наиболее устойчивого репера выполняется оценка всех остальных реперов. Это связано со значительным объемом вычислений. В новом способе определяются устойчивые связки из двух реперов (устойчивые линии), вследствие чего количество вычислений существенно сокращается. Более того предлагаемый способ позволяет производить оценку устойчивости всей сети, в том числе опорных реперов. Это является важным преимуществом разработанного способа.

2.2 Учет точности наблюдений

В соответствии с [17] допустимая погрешность измерения смещений грунтов определяется по таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Допустимая погрешность измерения перемещений для периода

Расчетная величина вертикальных	**Допустимая погрешность измерения перемещений для периода, мм**			
или горизонтальных	**строительного**		**эксплуатационного**	
перемещений,	**Грунты**			
предусмотренная проектом	**песчаные**	**глинистые**	**песчаные**	**глинистые**
До 50	1	1	1	1
Св. 50 до 100	2	1	1	1
« 100 « 250	5	2	1	2
« 250 « 500	10	5	2	5
« 500	15	10	5	10

Таблица 2.16 – Допустимая погрешность измерения перемещений

Класс точности	**Допустимая погрешность измерения перемещений, мм**	
измерений	**вертикальных**	**горизонтальных**
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

При отсутствии данных по расчетным величинам деформаций оснований фундаментов класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещении допускается устанавливать:

- I - для зданий и сооружений: уникальных; длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации; возводимых на скальных и полускальных грунтах;
- II - для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;
- III - для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;
- IV - для земляных сооружений.

В соответствии с нормативным документом [60] для характеристики точности геодезических измерений на начальном этапе наблюдений за деформациями зданий и сооружений, как правило, принимаются следующие средние квадратические погрешности измерений относительно опорных геодезических пунктов при определении:

- Вертикальных смещений зданий и сооружений - на скальных грунтах 1-2 мм и на дисперсных грунтах 2-3 мм;
- Горизонтальных смещений зданий и сооружений - 1-2 мм.
- Наклона зданий и сооружений - 2-3 мм на каждые 100 м высоты.

Таким образом точности геодезических измерений определены и задача настоящей работы определить возможности обеспечения этой точности современными приборами. Безусловно при этом за базовый метод измерений следует признать геометрическое нивелирование.

Полный цикл производства и обработки нивелировок, представлен в Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов [15].

Геодезические работы сегодня не представляются без использования электронного тахеометра. Ниже кратко рассматриваются основные принципы его работы.

2.2.1 Съемка реперов методом электронной тахеометрии

Основная часть наблюдений предполагается выполнять с применением электронных тахеометров или роботизированных станций. И те и другие

инструменты предназначены для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов..

Съемка электронным тахеометром. Электронный тахеометр (ЭТ) может быть успешно использован для систематических отдельных циклов наблюдений определенного объекта (здания или сооружения). При использовании электронного тахеометра схема наблюдений может быть соответствовать, представленной на рис. 2.21. Тахеометр располагается последовательно в точках Р1, Р2, …, Р8, и производит измерения координат соседних реперов (марок) (например, марки 1-5 для наблюдений из точки Р3) и деформационных марок, расположенных в зоне видимости (марки 1-5 для наблюдений из точки Р3).

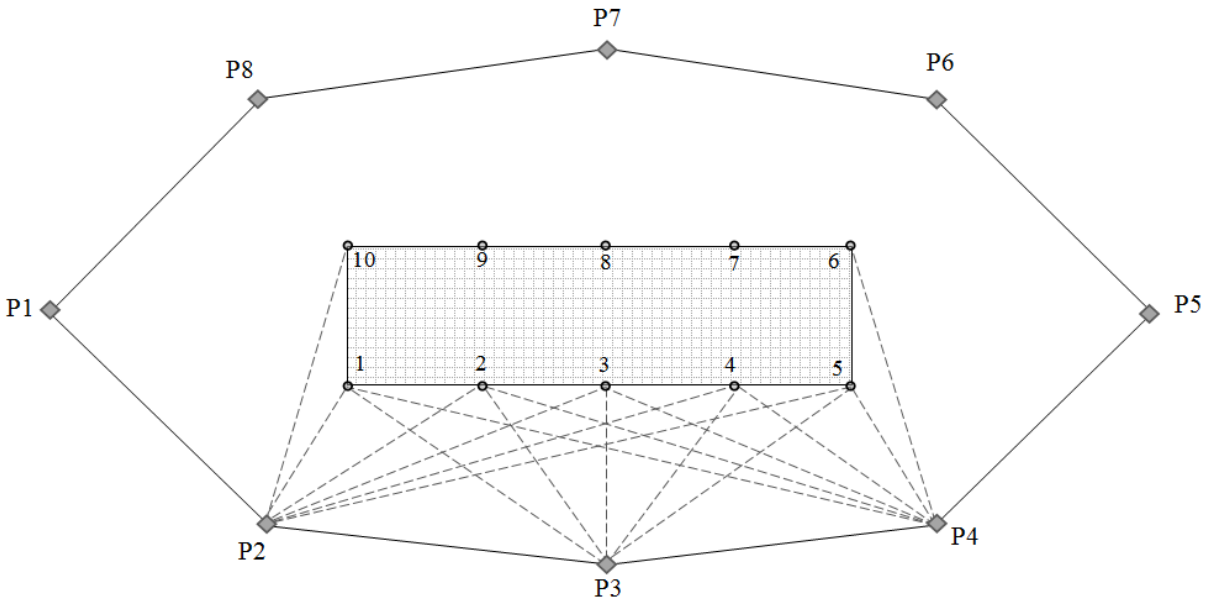


Рисунок 2.21 – Схема наблюдений с использованием тахеометра

Применение ЭТ весьма эффективно. Вместе возникает вопрос об обеспечении указанных точностях при выполнении наблюдений. Этот вопрос будет рассмотрен в следующей главе.

Съемка роботизированным тахеометром. Использование роботизированного тахеометра (РТ) целесообразно при необходимости проведения измерений перманентно. В нашем случае этот вопрос весьма

актуален в связи с тем , что требуется обеспечение устойчивых реперов (элементов деформационной сети, линий, треугольников) в модели.

Использование РТ аналогично ЭТ.

Все виды электронных тахеометров делят на несколько основных групп по сфере их использования:

- технические (оборудованы только отражательным дальномером);
- строительные (используются для отражательной и безотражательной съемки, имеют безотражательный дальномер вместо алидады);
- инженерные (имеющие ряд дополнительных функций: камера для построения 3D-профилей местности, сенсорный монитор, прикладные приложения, USB-порты, Wi-Fi, Bluetooth и т.д.).

Измерение расстояний тахеометром может выполняться на основании фазового или импульсного метода. Фазовый метод означает определение расстояний путем измерения разности фаз излучаемого и отраженного светового луча. В импульсном методе расстояние измеряется по времени прохождения лазерного луча до отражателя в прямом и обратном направлении [25].

Таким образом, в результате съемки будут получены наборы координат деформационных марок, отснятых с одной ли нескольких точек стояния. Обработка множественных результатов измерений представлена в главе 2.2.2.

2.2.2 Оценка точности геодезических измерений с помощью электронного тахеометра

Процесс обработки результатов измерений электронным тахеометром может быть разделен на этапы первичной, предварительной и окончательной обработки. Вместе с геодезическим оборудованием поставляется пакет специального программного обеспечения, позволяющий производить основные вычисления. Кроме того, программные продукты такого типа позволяют получить развернутый анализ точности измерений.

При многократном измерении одного и того же репера (или марки) может быть получена целая выборка значений координат. Для того, чтобы определить точность измерений, нужно воспользоваться формулой Бесселя для работы с равноточными измерениями [52]. Данная формула применяется, когда истинное значение неизвестно, а за вероятнейшее значение измеряемой величины принимают ее среднее арифметическое (арифметическую середину):

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} \tag{2.24}$$

где v – вероятнейшие погрешности измерений, n – число измерений.

Также рассчитывается СКП среднего арифметического. Формула расчета показывает, что СКП арифметической середины в $\sqrt{n}$ раз меньше СКП отдельного измерения:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} \tag{2.25}$$

где m – СКП отдельного измерения; n – число измерений.

Надежность СКП среднего арифметического определяется по формуле:

$$m_M = \frac{m}{\sqrt{2n(n-1)}} \tag{2.26}$$

где m – СКП отдельного измерения; n – число измерений.

Важным показателем является предельная погрешность – максимальная погрешность измерения, допускаемая для конкретного вида работ:

$$\mathrm{m}_{\text{пред}} = 3\mathrm{m} \tag{2.27}$$

где m – СКП отдельного измерения.

Для полной оценки необходимо обратиться к основным статистическим показателям, в частности, среднему арифметическому вариационного ряда, дисперсии, среднему квадратическому отклонению.

Средним арифметическим вариационного ряда называется сумма произведений всех вариантов ряда на соответствующие им частоты, деленная на сумму частот:

$$\bar{x} = \frac{[xn]}{x} \tag{2.28}$$

где x – варианты дискретного ряда или середины интервалов интервального вариационного ряда; n – соответствующие им частоты.

Дисперсией вариационного ряда называется среднее арифметическое квадратов отклонений вариантов от их среднего арифметического:

$$s^2 = \frac{[(x_i - \bar{x})^2 n]}{[n]} \tag{2.29}$$

где x – варианты дискретного ряда или середины интервалов интервального вариационного ряда; n – соответствующие им частоты.

Среднее квадратическое отклонение σ – это арифметическое значение корня квадратного из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{s} \tag{2.30}$$

где s – дисперсия вариационного ряда.

Расчет точности определения координат должен обязательно учитывать особенности схемы наблюдений. Согласно рис. 2.22 съемка каждого репера осуществляется с нескольких точек стояния (например, двух или трех), соответственно, это необходимо учесть при расчетах.

Для учета измерений, проведенных с помощью оборудования различной точности, необходимо воспользоваться математическим аппаратом функций измеренных величин [6]. Рассмотрим функцию u независимых переменных x, y, z, …

$$u = f(x, y, z \dots) \tag{2.31}$$

Далее нужно продифференцировать функцию по всем переменным и заменить дифференциалы ∂u, ∂x, ∂y, ∂z, … погрешностями:

$$\Delta u = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)\Delta x + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)\Delta z + \cdots \tag{2.32}$$

Имеют выражение случайной погрешности Δu в зависимости от случайной комбинации погрешностей Δx, Δy, Δz, …. Положим, что имеется n таких комбинаций, которым соответствует n выражений. Нужно возвести полученные выражения в квадрат, сложить и разделить на n. Число комбинаций стремится к бесконечности ($n \to \infty$).

Таким образом, квадрат средней квадратической погрешности функции общего вида равен сумме квадратов произведений частных производных по каждой переменной, умноженных на их средние квадратические погрешности.

$$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \cdots \qquad (2.33)$$

Рассмотрим на примере схемы 2.1. Предположим, каждая марка снята с помощью 2 различных тахеометров: с точностью 3" и с точностью 5". В результате съемки получают координаты X, Y, Z марки, определенные с различной точностью. Тогда итоговое значение может быть найдено по формуле (на примере координаты X):

$$X_1 = \frac{X_1' + X_1''}{2} \qquad (2.34)$$

Воспользовавшись аппаратом, представленным ранее, можно получить формулу для оценки точности координат конкретной марки:

$$m_1^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(m_{X_1'}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(m_{X_1''}\right)^2 = \frac{m_{X_1'}^2 + m_{X_1''}^2}{4} \qquad (2.35)$$

В итоге имеем:

$$m_1 = \frac{\sqrt{m_{X_1'}^2 + m_{X_1''}^2}}{2} \qquad (2.36)$$

Аналогичным образом рассчитываются и другие ситуации; например, при съемке с помощью 3 тахеометров различной точности (двух тахеометров и нивелира, или других вариантов) формула приобретет следующий вид:

$$m_1 = \frac{\sqrt{m_{X_1'}^2 + m_{X_1''}^2 + m_{X_1'''}^2}}{3} \qquad (2.37)$$

Следовательно, для правильной оценки точности измерений на станции необходимо учитывать особенности измерений.

выводы к главе 2

Основные полученные результаты:

1. Разработан способ оценки вертикальных смещений реперов.
2. Описаны линейный, плоскостной и описательно объемный случаи оценки вертикальных смещений реперов и марок.
3. Дано описание и показана работоспособность существующих способов оценки устойчивости опорных реперов.
4. Представленысравнительные смоделированные результаты наблюдений по разработанному и традиционными способам. Показано преимущество разработанного способа, его высокая точность и надежность.
5. Сформулированы научные положения, вытекающие из проведенных исследований. При оценке вертикальных смещений оснований зданий и сооружений следует использовать модельный принцип, в котором деформационная сеть рассматривается как система, элементы которой: звенья между двумя марками в линейном случае или треугольники в плоскостном случае, характеризуют изменчивость системы относительно предыдущего цикла наблюдений по своему пространственному положению.
6. Оценка вертикальных смещений реперов выполняется в два этапа: на первом – определяются смещенные и несмещенные элементы модели по величине отклонений нормалей элементов деформационной сети текущего и предыдущего циклов наблюдений; на втором – вычисляются отметки относительно неподвижных элементов сети.

ГЛАВА 3
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЕМ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В соответствии с основным нормативным документом [16] измерения деформаций оснований фундаментов строящихся зданий и сооружений следует проводить в течение всего периода строительства и в период эксплуатации до достижения условной стабилизации деформаций, устанавливаемой проектной или эксплуатирующей организацией и включаемой в техническое задание. Измерения деформаций оснований фундаментов зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, следует проводить в случае появления недопустимых трещин, раскрытия швов, а также резкого изменения условий работы здания или сооружения.

В процессе измерений деформаций оснований фундаментов должны быть определены (отдельно или совместно) величины: вертикальных перемещении (осадок, просадок, подъемов).

Наблюдения за деформациями оснований фундаментов следует производить в следующей последовательности:

Разработка программы измерений;

Выбор конструкции, места расположения и установка исходных геодезических знаков высотной основы (схема);

Осуществление высотной привязки установленных исходных геодезических знаков;

Установка деформационных марок на зданиях и сооружениях;

Инструментальные измерения величин вертикальных перемещений;

Обработка и анализ результатов наблюдений.

Метод измерений вертикальных смещений следует устанавливать программой измерения деформаций в зависимости от требуемой точности измерения, конструктивных особенностей фундамента, инженерно-геологической и гидрогеологической характеристик грунтов основания,

возможности применения и экономической целесообразности метода в данных условиях.

Предварительное определение точности измерения вертикальных деформаций надлежит выполнять в зависимости от ожидаемой величины перемещения, установленной проектом, в соответствии с табл. 1. (представлена в главе 2)

Схематично методика проводимых работ представлена на схеме. Красным цветом обозначены этапы работ, в которые имеются авторские разработки.

Рисунок 3.1 – Схема организации геодезических наблюдений

3.1 Схемы геодезических наблюдений

В последнее время в качестве инструментального обеспечения наблюдений все чаще применяют современное оборудование, в частности, электронные тахеометры, роботизированные станции, спутниковые приемники, цифровые нивелиры, лазерные дальномеры и т.д.

3.1.1 Линейный случай.

Схемы наблюдений с использованием нивелира приведены в нормативной и методической литературе. Нового в эти методики в работе не вносится, поэтому не рассматриваются. В тоже время представляет интерес реализации разработанного способа оценки вертикальных смещений с использованием тахеометрических измерений.

Схема наблюдений для линейного случая показана на рис. 3.2.

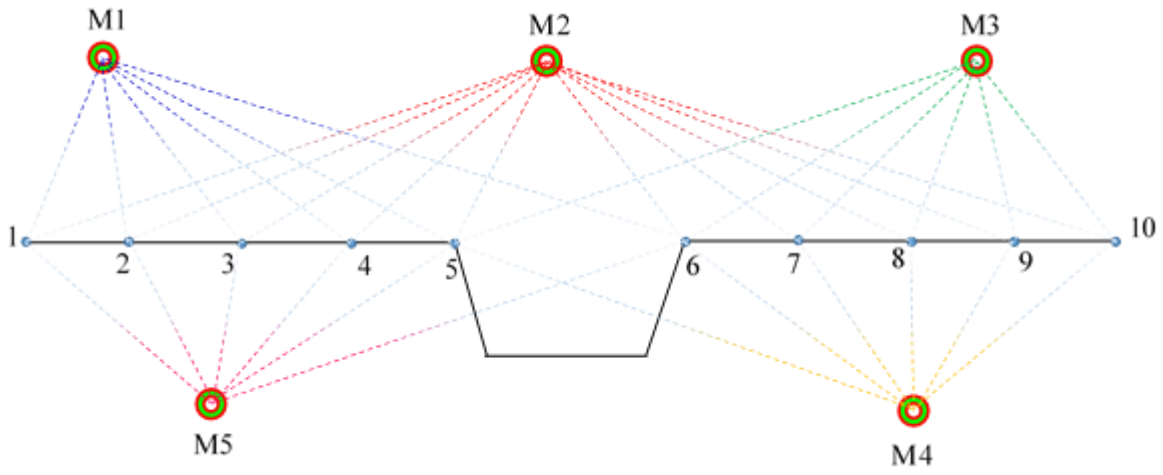


Рисунок 3.2 – Схема наблюдательной станции. Линейный случай

На рисунке 3.2 показан общая схема наблюдений с помощью электронного тахеометра для линейного случая. Примером могут служить такие объекты, как мосты, автомобильные или железные дороги и так далее. При этом не обязательно рассматривать линейные объекты. Линейный случай может быть реализован для здания, при этом будет ломанный нивелирный ход

или криволинейный контур, координаты точек которого определяются с использованием линейно-угловых тахеометрических измерений.

Точки М1...М5 – это точки стояния электронного тахеометра. Их отметки получены в результате нивелирования. Точки 1, 2, 3 ... 10 представляют собой точки наблюдения (деформационные марки), которые образуют звенья (стороны) 1-2, 2-3 ... 9-10 (элементы деформационной сети).

Электронный тахеометр устанавливается на точках М1...М5 и выполняют определение отметок точек 1, 2 ... 10 тригонометрическим способом. При этом измерения с каждой точки М будут независимыми. Количество станций (точек М) зависит от точности тахеометра и требований точности (что описано в пункте 2.2.2). После уравнивания измерений (алгоритм приведен в главе 2), которое сегодня можно выполнять с привлечением сертифицированного программного обеспечения, например с применением ПК «Кредо», получают таблицу данных в виде 3.1.

Таблица 3.1 – Данные измерений на одной станции

№	M_n		
	X_i	Y_i	Z_i
1	X_1	Y_1	Z_1
2	X_2	Y_2	Z_2
3	X_3	Y_3	Z_3
4	X_4	Y_4	Z_4
5	X_5	Y_5	Z_5
6	X_6	Y_6	Z_6
7	X_7	Y_7	Z_7
8	X_8	Y_8	Z_8
9	X_9	Y_9	Z_9
10	X_{10}	Y_{10}	Z_{10}

Координаты X, Y точек получают при закладке деформационных марок (реперов). Точность их планового положения и длины звеньев могут быть определены приблизительно (сантиметровая точность), их точность несущественно влияет на точность определения отметок.

Ниже будет показана пример реализации методики наблюдений.

Как указано в (2.2.2), точность определения координат точек зависит от точности измерительных приборов, а также количества станций. Например, точность будет различаться при съемке с 1, 2 или 5 станций.

Прежде всего, необходимо определение точности в соответствии с конфигурацией сети. В таблице 2.16 представлена требуемая точность для уравненной сети. После этого определяется точность используемого съемочного оборудования.

Для нивелиров в подразделе 3.2.3 были проведены расчеты по использованию высокоточных нивелиров Ni-004 или H-05T. Для этих нивелиров могут соответствовать уровню точности ячеек уровня I, II уровня.

Электронные тахеометры также решают ряд проблем, так как преимущества их в том, что измерения можно проводить в особых условиях. Для проведения наблюдений нам необходимо определить точность сети в соответствии с конфигурацией и точностью оборудования, которое у нас есть. Затем, основываясь на результатах измерений для каждой конкретной схемы измерения, мы разработаем наилучшее решение.

В разделе 3.2.4 мы показываем точность, которую можно получить для каждой конкретной схемы измерения и для конкретного электронного тахеометра с определенной точностью.

С помощью таблицы результатов 3.11, 3.13 и рисунков 3.9 и 3.10 мы видим, что при использовании электронных тахеометров с точностью 3 секунды и количеством станций 4 и более станций точность результатов будет соответствовать точности соответствующего III класса нивелирования.

Поэтому чтобы точно определить количество станций и точность электронных тахеометров, нам нужно выполнить конкретные полевые измерения. Далее показаны несколько схем расположения станций при измерении количества различных станций для электронных тахеометров:

- В случае 2 станций:

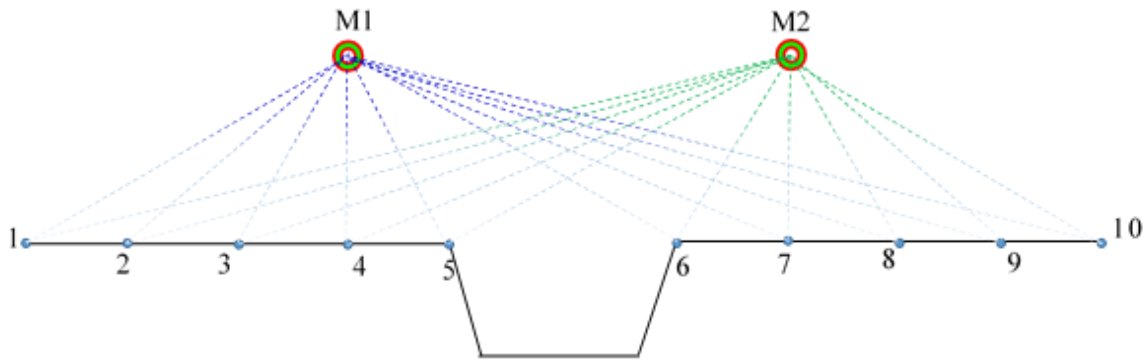


Рисунок 3.3 – Схема наблюдений с использованием 2 станции (точек установки электронного тахеометра)

В общем, наблюдательные станциипроектируютсяпо принципу, согласно которому с нее должна быть видимость максимального количества измеряемых точек.

Таблица 3.2 – Шаблонпредставления измерений (применение 2 станции)

Репер/ станции	M1			M2		
	X^1_i	Y^1_i	Z^1_i	X^2_i	Y^2_i	Z^2_i
1	X^1_1	Y^1_1	Z^1_1	X^2_1	Y^2_1	Z^2_1
2	X^1_2	Y^1_2	Z^1_2	X^2_2	Y^2_2	Z^2_2
3	X^1_3	Y^1_3	Z^1_3	X^2_3	Y^2_3	Z^2_3
4	X^1_4	Y^1_4	Z^1_4	X^2_4	Y^2_4	Z^2_4
5	X^1_5	Y^1_5	Z^1_5	X^2_5	Y^2_5	Z^2_5
6	X^1_6	Y^1_6	Z^1_6	X^2_6	Y^2_6	Z^2_6
7	X^1_7	Y^1_7	Z^1_7	X^2_7	Y^2_7	Z^2_7
8	X^1_8	Y^1_8	Z^1_8	X^2_8	Y^2_8	Z^2_8
9	X^1_9	Y^1_9	Z^1_9	X^2_9	Y^2_9	Z^2_9
10	X^1_{10}	Y^1_{10}	Z^1_{10}	X^2_{10}	Y^2_{10}	Z^2_{10}

Ниже представлена схема расположения 3, 4 и 5 станций и таблиц данных для вышеуказанных случаев.

- В случае 3-х станций:

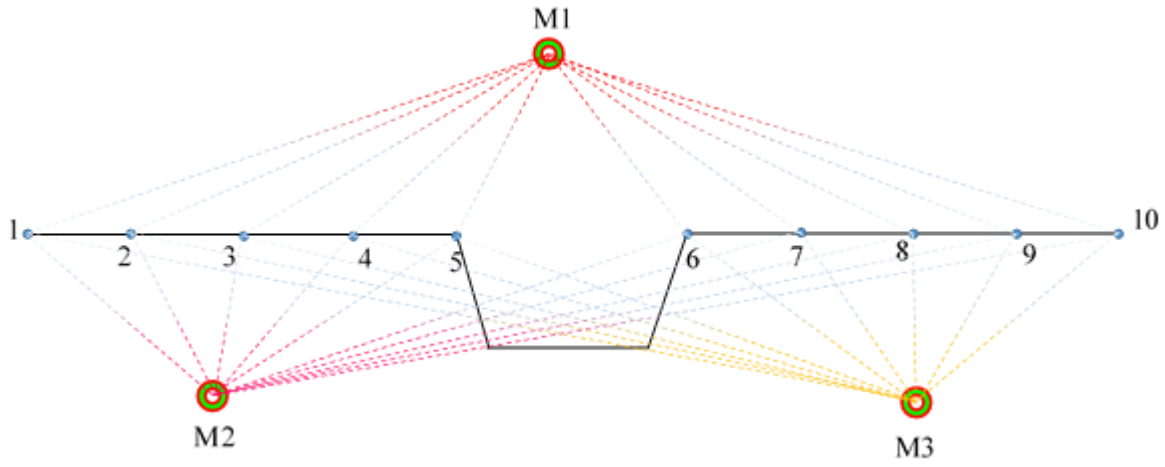


Рисунок 3.4 – Схема наблюденийдля случая 3 станции

Таблица 3.3 – Шаблон представления измерений (применение 3 станции)

Репер/ станции	M1			M2			M3		
	X^1_i	Y^1_i	Z^1_i	X^2_i	Y^2_i	Z^2_i	X^3_i	Y^3_i	Z^3_i
1	X^1_1	Y^1_1	Z^1_1	X^2_1	Y^2_1	Z^2_1	X^3_1	Y^3_1	Z^3_1
2	X^1_2	Y^1_2	Z^1_2	X^2_2	Y^2_2	Z^2_2	X^3_2	Y^3_2	Z^3_2
3	X^1_3	Y^1_3	Z^1_3	X^2_3	Y^2_3	Z^2_3	X^3_3	Y^3_3	Z^3_3
4	X^1_4	Y^1_4	Z^1_4	X^2_4	Y^2_4	Z^2_4	X^3_4	Y^3_4	Z^3_4
5	X^1_5	Y^1_5	Z^1_5	X^2_5	Y^2_5	Z^2_5	X^3_5	Y^3_5	Z^3_5
6	X^1_6	Y^1_6	Z^1_6	X^2_6	Y^2_6	Z^2_6	X^3_6	Y^3_6	Z^3_6
7	X^1_7	Y^1_7	Z^1_7	X^2_7	Y^2_7	Z^2_7	X^3_7	Y^3_7	Z^3_7
8	X^1_8	Y^1_8	Z^1_8	X^2_8	Y^2_8	Z^2_8	X^3_8	Y^3_8	Z^3_8
9	X^1_9	Y^1_9	Z^1_9	X^2_9	Y^2_9	Z^2_9	X^3_9	Y^3_9	Z^3_9
10	X^1_{10}	Y^1_{10}	Z^1_{10}	X^2_{10}	Y^2_{10}	Z^2_{10}	X^3_{10}	Y^3_{10}	Z^3_{10}

- В случае 4-х станций:

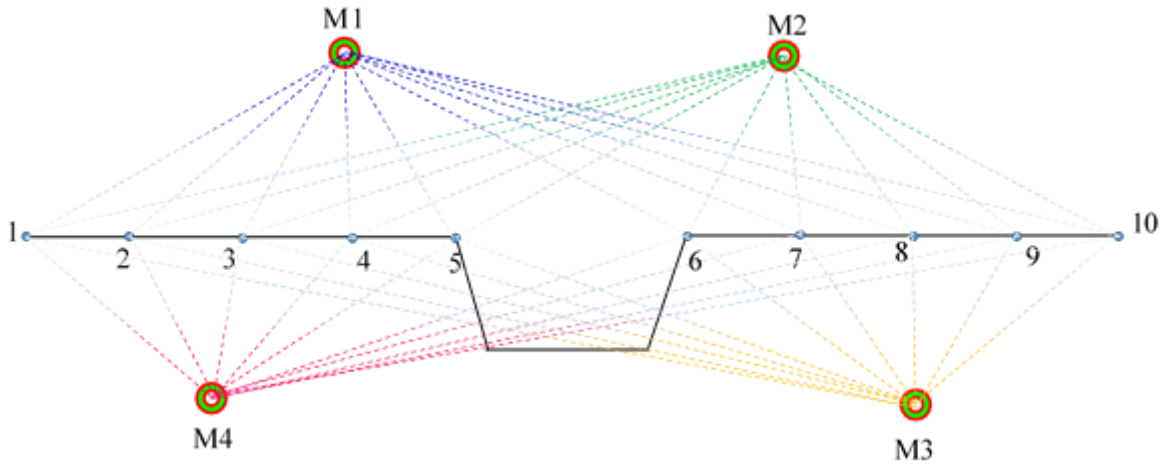


Рисунок 3.5 – Схема наблюдений для случая 4 станции

Таблица 3.4 – Шаблон представления измерений (применение 4 станции)

Репер/ станции	M1			M2			M3			M4		
	X^1_i	Y^1_i	Z^1_i	X^2_i	Y^2_i	Z^2_i	X^3_i	Y^3_i	Z^3_i	X^4_i	Y^4_i	Z^4_i
1	X^1_1	Y^1_1	Z^1_1	X^2_1	Y^2_1	Z^2_1	X^3_1	Y^3_1	Z^3_1	X^4_1	Y^4_1	Z^4_1
2	X^1_2	Y^1_2	Z^1_2	X^2_2	Y^2_2	Z^2_2	X^3_2	Y^3_2	Z^3_2	X^4_2	Y^4_2	Z^4_2
3	X^1_3	Y^1_3	Z^1_3	X^2_3	Y^2_3	Z^2_3	X^3_3	Y^3_3	Z^3_3	X^4_3	Y^4_3	Z^4_3
4	X^1_4	Y^1_4	Z^1_4	X^2_4	Y^2_4	Z^2_4	X^3_4	Y^3_4	Z^3_4	X^4_4	Y^4_4	Z^4_4
5	X^1_5	Y^1_5	Z^1_5	X^2_5	Y^2_5	Z^2_5	X^3_5	Y^3_5	Z^3_5	X^4_5	Y^4_5	Z^4_5
6	X^1_6	Y^1_6	Z^1_6	X^2_6	Y^2_6	Z^2_6	X^3_6	Y^3_6	Z^3_6	X^4_6	Y^4_6	Z^4_6
7	X^1_7	Y^1_7	Z^1_7	X^2_7	Y^2_7	Z^2_7	X^3_7	Y^3_7	Z^3_7	X^4_7	Y^4_7	Z^4_7
8	X^1_8	Y^1_8	Z^1_8	X^2_8	Y^2_8	Z^2_8	X^3_8	Y^3_8	Z^3_8	X^4_8	Y^4_8	Z^4_8
9	X^1_9	Y^1_9	Z^1_9	X^2_9	Y^2_9	Z^2_9	X^3_9	Y^3_9	Z^3_9	X^4_9	Y^4_9	Z^4_9
10	X^1_{10}	Y^1_{10}	Z^1_{10}	X^2_{10}	Y^2_{10}	Z^2_{10}	X^3_{10}	Y^3_{10}	Z^3_{10}	X^4_{10}	Y^4_{10}	Z^4_{10}

В случае конфигурации 5 станций, как показано на (3.2), общий принцип заключается в том, что со станций должно быть снято максимальное количество измеряемых точек, а расположение станций должно быть относительно равномерно.

Ниже будет показаны численные значения результатов измерений по всем схемам набдюжений.

3.1.2 Плоскостной случай.

Плоскостной случай подобен линейному. Также как было показано выше определяются отметки точек М геометрическим нивелированием. Электронным тахеометром с точек М1, ... М4 определяются отметки точек деформационной сети. На рис. 3.6. показана схема.

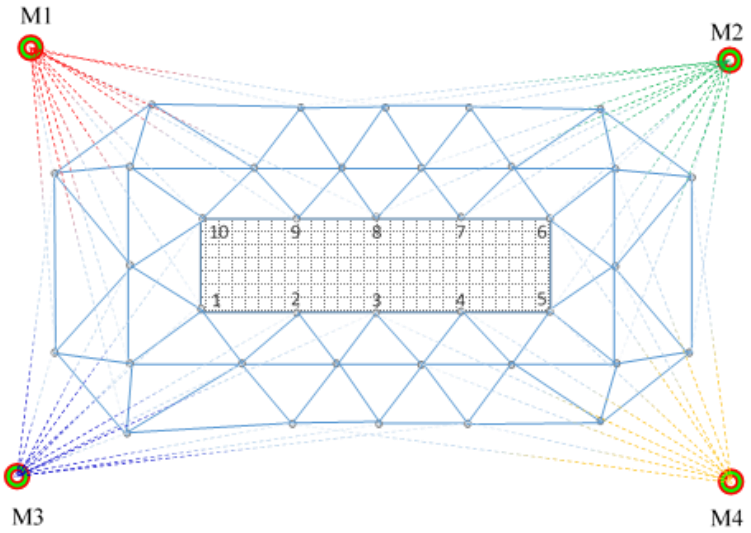


Рисунок 3.6 – Схема наблюдательной станции для плоскостного случая

В плоскостном случае, как и в линейном, точки М (опорные) служат и для повышения точности измерений и для обеспечения собственно измерений (деформационные марки не видны с одной точки стояния).

Ниже будет показано на конкретном примере реализация плоскостного случая.

Схема расположения станции в случае использования электронного тахеометра.

В плоскостном случае расположение станций электронного тахеометра также подчиняется тем же правилам, что и для линейного случая.

- Случай измерений с 4-х станций.

В этом случае для области с плоским видом без препятствий расположение измерительных станций представляется очень простым. Нам нужно только определить две точки, чтобы мы могли покрыть все точки, которые нужно измерить по всей площади.

Однако в этой области мы предоставляем карту, в которой с одной точки нельзя увидеть все снимаемые точки.

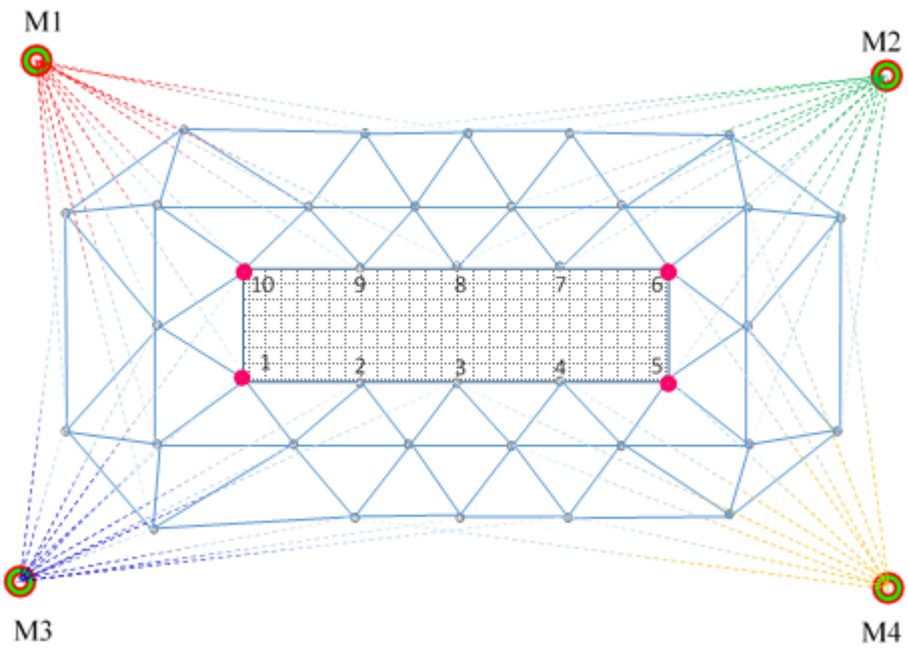


Рисунок 3.7 – Схема наблюдательной станции для плоскостного случая (4 станций наблюдений)

Принципиальная схема (рисунок 3.7) показывает наблюдение с помощью электронных тахеометров в случае двух станций, в которых с одной станции нельзя увидеть все снимаемые точки. На рисунке 3.7 видим, что для станций M1 и M2 мы можем наблюдать только точки 6, 7, ... 10,а точки 2, 3, 4 не видны. Для этого выполняют наблюдения со станции M3, M4.

Вопрос заключается в том, что если точки M являются свободными станциями, то следует иметь связующие точки. На рисунке 3.2 мы можем выбрать точки 5, 6 или 1, 10.

Таблица 3.5 – Шаблон представления измерений (плоскостной случай, применение 4 станции)

Репер/ станции	M1			M2			M3			M4		
	X^1_i	Y^1_i	Z^1_i	X^2_i	Y^2_i	Z^2_i	X^3_i	Y^3_i	Z^3_i	X^4_i	Y^4_i	Z^4_i
1	X^1_1	Y^1_1	$\mathbf{Z^1_1}$	X^2_1	Y^2_1	Z^2_1	X^3_1	Y^3_1	$\mathbf{Z^3_1}$	X^4_1	Y^4_1	Z^4_1
2	X^1_2	Y^1_2	Z^1_2	X^2_2	Y^2_2	Z^2_2	X^3_2	Y^3_2	Z^3_2	X^4_2	Y^4_2	Z^4_2
3	X^1_3	Y^1_3	Z^1_3	X^2_3	Y^2_3	Z^2_3	X^3_3	Y^3_3	Z^3_3	X^4_3	Y^4_3	Z^4_3
4	X^1_4	Y^1_4	Z^1_4	X^2_4	Y^2_4	Z^2_4	X^3_4	Y^3_4	Z^3_4	X^4_4	Y^4_4	Z^4_4
5	X^1_5	Y^1_5	Z^1_5	X^2_5	Y^2_5	$\mathbf{Z^2_5}$	X^3_5	Y^3_5	Z^3_5	X^4_5	Y^4_5	$\mathbf{Z^4_5}$
6	X^1_6	Y^1_6	Z^1_6	X^2_6	Y^2_6	$\mathbf{Z^2_6}$	X^3_6	Y^3_6	Z^3_6	X^4_6	Y^4_6	$\mathbf{Z^4_6}$
7	X^1_7	Y^1_7	Z^1_7	X^2_7	Y^2_7	Z^2_7	X^3_7	Y^3_7	Z^3_7	X^4_7	Y^4_7	Z^4_7
8	X^1_8	Y^1_8	Z^1_8	X^2_8	Y^2_8	Z^2_8	X^3_8	Y^3_8	Z^3_8	X^4_8	Y^4_8	Z^4_8
9	X^1_9	Y^1_9	Z^1_9	X^2_9	Y^2_9	Z^2_9	X^3_9	Y^3_9	Z^3_9	X^4_9	Y^4_9	Z^4_9
10	X^1_{10}	Y^1_{10}	$\mathbf{Z^1_{10}}$	X^2_{10}	Y^2_{10}	Z^2_{10}	X^3_{10}	Y^3_{10}	$\mathbf{Z^3_{10}}$	X^4_{10}	Y^4_{10}	Z^4_{10}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	X^1_n	Y^1_n	Z^1_n	X^2_n	Y^2_n	Z^2_n	X^3_n	Y^3_n	Z^3_n	X^4_n	Y^4_n	Z^4_n

- В случае 3-х станций.

В случае установки 3 измерительных станций мы также делаем то же самое для 2 измерительных станций. Но здесь нам просто нужно связать две пары станций, как показано на рисунке 3.8, которая представляет собой пару станций M1, M2, M3 и M4, M5, M6. Общий принцип этого измерения заключается в том, что мы должны получить общую точку между двумя пару станций. Конкретно на рисунке (3.8) это 2 точки G1 и G2. Затем можно связать пары станций с системой для каждого цикла измерения.

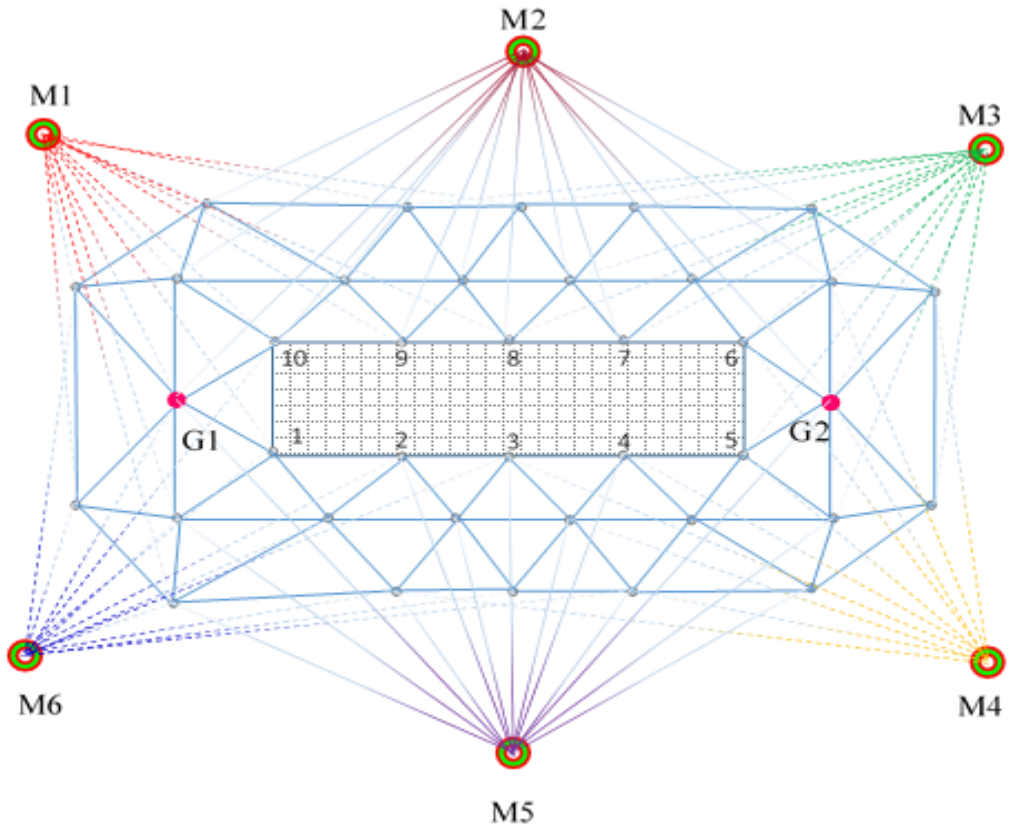


Рисунок 3.8 – Схема наблюдательной станции для плоскостного случая (6 станций наблюдений)

Данные в случае 6 станций такие же, как в случае 4 станций.

Ниже приведены результаты исследований для ориентировочного определения количества станций для достижения требуемой точности.

3.2 Исследование возможности применения современных приборов ЭН (электронных нивелиров), ЭТ (тахеометров) и ГНСС технологии.

3.2.1 Описание практического эксперимента

Одной из основополагающих частей исследования является оценка точности измерений. Она производится по результатам измерений и включает сведения о смещениях реперов и деформационных марок.

Для проведения анализа точности измерений были разработаны экспериментальные исследования, включающие два участка мониторинга (№1 и №2) с различными объектами и три вида геодезических приборов (спутниковые приемники, нивелиры, электронные тахеометры).

Первый участок мониторинга изображен на рис. 3.9.

Рисунок 3.9 – Участок №1 и схема мониторинга

Объектом наблюдений является автодорога на ул. Нго Минь Зуонг рядом с парком Хоа Бинь и проспектом Фам Ван Донг; район Бак Ты Льем, Ханой. В начале участка отмечены точки стояния (опорные пункты) A и D, в конце – B и C. Вдоль участка размещены деформационные реперы 1, 2, 3, 4, 5.

Вид наблюдений на участке №1:

- спутниковые измерения на опорных реперах A, B, C, D;
- нивелирование III класса на всех реперах участка;
- электронная тахеометрия на всех реперах участка.

Второй участок мониторинга изображен на рис. 3.10. Объектом мониторинга является здание общежития Ханойского университета природных ресурсов и окружающей среды, расположенное по адресу: Ханой, район Бак Ты Льем, коммуна Фу Зьен, улица Фу Зьен – Уорд, дом 41A.

Рисунок 3.10 – Участок №2 и схема мониторинга

Вокруг здания на определенном расстоянии расположены реперы GPS-01, GPS-02, GPS-03 и GPS-04, а также точки стояния инструмента M1, M2, M3 и M4. На самом здании размещены деформационные марки Q1, Q2… Q18.

Вид наблюдений на участке №2:

– спутниковые определения на реперах GPS-01, GPS-02, GPS-03, GPS-04;
– нивелирование III класса на всех реперах и марках участка;
– электронная тахеометрия на всех реперах и марках участка.

Для определения планового положения опорных точек проведены спутниковые измерения с использованием приемников CHC X20 [83]. Это 12-канальные одночастотные приемники; точность определения координат в плане 5 мм + 0,5 мм/км.

Для проведения нивелирования были применены: оптический нивелир Ni-004 [88].

Средняя погрешность измерения оптического нивелира Ni-004 на 1 км двойного хода составляет 0,4 мм (с плоскопараллельной пластиной и инварной

рейкой) или 1,0 мм (с обычной рейкой); увеличение зрительной трубы нивелира – 43^{X}; наименьшее расстояние визирования – 3,9 м.

Для основной части измерений были использованы электронные тахеометры Topcon GTS-225 и Sokkia SET3x.

Точность измерения углов в Topcon GTS-225 составляет 5"; точность измерения расстояний 2 мм + 2 мм/км; минимальное расстояние съемки 1,3 м, максимальное – 3 км (с призмой) [79].

Точность измерения углов в Sokkia SET3x составляет 3"; точность измерения расстояний 2 мм + 2 мм/км; минимальное расстояние съемки 0,3 м, максимальное – 5 км (с призмой) [89].

3.2.2 Спутниковые наблюдения.

В ходе мониторинга были проведены наблюдения на двух исследуемых участках: №1 и №2. Процесс съемок на участке №1 запечатлен на рис. 3.9, на участке №2 – на рис. 3.10.

Рисунок 3.11 – Вид приемка спутниковых наблюдений на участке №1

На участке №1 наблюдения проводились для опорных реперов A, B, C, D. В таблице 3.6 представлены результаты спутниковых измерений на данных пунктах в системе координат WGS84.

На участке №2 наблюдения проводились для реперов GPS-01, GPS-02, GPS-03, GPS-04. В таблице 3.7 представлены результаты спутниковых измерений на данных пунктах в системе координат WGS84.

В таблицах приведены, рассчитанные в сертифицированных программных продуктах, поставляемых производителями (программа Compass Post process), приращения координат между реперами (DX, DY, DZ), расстояния между пунктами (SD) и средние квадратические ошибки (СКО) определения взаимного положения точек (RMS).

Рисунок 3.12 – Вид спутниковых наблюдений на участке №2

Таблица 3.6 – Результаты спутниковых определений для участка №1

Ord	From point	To point	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	SD	RMS
1	B	C	0.4907	-12.3192	29.7973	32.2472	0.0137
2	B	D	-282.6036	-92.3242	29.9018	298.8021	0.0129
3	C	D	-283.0941	-80.0017	0.1054	294.1812	0.0130
4	C	A	-289.1987	-69.3263	-29.7969	298.8810	0.0120
5	D	A	-6.1046	10.6760	-29.9021	32.3323	0.0131

Таблица 3.7 – Результаты спутниковых определений для участка №2

Ord	From point	To point	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	SD	RMS
1	GPS-01	GPS-02	41.2028	-4.7025	40.9487	58.2802	0.0075
2	GPS-01	GPS-04	-39.0850	-44.6411	83.6944	102.5925	0.0084
3	GPS-01	GPS-03	-57.8329	-34.5613	46.0229	81.5919	0.0111
4	GPS-02	GPS-04	-80.2904	-39.9335	42.7496	99.3416	0.0085
5	GPS-02	GPS-03	-99.0419	-29.8565	5.0732	103.5686	0.0107
6	GPS-04	GPS-03	-18.7487	10.0881	-37.6782	43.2774	0.0228

Как видно из таблицы для схемы №1 максимальная средняя квадратическая погрешность (СКП) взаимного положения оказалась на линии B - C; а минимальная – для стороны C - A.

Для схемы №2 максимальная СКП взаимного положения точек GPS-04 и GPS-03; минимальная – для точек GPS-01 и GPS-02.

3.2.3 Проведение нивелирования по методике III класса.

На рисунках ниже (фото) отображен процесс (панорама проведения нивелирования) нивелирования на участке №1 с помощью оптического нивелира Ni-004 (рисунок 3.13).

Рисунок 3.13 – Вид места стоянки нивелирования III класса
с использованием нивелира Ni-004

Результаты нивелирования на участке №1 приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты нивелирования III класса на участке №1 с помощью оптического нивелира Ni-004

Нивелирование Ni-004				
Начальный пункт	Конечный пункт	Превышение		Расстояние
		Прямом	Обратном	
A	QT1	-0,003553	0,003500	30,050
QT1	QT2	-0,001933	0,001960	35,100
QT2	QT3	0,007960	-0,007113	29,950
QT3	QT4	-0,010465	0,010703	29,850
QT4	QT5	-0,001095	0,001353	29,850
QT5	QT6	0,001700	-0,001800	30,000
QT6	QT7	-0,012290	0,013060	29,850
QT7	QT8	0,025513	-0,025610	32,300
QT8	QT9	0,022620	-0,022913	30,000
QT9	B	0,006975	-0,006790	30,000
B	C	-0,495410	0,495688	29,700
C	D	0,045745	-0,046040	201,400
D	A	0,417085	-0,418378	32,200

Как видно, точки нивелирования QT1, QT2… QT9 размещены равномерно. Ход был пройден в прямом и обратном направлениях (схема III класса). По результатам измерений были определены превышения между точками, а затем рассчитаны отметки реперов.

Результаты нивелирования на участке №2 приведены в таблице 3.9.

После получения результатов проводится уравнивание нивелирных сетей в соответствии с алгоритмом, описанным в 1.3.2.1. Уравнивание включает составление схемы уравнивания, задание весов нивелирных линий, оценку точности нивелирования по результатам уравнивания. Подробно здесь не рассматривается, но приводятся вычисленные в программных комплексах (параметрический способ уравнивания) уравненные величины.

Результаты уравненных измерений (превышения, отметки всех точек) представляют собой «цикл 0». По следующим сериям измерений (цикл 1, 2, и

т.д.) проводится оценка вертикальных смещений по разработанной методике (см. главу 2), а также устойчивые пункты всей сети.

Таблица 3.9 – Результаты нивелирования III класса на участке №2 с помощью оптического нивелира Ni-004

Нивелирование Ni-004				
Начальный пункт	Конечный пункт	Превышение		Расстояние (М)
		Прямом	Обратном	
GPS-01	GPS-03	0,141090	-0,141150	116.7872
GPS-03	GPS-04	-0,274638	0,273738	76.0482
GPS-04	GPS-02	0,171415	-0,171938	137.1342
GPS-02	GPS-01	-0,037590	0,037440	67.2159

Участок №1. Сумма сторон хода: 570,250м.Невязка: 2,6 мм. Предельная погрешность: 7,5 мм. Итоговые превышения представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Уравненные превышения для участка №1

Начальный пункт	Конечный пункт	Уравненные превышения, м
A	QT1	-0,0037
QT1	QT2	-0,0021
QT2	QT3	0,0074
QT3	QT4	-0,0107
QT4	QT5	-0,0014
QT5	QT6	0,0016
QT6	QT7	-0,0128
QT7	QT8	0,0254
QT8	QT9	0,0226
QT9	B	0,0067
B	C	-0,4957
C	D	0,0449
D	A	0,4176

Участок №2. Сумма сторон хода: 397,186 м.Невязка: 1,1 мм. Предельная погрешность: 6,3 мм. Итоговые превышения представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11 – Уравненные превышения для участка №2

Начальный пункт	Конечный пункт	Уравненные превышения, м
GPS-01	GPS-03	0,1408
GPS-03	GPS-04	-0,2744
GPS-04	GPS-02	0,1713
GPS-02	GPS-01	-0,0377

Оценка точности результатов нивелирования выполняется посредством сравнения с допустимыми значениями. Невязка нивелирования не должна превышать 10 мм √L, где L – длина хода в км. Выше описано, что полученные значения невязок на участках №1 и №2 не превышают предельных значений.

3.2.4 Электронная тахеометрия.

Главным этапом настоящего эксперимента является измерения с помощью электронного тахеометра, методика которых подробно описана в главе 2.2.1.

Наблюдения с помощью электронных тахеометров с угловой точностью 3" и 5" велись на участках №1 и №2. На рисунках ниже изображены геодезические приборы, с помощью которых выполнялись наблюдения: Topcon GTS-225 (рис. 3.14, а) и Sokkia SET3x (рис. 3.14, б, в).

Для участка №1 измерения выполнены обоими тахеометрами, для участка №2 – лишь более точным прибором Sokkia SET3x.

Проведенные наблюдения на участках №1 и №2 дали возможность сравнения результатов измерений электронными тахеометрами (тригонометрического нивелирования) и геометрического нивелирования.

(а)

(б)

(в)

Рисунок 3.14 – Используемые в эксперименте электронные тахеометры
(а) – Topcon GTS-225, (б), (в) – Sokkia SET3x

В первую очередь был проведен сравнительный анализ точности для двух видов тахеометров на участке №1. Согласно схеме на рис. 3.9, каждый из электронных тахеометров последовательно устанавливался на точки 1, 2, … 5, с каждой из которых происходилось наведение на точки QT1, QT2, … QT9 и определение превышений. В таблице 3.12 приведены результаты измерений на участке №1 с помощью Topcon GTS-225, в таблице 3.13 – с помощью Sokkia SET3x.

В главе 2.2.2 описан процесс оценки точности результатов тахеометрических измерений, в соответствии с которым по итогам каждой из серий наблюдений можно рассчитывать показатели погрешностей. В табл. 3.14, 3.15) показаны обработанные результаты текущих измерений.

Таблица 3.12 – Координаты точек, полученные по результатам тахеометрических измерений на участке №1 с помощью Topcon GTS-225

N	X(m)	Y(m)	H(m)	Репер	Информация
	2329978,1415	582023,594	10,0000	A	Исходный репер GPS
	2329976,653	581723,572	10,0331	B	Исходный репер GPS
1	2329957,806	581963,267	9,504	M1	Станция (результаты A и B)
2	2329977,965	581993,603	9,995	QT1-M1	Деформационный репер
3	2329977,808	581963,614	9,990	QT2-M1	Деформационный репер
4	2329977,619	581933,587	9,999	QT3-M1	Деформационный репер
5	2329977,512	581903,605	9,987	QT4-M1	Деформационный репер
6	2329977,346	581873,590	9,988	QT5-M1	Деформационный репер
7	2329977,166	581843,563	9,985	QT6-M1	Деформационный репер
8	2329976,991	581813,575	9,978	QT7-M1	Деформационный репер
9	2329976,880	581783,573	9,997	QT8-M1	Деформационный репер
10	2329976,788	581753,573	10,022	QT9-M1	Деформационный репер
11	2329957,021	581813,932	9,548	M2	Станция (результаты A и B)
12	2329977,981	581993,605	10,054	QT1-M2	Деформационный репер
13	2329977,832	581963,619	10,046	QT2-M2	Деформационный репер
14	2329977,649	581933,591	10,057	QT3-M2	Деформационный репер
15	2329977,535	581903,603	10,043	QT4-M2	Деформационный репер
16	2329977,372	581873,588	10,042	QT5-M2	Деформационный репер
17	2329977,188	581843,560	10,039	QT6-M2	Деформационный репер
18	2329977,010	581813,565	10,027	QT7-M2	Деформационный репер
19	2329976,881	581783,566	10,054	QT8-M2	Деформационный репер
20	2329976,789	581753,569	10,074	QT9-M2	Деформационный репер
21	2330001,877	581813,136	9,354	M3	Станция (результаты A и B)
22	2329977,982	581993,612	10,039	QT1-M3	Деформационный репер
23				QT2-M3	Нет видимости
23	2329977,638	581933,598	10,042	QT3-M3	Деформационный репер
24	2329977,523	581903,606	10,035	QT4-M3	Деформационный репер
25	2329977,363	581873,597	10,031	QT5-M3	Деформационный репер
26	2329977,182	581843,574	10,029	QT6-M3	Деформационный репер

Продожение таблицы 3.12

27	2329977,002	581813,589	10,016	QT7-M3	Деформационный репер
28	2329976,875	581783,581	10,042	QT8-M3	Деформационный репер
29	2329976,786	581753,579	10,064	QT9-M3	Деформационный репер
30	2330013,221	581873,408	9,701	M5	Станция (результаты А и В)
31	2329977,963	581993,610	10,009	QT1-M5	Деформационный репер
32	2329977,814	581963,624	10,006	QT2-M5	Деформационный репер
33	2329977,632	581933,600	10,012	QT3-M5	Деформационный репер
34	2329977,522	581903,615	10,001	QT4-M5	Деформационный репер
35	2329977,354	581873,601	9,999	QT5-M5	Деформационный репер
36	2329977,168	581843,569	9,998	QT6-M5	Деформационный репер
37	2329976,991	581813,583	9,987	QT7-M5	Деформационный репер
38	2329976,872	581783,578	10,011	QT8-M5	Деформационный репер
39	2329976,777	581753,576	10,030	QT9-M5	Деформационный репер
40	2330002,201	581964,378	9,325	M4	Станция (результаты А и В)
41	2329977,966	581993,610	10,004	QT1-M4	Деформационный репер
42	2329977,814	581963,633	10,001	QT2-M4	Деформационный репер
43	2329977,629	581933,600	10,009	QT3-M4	Деформационный репер
44	2329977,512	581903,611	9,997	QT4-M4	Деформационный репер
45	2329977,344	581873,596	9,998	QT5-M4	Деформационный репер
46	2329977,157	581843,570	9,995	QT6-M4	Деформационный репер
47	2329976,992	581813,580	9,982	QT7-M4	Деформационный репер
48	2329976,864	581783,578	10,006	QT8-M4	Деформационный репер
49				QT1-M3	Нет видимости

Таблица 3.13 – Координаты точек, полученные по результатам тахеометрических измерений на участке №1 с помощью Sokkia SET3x

N	X(m)	Y(m)	H(m)	Репер	Информация
1	2329978,141	582023,594	10,000	A	Исходный репер GPS
2	2329976,653	581723,571	10,033	B	Исходный репер GPS
I	2330001,877	581813,127	9,324	M3	Станция (результаты А и В)
1	2329977,962	581993,591	9,994	QT1	Деформационный репер
				QT2	Нет видимости
2	2329977,632	581933,573	10,004	QT3	Деформационный репер
3	2329977,525	581903,591	9,988	QT4	Деформационный репер
4	2329977,363	581873,575	9,985	QT5	Деформационный репер
5	2329977,182	581843,547	9,982	QT6	Деформационный репер
6	2329977,011	581813,564	9,977	QT7	Деформационный репер
7	2329976,891	581783,571	9,997	QT8	Деформационный репер
8	2329976,802	581753,572	10,024	QT9	Деформационный репер
II	2330013,223	581873,401	9,709	M5	Станция (результаты А и В)
1	2329977,966	581993,600	9,992	QT1	Деформационный репер
2	2329977,815	581963,611	9,999	QT2	Деформационный репер
3	2329977,636	581933,582	10,003	QT3	Деформационный репер
4	2329977,525	581903,597	9,990	QT4	Деформационный репер
5	2329977,358	581873,586	9,986	QT5	Деформационный репер
6	2329977,179	581843,560	9,984	QT6	Деформационный репер
7	2329977,001	581813,574	9,978	QT7	Деформационный репер
8	2329976,885	581783,574	9,999	QT8	Деформационный репер
9	2329976,797	581753,573	10,032	QT9	Деформационный репер
III	2330002,191	581964,374	9,331	M4	Станция (результаты А и В)
1	2329977,960	581993,601	9,992	QT1	Деформационный репер
2	2329977,807	581963,621	9,994	QT2	Деформационный репер

Продожение таблицы 3.13

3	2329977,624	581933,597	10,005	QT3	Деформационный репер
4	2329977,512	581903,606	9,989	QT4	Деформационный репер
5	2329977,350	581873,593	9,986	QT5	Деформационный репер
6	2329977,170	581843,564	9,983	QT6	Деформационный репер
7	2329976,997	581813,578	9,978	QT7	Деформационный репер
8	2329976,885	581783,574	9,999	QT8	Деформационный репер
				QT9	Нет видимости
IV	2329957,805	581963,260	9,526	M1	Станция (результаты А и В)
1	2329977,953	581993,597	9,996	QT1	Деформационный репер
2	2329977,805	581963,615	9,995	QT2	Деформационный репер
3	2329977,624	581933,587	10,000	QT3	Деформационный репер
4	2329977,513	581903,602	9,992	QT4	Деформационный репер
5	2329977,349	581873,589	9,987	QT5	Деформационный репер
6	2329977,171	581843,560	9,987	QT6	Деформационный репер
7	2329977,002	581813,572	9,9753	QT7	Деформационный репер
8	2329976,884	581783,566	10,002	QT8	Деформационный репер
9	2329976,792	581753,565	10,021	QT9	Деформационный репер
V	2329957,017	581813,920	9,507	M2	Станция (результаты А и В)
1	2329977,960	581993,595	9,988	QT1	Деформационный репер
2	2329977,803	581963,607	9,999	QT2	Деформационный репер
3	2329977,623	581933,575	10,009	QT3	Деформационный репер
4	2329977,519	581903,594	9,984	QT4	Деформационный репер
5	2329977,355	581873,571	9,980	QT5	Деформационный репер
6	2329977,172	581843,552	9,979	QT6	Деформационный репер
7	2329976,997	581813,571	9,983	QT7	Деформационный репер
8	2329976,885	581783,568	9,994	QT8	Деформационный репер
9	2329976,795	581753,562	10,024	QT9	Деформационный репер

Таблица 3.14 – Результаты оценки точности измерений тахеометром Topcon GTS-225 на участке №1

№	Среднее значение	$[v^2]$	m	M	m_M	$m_{пред}$	m_h
QT1	10,0202	0,0025	0,0251	0,0112	0,0039	0,0753	0,0350
QT2	10,0107	0,0018	0,0244	0,0122	0,0049	0,0733	0,0346
QT3	10,0238	0,0024	0,0245	0,0109	0,0039	0,0736	0,0349
QT4	10,0126	0,0024	0,0248	0,0111	0,0039	0,0744	0,0341
QT5	10,0116	0,0022	0,0235	0,0105	0,0037	0,0704	0,0331
QT6	10,0092	0,0022	0,0234	0,0105	0,0037	0,0702	0,0321
QT7	9,9980	0,0019	0,0220	0,0098	0,0035	0,0661	0,0330
QT8	10,0220	0,0024	0,0246	0,0110	0,0039	0,0739	0,0353
QT9	10,0475	0,0019	0,0254	0,0127	0,0052	0,0761	

Таблица 3.15 – Результаты оценки точности измерений тахеометром Sokkia SET3x на участке №1

№	Среднее значение	$[v^2]$	m	M	m_M	$m_{пред}$	m_h
QT1	9,9924	3,52E-05	0,0029	0,0013	0,00047	0,00889	0,00396
QT2	9,9968	2,08E-05	0,0026	0,0013	0,00054	0,00789	0,00407
QT3	10,0043	3,88E-05	0,0031	0,0014	0,00049	0,00934	0,00430
QT4	9,9886	3,52E-05	0,0029	0,0013	0,00047	0,00889	0,00414

Продожение таблицы 3.15

QT5	9,9850	3,35E-05	0,0029	0,0013	0,00046	0,00868	0,00399
QT6	9,9830	3,02E-05	0,0027	0,0012	0,00043	0,00824	0,00394
QT7	9,9784	3,19E-05	0,0028	0,0013	0,00045	0,00847	0,00414
QT8	9,9984	3,69E-05	0,0030	0,0014	0,00048	0,00911	0,00560
QT9	10,0253	6,67E-05	0,0047	0,0024	0,00096	0,01415	

Анализируя таблицы, можно увидеть, что при съемке Topcon GTS-225 величина максимальной погрешности определения координаты репера равна 25,4 мм, превышения – 35,5 мм, а при съемке Sokkia SET3x – 4,7 мм (обе погрешности – для репера QT9), превышения – 5,6 мм; величина минимальной погрешности превышения – 32,1 мм и 3,9 мм для Topcon GTS-225 и Sokkia SET3x соответственно. Это свидетельствует не столько о преимуществе высокоточных тахеометров, но показывает пример выбора оборудования для обеспечения требуемой точности.

Во второй части экспериментальных исследований наблюдения проводились с помощью Sokkia SET3x на участке №2. Согласно схеме на рис. 3.2, электронный тахеометр устанавливается на точки M1, M2, M3, M4, и с каждой из них выполняется съемка деформационных марок, находящихся в зоне видимости.

Таблица 3.16 – Результаты электронной тахеометрии на участке №2 с помощью Sokkia SET3x

№	X(m)	Y(m)	H(m)	Репер	**Информация**
1	2328101,288	579199,709	10,000	GPS-01	Исходный репер GPS
2	2328144,965	579161,125	10,038	GPS-02	Исходный репер GPS
3	2328150,852	579264,521	10,141	GPS-03	Исходный репер GPS
TM-1	22328118,872	579168,656	9,963	TM-1	Станция между GPS-02 и GPS-01
1	2328133,522	579208,105	24,040	Q8	Деформационный репер
2	2328130,685	579206,966	24,193	Q9	Деформационный репер
3	2328127,824	579206,062	24,187	Q10	Деформационный репер
4	2328125,015	579204,880	24,035	Q11	Деформационный репер
5	2328123,360	579209,000	23,874	Q12	Деформационный репер
6	2328121,607	579212,999	24,034	Q13	Деформационный репер
7	2328120,013	579217,061	24,075	Q14	Деформационный репер
8	2328117,784	579221,313	23,978	Q15	Деформационный репер
9	2328116,235	579225,409	23,965	Q16	Деформационный репер
10	2328114,588	579229,475	23,966	Q17	Деформационный репер
11	2328112,976	579233,533	23,958	Q18	Деформационный репер
TM-2	2328084,527	579240,314	9,959	TM-2	Станция между GPS-02 и GPS-01
1	2328125,043	579204,902	24,040	Q11	Деформационный репер
2	2328123,397	579209,019	23,878	Q12	Деформационный репер
3	2328121,645	579213,024	24,039	Q13	Деформационный репер

Продожение таблицы 3.16

				Q14	Нет видимости
4	2328117,820	579221,340	23,984	Q15	Деформационный репер
5	2328116,272	579225,438	23,970	Q16	Деформационный репер
6	2328114,627	579229,504	23,973	Q17	Деформационный репер
7	2328113,024	579233,562	23,961	Q18	Деформационный репер
8	2328115,985	579234,778	24,134	Q19	Деформационный репер
9	2328118,855	579236,179	24,151	Q20	Деформационный репер
10	2328121,834	579237,381	23,942	Q1	Деформационный репер
ТМ-3	2328177,559	579172,413	10,213	ТМ-3	Станция между GPS-02 и GPS-03
1	2328121,810	579237,388	23,939	Q1	Деформационный репер
2	2328123,503	579233,185	23,932	Q2	Деформационный репер
3	2328125,167	579229,072	23,948	Q3	Деформационный репер
4	2328126,825	579224,985	23,987	Q4	Деформационный репер
5	2328128,524	579220,882	23,988	Q5	Деформационный репер
6	2328130,161	579216,764	23,982	Q6	Деформационный репер
7	2328131,886	579212,690	24,001	Q7	Деформационный репер
8	2328133,545	579208,130	24,038	Q8	Деформационный репер
9	2328130,709	579206,990	24,189	Q9	Деформационный репер
10	2328127,846	579206,090	24,182	Q10	Деформационный репер
11	2328125,028	579204,910	24,030	Q11	Деформационный репер
ТМ-4	2328142,620	579231,881	23,024	ТМ-4	Станция между GPS-02 и GPS-03
1	2328112,997	579233,565	23,963	Q18	Деформационный репер
2	2328115,957	579234,780	24,130	Q19	Деформационный репер
3	2328118,826	579236,180	24,147	Q20	Деформационный репер
4	2328121,806	579237,383	23,946	Q1	Деформационный репер
5	2328123,498	579233,181	23,929	Q2	Деформационный репер
6	2328125,162	579229,068	23,946	Q3	Деформационный репер
7	2328126,817	579224,974	23,983	Q4	Деформационный репер
8	2328128,518	579220,874	23,984	Q5	Деформационный репер
9	2328130,156	579216,754	23,978	Q6	Деформационный репер
10	2328131,882	579212,678	23,997	Q7	Деформационный репер
11	2328133,542	579208,120	24,033	Q8	Деформационный репер

Таблица 3.17 – Результаты оценки точности при съемке Sokkia SET3x на участке №2

№	Среднее значение	$[v^2]$	m	M	m_M	$m_{пред}$	m_h
Q1	23,9423	2,46667E-05	0,0035	0,0020	0,00101	0,01053	0,00410
Q2	23,9305	4,5E-06	0,0021	0,0015	0,0010	0,00636	0,00254
Q3	23,9470	2E-06	0,0014	0,0010	0,00070	0,00424	0,00316
Q4	23,9850	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00399
Q5	23,9860	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00399
Q6	23,9800	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00399
Q7	23,9990	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00458
Q8	24,0370	2,6E-05	0,0036	0,0021	0,00104	0,01082	0,00458
Q9	24,1910	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00452
Q10	24,1845	1,25E-05	0,0035	0,0025	0,00177	0,01061	0,00612
Q11	24,0350	5E-05	0,0050	0,0029	0,00144	0,01500	0,00574
Q12	23,8760	8E-06	0,0028	0,0020	0,00141	0,00848	0,00452
Q13	24,0365	1,25E-05	0,0035	0,0025	0,00177	0,01061	0,00353
Q14	24,0750	0	0	0	0	0	0,00424
Q15	23,9810	1,8E-05	0,0042	0,0030	0,00212	0,01273	0,00552
Q16	23,9675	1,25E-05	0,0035	0,0025	0,00177	0,01061	0,00608
Q17	23,9695	2,45E-05	0,0049	0,0035	0,00247	0,01485	0,00555

Продожение таблицы 3.17

Q18	23,9607	1,26667E-05	0,0025	0,0014	0,000726	0,00755	0,00378
Q19	24,1320	8E-06	0,0028	0,0020	0,001414	0,00848	0,00399
Q20	24,1490	8E-06	0,0028	0,0020	0,001414	0,00848	

Данные таблицы свидетельствуют, что величина максимальной погрешности превышения равна 6,1 мм (для точек Q10-Q11), а величина минимальной погрешности – 2,5 мм (для точек Q2-Q3).

Представленный выше объем данных позволяет провести общий анализ результатов натурный исследований на предмет возможного применения при наблюдениях за вертикальными смещениями электронных тахеометров и и их сравнение результатов с традиционным методом геометрического нивелирования.

3.2.5 Сопоставительный анализ методов наблюдений.

Результаты наблюдений с помощью вышеописанных электронных приборов позволили сделать сравнительный анализ следующих результатов наблюдений:

- Проведено сравнение точности измерений вертикальных смещений деформационных марок в зависимости от количества станций наблюдений.
- Сопоставлены результаты оценки точности нивелирования с результатами наблюдений электронными тахеометрами.

В разделе 3.2.4 были приведены таблицы, содержащие результаты оценки точности при измерениях электронными тахеометрами Topcon GTS-225 и Sokkia SET3x на участке №1. Все результаты измерений представлены графически (рисунок 3.15). На графиках отображены погрешности m_h, полученные для превышений между всеми реперами QT1, QT2, … QT9.

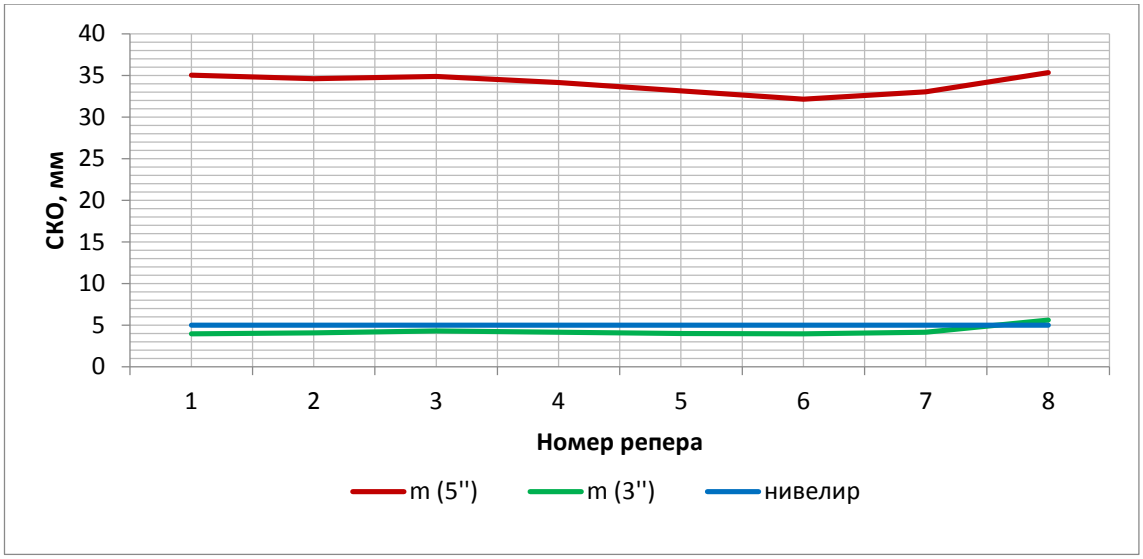


Рисунок 3.15 – Результаты исследований точности измерений. СКО определения отметок на участке №1 при использовании электронных тахеометров и нивелира

Анализируя графики, сразу заметна значительная разница между погрешностями тахеометров различной точности. Необходимо учесть, что допустимая СКО при нивелировании III класса составляет 5 мм, что было обеспечено с испльзованием тахеометра Sokkia SET3x (точность 3") и, что естественно, нивелированием.

Важным фактором, влияющим на точность, является количество станций (установок электронного тахеометра). На рис. 3.16 приведен график зависимости СКО от количества станций при проведении наблюдений с помощью электронного тахеометра Sokkia SET3x (угловая точность 3").

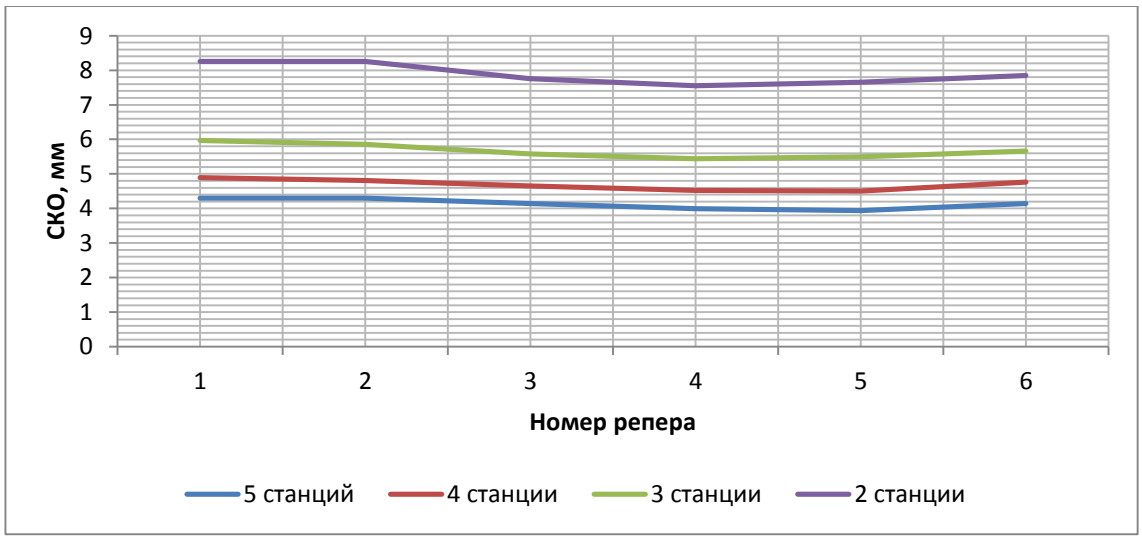


Рисунок 3.16 – Погрешности определения отметок деформационных марокэлектронным тахометром с угловой точностью 3" при разном количестве измерительных станций

Очевидно, что при увеличении количества станций точность возрастает; при съемке с двух станций СКО превышений превышает 7,5 мм, однако при проведении наблюдений с 3-5 станций снижается до 4-5 мм (достижение условных требований к измерениям).

Измерения на участке №2 также позволили произвести сравнение методов нивелирования III класса и электронной тахеометрии. Учитывая необходимость проведения измерений с нескольких станций, ввиду существования т.н. «мертвых зон» при мониторинговых наблюдениях у зданий и сооружений, удалось добиться требуемой точности (5 мм), произведя измерения в среднем с 4-5 станций.

Результаты приведенных исследований показали возможность и методику проведения оценки на соответствие требованиям, предъявляемым в государственных стандартах.

Так, в данных исследованиях была поставлена задача обеспечения точности определения отметок деформационной сети по третьему классу точности. Показано эффективность применения электронного тахеометра как альтернативы геометрическому нивелированию. Однако сопоставительный анализ показал, что его применеие для III класса точности справедливо только для тахеометров с угловой точностью не более 3". В остальных случаях нивелирование III класса с помощью нивелиров уровня Ni-004 является наилучшим вариантом.

выводы к главе 3

1. Обосновано геодезическое обеспечение реализации разработанного способа оценки вертикальных смещений.
2. Разработаны схемы геодезических наблюдений. Акцент сделан на тригонометрическом нивелировании, как весьма перспективном и широко используемом способе, но не обеспеченном конкретными методиками и схемами его применения для специфических задач мониторинга вертикальных смещений.

3. Показаны результаты наблюдений с использованием от одной до пяти измерительных тахеометрических станций на конкретных участках во Вьетнаме.
4. Проведен полный комплекс геодезических измерений, обеспечивающий реализацию разработанного способа и включающий спутниковые определения и геометрическое нивелирование.
5. Сформулировано 3-е научное положение. Геодезические наблюдения выполняют по разработанным технологическим схемам со свободных станций геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от допусков и точности приборов.

ГЛАВА 4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙДЕФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ

4.1 Применение разработанной методики при наблюдениях за деформациями основания железной дороги в г. Ханой

Для тестирования разработанной методики и визуализации применения линейного случая к конкретным объектам был выбран протяженный участок во Вьетнаме, а именно – участок железной дороги.

Объектом наблюдения в целях практической реализации метода на основании линейного случая стал участок железной дороги, расположенный по адресу: г. Ханой, р-н Бак Ты Льем, ул. Фу Зьен.

Наблюдения за вертикальными смещениями реперов позволяют получить информацию об эксплуатационном состоянии данной части железной дороги. В первую очередь перед началом всех наблюдений была выполнена подготовка реперов деформационной сети. Вокруг участка были расположены 12 реперов (рисунок 4.1). На рис. 4.1 представлена схема в соответствии с реальной ситуацией, полученная из Google Earth.

Рисунок 4.1 – Схема расположения реперов на участке железной дороги (материалы Google Earth)

Требования к точности измерений и планированию плана наблюдения.

Схема наблюдения линейного объекта представляет собой участок железной дороги, как показано на рис. (4.2). Основная цель – дать возможность рассмотреть новый метод и произвести анализ процесса реализации разработанной методики.

Поскольку объектом контроля является железная дорога, контрольные точки будут расположены так, как показано на рисунке (4.2).

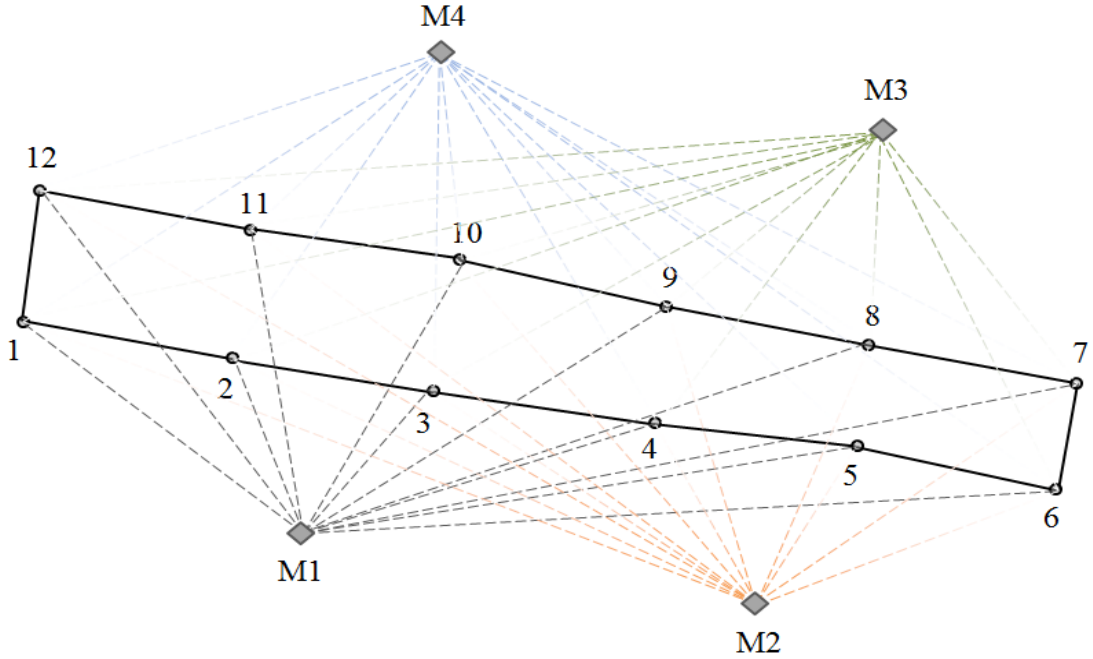


Рисунок 4.2 – Схема расположения реперов на участке железной дороги

Для определения схемы наблюдений, показанной на рисунке 4.2, требуется определение точности измерений в соответствии с инструкцией по нивелированию, что составляет мм для III класса нивелирования. Для наблюдений был использован электронный тахеометр Sokkia SET3x с точностью измерения углов 3 секунды. Теория оценки точности представлена в подразделе 2.2.2, практические вычисления – в подразделе 3.2.5. В Разделе 3.2.5 было показано, что для точности, требуемой в соответствии с инструкцией (5 мм) необходимо использование электронных тахеометров с точностью измерения углов 3 секунды; чтобы гарантировать, что точность результатов измерений окажется в допуске, необходимо производить измерения не менее чем с 4 различных станций.

Измерения и оценка точности

Перед каждым циклом наблюдений для тахеометра проводились поверки согласно требованиям нормативных документов и паспорта оборудования.

Для всех пунктов 1-12 были выполнены съемки с помощью электронного тахеометра. Тахеометр располагался в точках М1, М2, М3, М4, и с них последовательно производилась съемка всех реперов Рис. 4.2. После измерения мы получаем координаты, высоты всех точек 1-12 и приступаем к вычислению превышений между точками и средних высот точек измерений. Мы получаем превышения h_i, показанные в столбцах (4), (5) в таблице (4.1).

Таблица 4.1 – Координатная и превышеная ведомость, цикл 0, 1

Цикл 0				Цикл 1
1	2	3	4	5
Репер	X(м)	Y(м)	h_i(м)	h_i(м)
1	290,280	174,496	-0,072	-0,072
2	286,044	194,908	-0,757	-0,755
3	282,031	214,606	-0,070	-0,073
4	278,659	235,638	0,644	0,643
5	275,636	255,381	-0,148	-0,151
6	270,463	275,233	-0,073	-0,071
7	283,089	276,982	0,193	0,192
8	287,465	256,947	-0,489	-0,491
9	292,198	236,976	0,440	0,441
10	297,661	216,896	0,358	0,356
11	301,089	196,628	-0,043	-0,046
12	305,919	176,003	0,022	0,020

В таблице (4.1) в связи с тем, что в рамках исследования изучается исключительно вертикальный сдвиг реперов, во избежание влияние горизонтального сдвига при оценке устойчивости используется горизонтальное проложение сторон между реперами. Это показано в виде одинаковых значений сторон S в каждом из циклов наблюдений.

Таким образом, в таблице 4.1 показаны измерения двух циклов 0 и 1, но мы имеем те же координаты X и Y, а превышение между двух точки выражается в двух столбцах (4) и (5). По данным двух превышений (4) и (5)

определяются средние превышения из четырех измерений для обеспечения точности, как показано в пункте (3.2.5).

Уравнивание и оценка вертикальных смещенийточек сети.

Далее производится расчет длин сторон и уравнивание превышений, по алгоритму, описанному в пункте (1.3.2.1). Получаем таблицу значений длин сторон, превышений и точности превышений после уравнивания (4.2).

Таблица 4.2. Расчет сторон сети и превышение после уравнивания

		Превышение после уравнивания		Средняя квадратическая погрешность превышение после уравнивания	
1	2	3	4	5	6
Сторона	S	h'_i(M) Цикл 0	h'_i(M) Цикл 1	$m_{h'_i}$(M) Цикл 0	$m_{h'_i}$(M) Цикл 1
1-2	20,847	-0,0724	-0,0714	0,00203	0,00285
2-3	20,115	-0,7574	-0,7544	0,00203	0,00285
3-4	21,302	-0,0704	-0,0724	0,00203	0,00285
4-5	19,984	0,6436	0,6436	0,00203	0,00285
5-6	20,515	-0,1485	-0,1505	0,00203	0,00285
6-7	12,749	-0,0734	-0,0704	0,00203	0,00285
7-8	20,509	0,1926	0,1926	0,00203	0,00285
8-9	20,528	-0,4894	-0,4904	0,00203	0,00285
9-10	20,814	0,4396	0,4416	0,00203	0,00285
10-11	20,559	0,3576	0,3566	0,00203	0,00285
11-12	21,183	-0,0435	-0,0455	0,00203	0,00285
12-1	15,711	0,0216	0,0206	0,00203	0,00285

Затем переходим к вычислению значений углов наклона сторон α, разностей между углами наклона между двумя циклами измерений Δα и допустимого предела угла наклона между двумя циклами $\Delta\alpha_{пред}$ с помощью формул (2.9), (2.10) и (2.13), представленных в главе 2.

Таблица 4.3 – Расчет углов наклона сторон сети

1	2	3	4	5	6	7	8
Сторона	S_i(М)	h'_i(М) Цикл 0	h'_i(М) Цикл 1	α^o_0 Цикл 0	α^o_1 Цикл 1	$\Delta\alpha^o_{0-1}$	$\Delta\alpha^o_{пред}$
1-2	20,847	-0,0724	-0,0714	-0,199	-0,196	0,003	0,027
2-3	20,115	-0,7574	-0,7544	-2,156	-2,148	0,009	0,028
3-4	21,302	-0,0704	-0,0724	-0,189	-0,195	0,005	0,026
4-5	19,984	0,6436	0,6436	**1,845**	**1,845**	0,000	0,028
5-6	20,515	-0,1485	-0,1505	-0,415	-0,420	0,006	0,027
6-7	12,749	-0,0734	-0,0704	-0,330	-0,316	0,013	0,043
7-8	20,509	0,1926	0,1926	**0,538**	**0,538**	0,000	0,027
8-9	20,528	-0,4894	-0,4904	-1,366	-1,368	0,003	0,027
9-10	20,814	0,4396	0,4416	1,210	1,215	0,006	0,027
10-11	20,559	0,3576	0,3566	0,996	0,994	0,003	0,027
11-12	21,183	-0,0435	-0,0455	-0,118	-0,123	0,005	0,027
12-1	15,711	0,0216	0,0206	0,079	0,075	0,004	0,035

По результатам 2 циклов наблюдений была проведена оценка устойчивости реперов с помощью разработанного метода, представленного в главе 2. Ввиду того, что рассматриваемый объект является линейным, для его оценки используется линейный случай представленной в диссертации методики.

Угол наклона α является основной характеристикой стороны сети, необходимой для оценки ее устойчивости и приведения вывода о стабильности определенных реперов.

По результатам электронной тахеометрии в каждом цикле измерений можно составить таблицу углов наклона, и проследить изменение угла α. Разности между циклами представлены в таблице 4.4. В соответствии с описанным в главе 2 алгоритмом выполняется оценка устойчивости для 2 циклов 0-1.

Таблица 4.4 – Оценка устойчивости сети, циклы 0-1

Сторона	**Циклы 0-1**		
	$\Delta\alpha^{o}_{0\text{-}1}$	$\Delta\alpha^{o}_{пред}$	Итог
1-2	0,003	0,027	*стаб*
2-3	0,009	0,028	*стаб*
3-4	0,005	0,026	*стаб*
4-5	0,000	0,028	*стаб*
5-6	0,006	0,027	*стаб*
6-7	0,013	0,043	*стаб*
7-8	0,000	0,027	*стаб*
8-9	0,003	0,027	*стаб*
9-10	0,006	0,027	*стаб*
10-11	0,003	0,027	*стаб*
11-12	0,005	0,027	*стаб*
12-1	0,004	0,035	*стаб*

По результатам оценки принимается решение об определении устойчивости сторон сети за весь период. Так как все стороны оказались устойчивыми и в циклах 0-1, поэтому сеть является стабильной во всех ее точках.

На основании вышеприведенной таблицы можно заключить, что сеть является устойчивой. Разности между углами наклона не превышают допустимой величины.

Моделирование деформаций сети на основе разработанного программного обеспечения.

Разработанное программноеобеспечение(Рис. 4.3)позволяет отслеживать и анализировать все изменения сети.

Программное обеспечение, разработанное на основе языка Pascal (Приложение), позволяет рассчитать высоту точек посредством разницы между измеренными циклами. Оно также использует совпадения сторон между циклами, чтобы получить график смещения краев сетки. Это позволяет нам контролировать изменения сети.

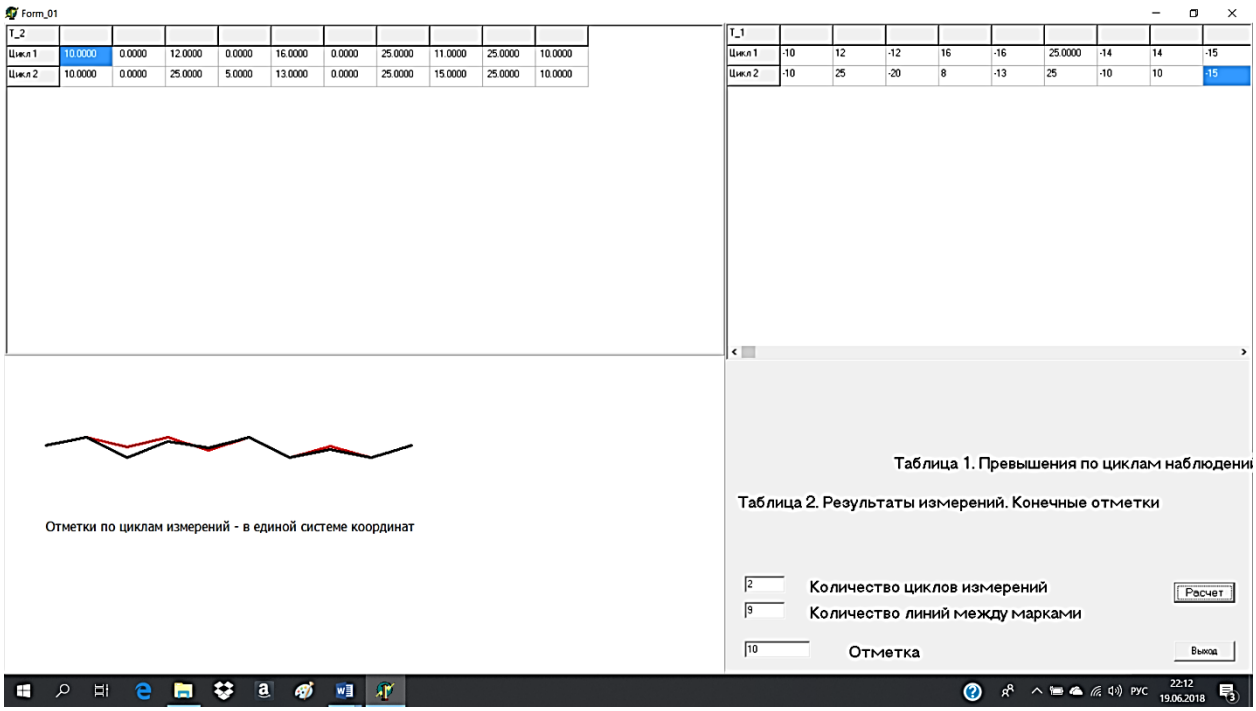


Рисунок 4.3 – Программа для определения отметок реперов по результатам измерений в двух циклах.

Основываясь на столбцах (2), (5) и (6) таблицы (4.3), мы можем нарисовать модель, имитирующую движение сторон в сетке между циклами наблюдения 0-1 Рис. (4.4).

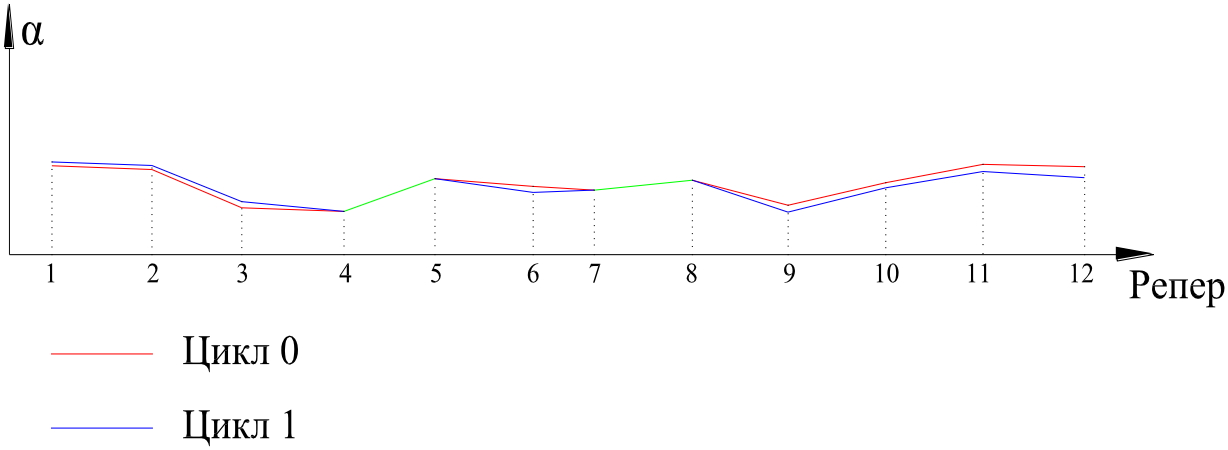


Рисунок 4.4 – Модель вертикальных смещение сети в двух циклах.

На основе графиков, представленных на рисунке 4.4, и результатах вертикального смещения реперов в таблице (4.3), мы видим, что:

- В таблице (4.3) мы видим, что изменение угла между двумя циклами 0-1 в столбце (7) полностью удовлетворяет его допустимому значению в столбце

(8) и в таблице (4.4). Приходим к выводу, что все элементы (звенья нивелирного хода) сети стабильны.

- Однако для более общего обзора и выявления наиболее стабильного звена мы проанализируем модель по табл. 4.4. Звенья 4-5 и 7-8 будут иметь более высокую стабильность. Линия 5-6 во втором цикле имеет тенденцию опускаться, указывая, что хотя репер 6 устойчив, он стремится вниз.

В дополнение к случаю нескольких циклов мы можем представить все циклы в той же модели, что и на рисунке 4.4, что дает нам очень общий взгляд на весь процесс. Мы можем даже предсказать движение точек в сетке.

4.2 Применение разработанной методики при наблюдениях за деформациями основания жилого здания (плоскостной случай разработанной методики)

Методика оценки устойчивости в соответствии с плоскостным случаем может применяться для следующих типов объектов: гражданских зданий и сооружений (государственных, правительственных и общественных организаций, больниц, театров, дворцов, университетов, институтов, школ, банков, коммунальных предприятий, торговых центров, ресторанов, кинотеатров и проч.), промышленных сооружений (канализаций и сооружений для водоснабжения, водонапорных башен, резервуаров, дымовых труб, башенных копров шахт и др.), сельскохозяйственных сооружений.

Для тестирования разработанной методики и визуализации применения плоскостного случая к конкретным объектам было выбрано жилое здание во Вьетнаме.

Объектом наблюдения в целях практической реализации метода на основании плоскостного случая стало жилое 11-этажное здание, расположенное по адресу: г. Ханой, р-н Бак Ты Льем, ул. Суан Динь, д. С4.

На рис. 4.5 показан снимок здания в Google Earth; с одной стороны здание ограничивается плотной застройкой, с другой – парковой зоной. Данное здание

было выбрано по причине расположения вблизи активной стройки для определения воздействия последней на его сохранность.

Рисунок 4.5 – Снимок здания и схема расположения марок вокруг здания (Google Earth)

Перед началом наблюдений была проведена заготовка реперов деформационной сетей.

На самом здании были размещены 8 деформационных марок на высоте 150 см (рис. 4.5). На рис. 4.6 представлена схема расположения реперов и марок вокруг здания, согласно изображению из Google Earth; на рис. 4.6 – схема, составленная по результатам съемки. Ко всем реперам и маркам был обеспечен беспрепятственный подход.

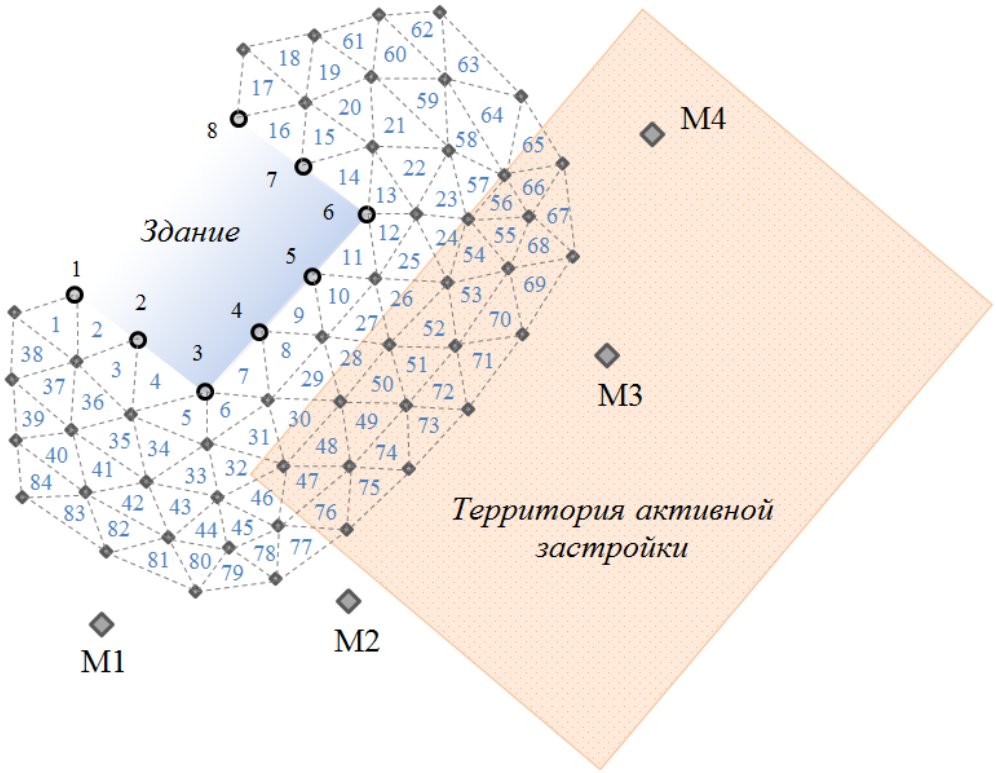


Рисунок 4.6 – Схема расположения реперов и марок вокруг здания

Требования к точности измерений и планированию плана наблюдения.

В случае плоскостей мы показываем только этапы реализации метода, разработанные в теоретической форме, так что мы можем систематически рассмотреть методологические этапы.

Как и в линейном случае первое, что нам нужно определить, это точность сети.

Как упоминалось выше в разделе 3.2.5, было показано, что для точности, требуемой при нивелировании III класса, с использованием электронного тахеометра существует зависимость точности измерений, точности инструмента и требуемого количества измерений. Было показано, что использование электронного тахеометра с точностью 3 секунды и измерение на четырех станциях и более позволит достичь точности согласно требованиям инструкции по нивелированию. В будущем мы предлагаем представить обзорную таблицу зависимости от точности измерительного оборудования, количества станций измерений и точности измерений, которые могут быть получены.

Предварительное определение точности измерений с используемым оборудованиемпозволило разработать схему наблюдений. Спланировали проводитьизмерения по схеме Рис. 4.6. Поскольку станция является свободной станцией, поэтому для подключения данных измерений станций M1 и M3 в одну систему. Выбралисвязующую общую точку G. Для станций M2 и M4 мы также делаем то же самое.

Измерение и оценка точности

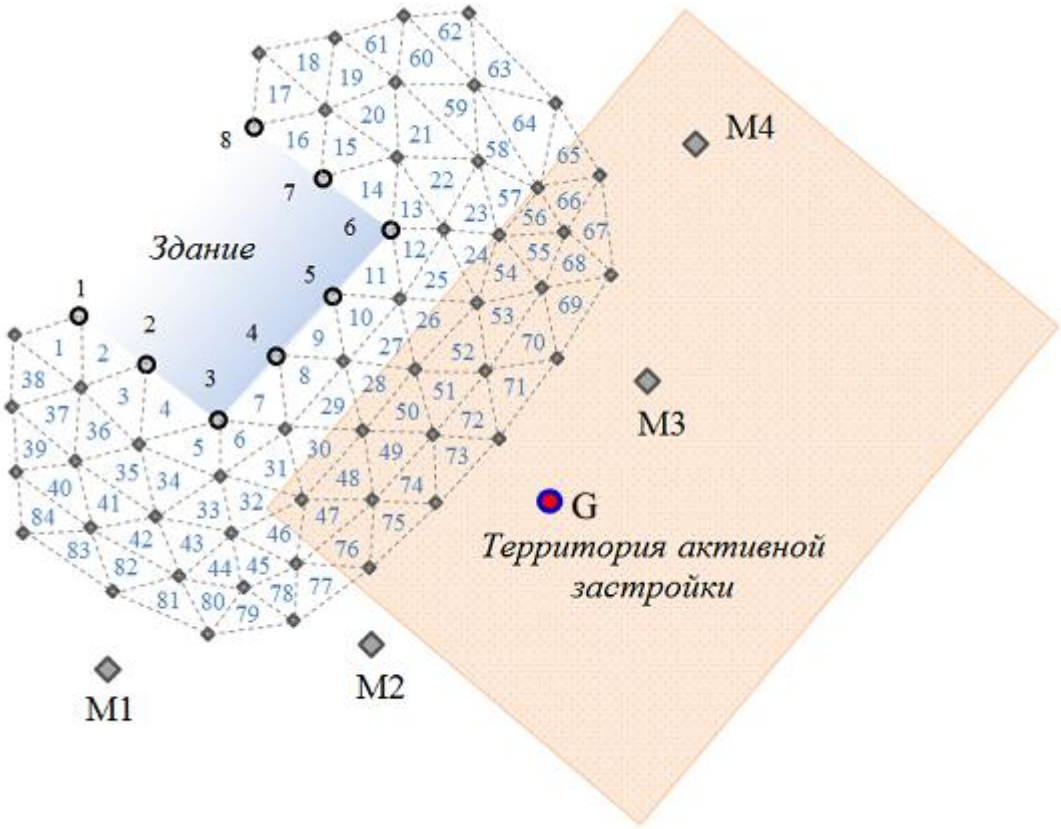


Рисунок 4.7 – Схема расположения электронного тахеометра

Последовательно с каждой точки M выполняем измерениятметок всех видимых деформационных точек и наводимся на связующую точку G. Для каждого цикла мы получаем таблицу (4.5). Мы измеряем то же самое для оставшихся циклов.

Таблица 4.5 – Шаблон координат точек в цикле 0:

Репер	Первый раз (цикл 0)						Второй раз (цикл 0)					
	M1			M3			M2			M4		
	X_i	Y_i	Z_i	X_i	Y_i	Z_i	X_i	Y_i	Z_i	X_i	Y_i	Z_i
1	X_1	Y_1	Z_1	X_1	Y_1	Z_1	X_1	Y_1	Z_1	X_1	Y_1	Z_1
2	X_2	Y_2	Z_2	X_2	Y_2	Z_2	X_2	Y_2	Z_2	X_2	Y_2	Z_2
3	X_3	Y_3	Z_3	X_3	Y_3	Z_3	X_3	Y_3	Z_3	X_3	Y_3	Z_3
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
n	X_n	Y_n	Z_n	X_n	Y_n	Z_n	X_n	Y_n	Z_n	X_n	Y_n	Z_n
G	X_G	Y_G	Z_G	X_G	Y_G	Z_G	X_G	Y_G	Z_G	X_G	Y_G	Z_G

После измерений мы получаем координаты и высоты всех точек наблюдений и приступаем к вычислению превышений между точками. Здесь мы рассмотрим два цикла, цикл 0 и цикл 1. Мы получаем превышениеh_i,показанное в столбцах (4), (5) в таблице (4.6).

Таблица 4.6 – Шаблон для значений координатная и превышенийв циклах 0, 1

Цикл 0				Цикл 1
1	2	3	4	5
Репер	X_i	Y_i	h_i	h_i
1	X_1	Y_1	h_1	h_1
2	X_2	Y_2	h_2	h_2
3	X_3	Y_3	h_3	h_3
...	...	...	...	...
n	X_n	Y_n	h_n	h_n

Координаты X, Y используем только для цикла 0 и далее они неизменны для всехциклов. Для последующих циклов нам нужно только фиксировать значения высоты между точками.

Уравнивание и оценка вертикальных смещений сети

После получения значений координат и разности сторон в таблице (4.6) мы вычисляем длины средних сторон треугольников (Scp) в сетке и одновременно производим уравнивание превышений. Чтобы произвести уравнивание превышений точек, мы используем алгоритм, описанный в (1.3.2.1). Мы получаем таблицу высот, превышений и точности превышений после уравнивания (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Высоты точек и превышения после уравнивания сети

	Высота репера после уравнивания		Превышение после уравнивания		Средняя квадратическая погрешность превышение после уравнивания	
1	2	3	4	5	6	7
Репер	Z'_i Цикл 0	Z'_i Цикл 1	h'_i Цикл 0	h'_i Цикл 1	$m_{h'_i}$ Цикл 0	$m_{h'_i}$ Цикл 1
1	Z'_1	Z'_1	h'_1	h'_1	$m_{h'_1}$	$m_{h'_1}$
2	Z'_2	Z'_2	h'_2	h'_2	$m_{h'_2}$	$m_{h'_2}$
3	Z'_3	Z'_3	h'_3	h'_3	$m_{h'_3}$	$m_{h'_3}$
…	…	…	…	…	…	…
n	Z'_n	Z'_n	h'_n	h'_n	$m_{h'_n}$	$m_{h'_n}$

На основании высот точек после уравнивания (Z'_i) рассчитываются углы наклона треугольников α_i, разность углов наклона между двумя циклами измерений $\Delta\alpha_i$ и допустимые пределы разности углов между двумя циклами $\Delta\alpha_{i\text{пред}}$ таблица (4.8) принимает формулу (2.18), (2.10) и (2.13) представлена в главе 2.

Таблица 4.8 – Углы наклона треугольников сети:

1	2	3	4	5	6	7	8
Треугольник	S_{icp}	Z'_i Цикл 0	Z'_i Цикл 1	α_i Цикл 0	α_i Цикл 1	$\Delta\alpha_i$	$\Delta\alpha_{i\ пред}$
1	S_{1cp}	Z'_1	Z'_1	α_1	α_1	$\Delta\alpha_1$	$\Delta\alpha_{1\ пред}$
2	S_{2cp}	Z'_2	Z'_2	α_2	α_2	$\Delta\alpha_2$	$\Delta\alpha_{2\ пред}$
3	S_{3cp}	Z'_3	Z'_3	α_3	α_3	$\Delta\alpha_3$	$\Delta\alpha_{3\ пред}$
…	…	…	…	…	…	…	…
n	S_{ncp}	Z'_n	Z'_n	α_n	α_n	$\Delta\alpha_n$	$\Delta\alpha_{n\ пред}$

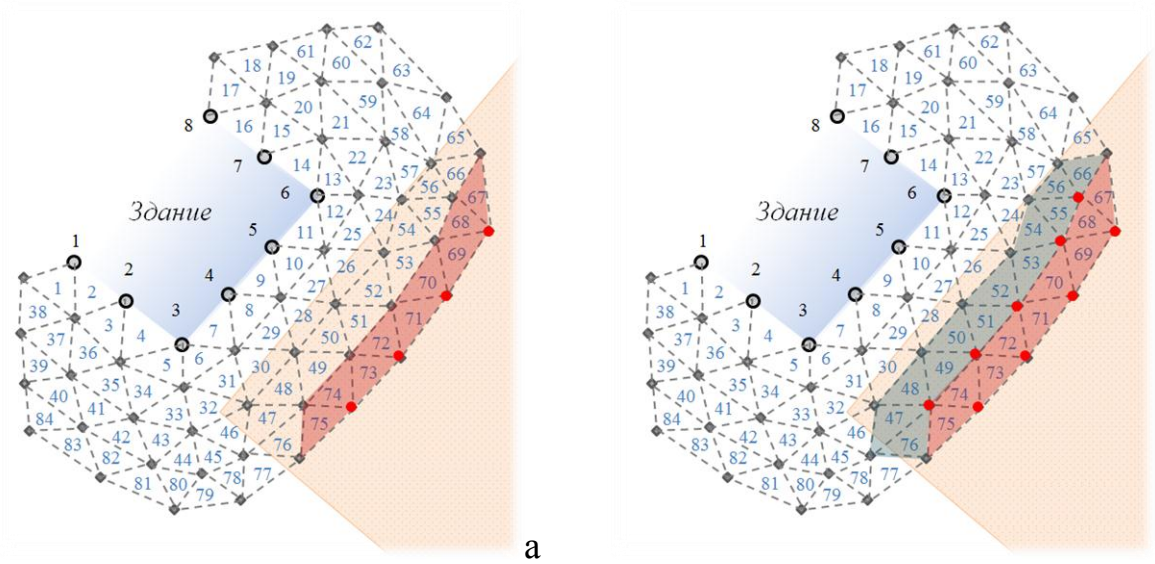
На основании таблицы (4.8) и формулы (2.11) в главе 2 мы можем оценить устойчивость треугольных плоскостей в деформационной сети.

Таблица результатов основана на изменении наклона треугольников между двумя циклами, показанными в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Оценка устойчивости сети, циклы 0-1

Треугольник	**Циклы 0-1**		
	$\Delta\alpha_i$	$\Delta\alpha_{i\ пред}$	Итог
1	$\Delta\alpha_1$	$\Delta\alpha_{1\ пред}$	Оценка
2	$\Delta\alpha_2$	$\Delta\alpha_{2\ пред}$	Оценка
3	$\Delta\alpha_3$	$\Delta\alpha_{3\ пред}$	Оценка
…	…	…	…
n	$\Delta\alpha_n$	$\Delta\alpha_{n\ пред}$	Оценка

На рисунке 4.8 приведен пример трех циклов наблюдения 0-1-2.



а б

Рисунок 4.8 – Неустойчивые элементы сети:

а – после 1-го цикла, б – после 2-го цикла

В циклах 1-0 нестабильными являются треугольники 67-75. По результатам циклов 2-1 все треугольники являются стабильными. Однако в соответствии с методикой для всех треугольников была выполнена оценка устойчивости (для стабильных в цикле 1- 0 – в связи с необходимостью такой оценки согласно алгоритму, для нестабильных в цикле 2-1 – в качестве проверки). По результатам оценки стабильности в циклах 2-0 отсутствует стабильность также и у треугольников 47-56, 66, 76. Таким образом, в

результате циклов 2-0 была установлена неустойчивость треугольников 47-56, 66-76. Это отражено на рис. 4.8: на рис. 4.8(а) показаны нестабильные треугольники после 0-го и 1-го циклов, на рис. 4.8(б) – после 2-го цикла.

Ввиду того, что показатели устойчивости снижаются по мере получения новых результатов съемок, можно заключить, что некоторые факторы, размещенные в зоне окружения исследуемого здания могут оказывать влияние на его устойчивость. Таким фактором может являться активная стройка, которая функционировала в течение времени наблюдений.

Результаты наблюдений позволяют оценить ситуацию и наметить проведение дополнительных геодезических съемок для контроля деформаций конкретного объекта. В частности можно сделать вывод о необходимости контроля юго-восточной части здания.

Моделирование сети

Через угловые значения наклона треугольников в сети (4.8) можно перейти к моделированию конечных смещений (Рисунок 4.9).

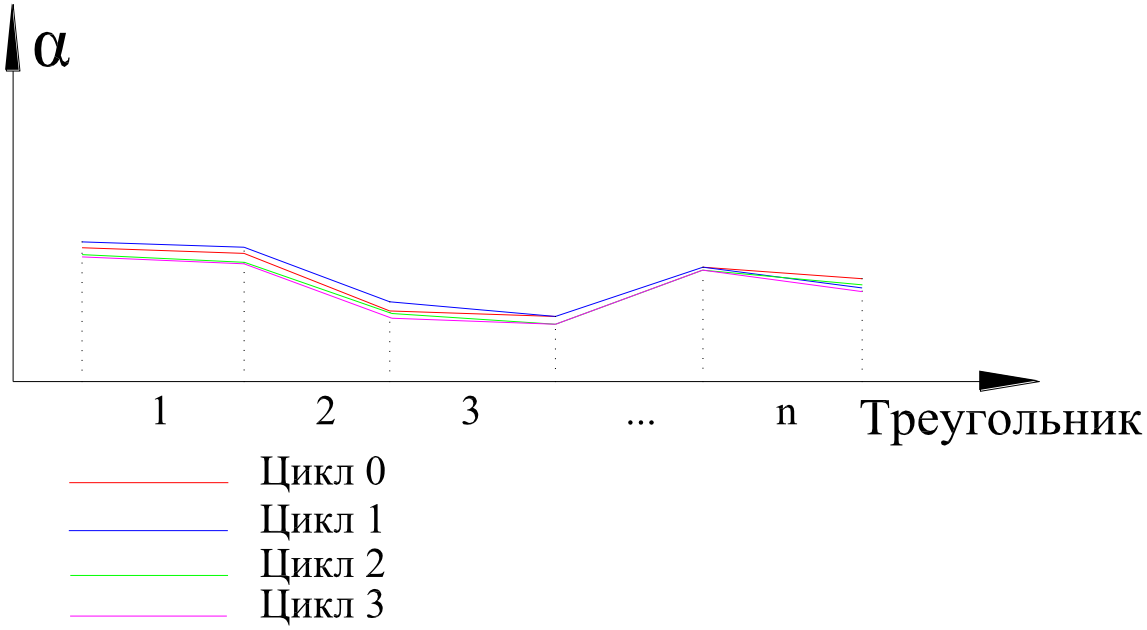


Рисунок 4.9 – Модель вертикальных смещение сети

На основе модели вертикального смещений сети (4.9) мы также можем проанализировать их зависимости и принять меры по исключению негативного развития процесса.

выводы к главе 4

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведена практическая реализация разработанного способа оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений.
2. Выбраны два объекта мониторинга во Вьетнаме: участка железной дороги и многоэтажное жилое здание. Спланированы три цикла геодезических наблюдений с помощью электронного тахеометра для участка железной дороги и для многоэтажного жилого здания;
3. Показана детали разработанной методики предусматривающей расчет углов наклона элементов сети и их разности между циклами, а также оценку устойчивости сети и расчет отметок деформационных точек.
4. Для первого объекта показаны результаты наблюдений по разработанной схеме тахеометрических измерений. Результаты свидетельствуют об обеспечении контроля деформационного процесса. Во втором случае приведено планирование наблюдений и сценарий возможного развития процесса и его отслеживания по разработанному способу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведенных исследований разработана методика оценки вертикальных смещений оснований зданий и сооружений на основе анализа элементов модели деформационной сети.

2. Дано обоснование применения системного способа наблюдений, включающего рассмотрение всей совокупности элементов деформационной сети,минимизирующий недостоверные результаты и потерю всей станции, а также обеспечивающий контроль точности результатов измерений.

3. Показано, что деформационный процесс оснований зданий и сооружений можно рассматривать в системе, элементами которой является иерархическая структура: деформационные марки (точки), звенья (ребра) и треугольники в триангуляционной сети. При этом, на каждом этапе (цикле) наблюдений отслеживаются относительные изменения системы, а их суммирование относительно начального цикла характеризует интегральную картину деформационного процесса.

4. Утверждается, что при оценке вертикальных смещений оснований зданий и сооружений следует использовать модельный принцип, в котором деформационная сеть рассматривается как система, элементы которой: звенья между двумя марками в линейном случае или треугольники в плоскостном случае, характеризуют изменчивость системы относительно предыдущего цикла наблюдений по своему пространственному положению.

5. Рекомендуется оценку вертикальных смещений реперов выполнять в два этапа: на первом – определяются смещенные и несмещенные элементы модели по величине отклонений нормалей элементов деформационной сети текущего и предыдущего циклов наблюдений; на втором – вычисляются отметки относительно неподвижных элементов сети.

6. Разработаны технологические схемы геодезических наблюдений со свободных станций геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от допусков и точности приборов.

7. Разработанная методика и ее элементы прошли проверку в натурных условиях в ходе экспериментальных исследований и практических наблюдений на нескольких объектах во Вьетнаме.

8. Дальнейшее развитие исследований представляется в разработке методики, ориентированной на оценку смещений в трехмерном пространстве на объемных моделях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, Б.Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений / Б.Ф. Азаров // Ползуновский вестник – 2011. – №1. – С. 19-29.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / К.М. Антонович // – М. : ФГУП «Картгеоцентр», 2006. – Т.2. – 360 с.
3. Аханова, Е.А., Каминский И.А. Простой способ уравнивания превышений в нивелирных сетях / Е.А. Аханова, И.А. Каминский // материалы IV научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России. – Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград. – 2012. – С. 359-364.
4. Баранова, Я.Ю., Козлова Е.Р. Контроль за устойчивостью реперов высотной основы с применением современных программных технологий / Я.Ю. Баранова, Е.Р. Козлова // Сборник трудов конференци международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород. – 2016. – С. 702-706.
5. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В., Никифоров С.Э., Вергелес С.А., Билянский В.В. Мониторинг смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов с помощью комплекса космических и геодезических методов / Ю.Б. Баранов, Ю.И. Кантемиров, Е.В. Киселевский, С.Э. Никифоров, С.А. Вергелес, В.В. Билянский // Недропользование XXI век. - 2009. - № 1. - С. 60-64.
6. Богомолова Е.С., Брынь М.Я., Грузинов В.В., Коугия В.А., Полетаев В.И. Инженерная геодезия. Учебное пособие, часть I / Е.С. Богомолова, М.Я. Брынь, В.В. Грузинов, В.А. Коугия, В.И. Полетаев. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2006. – 86 с.

7. Ботян, Г.К. Анализ устойчивости реперов при повторном нивелировании в городах / Г.К. Ботян // Геодезия и картография. – Москва. – 1974. – №11. – С. 25-28.
8. Буденков, Н.А., Нехорошков П.А. Способ контроля за устойчивостью реперов / Патент на изобретение №2180430, Россия. – 2002. [Электронный ресурс] : – Режим доступа: http://www.freepatent.ru/patents/2180430
9. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов, В.Э. Турук // М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
10. Во Ч.М. геодезические базы / Ч.М. Во. : Транспорт, 2009. – 133 с.
11. Ганьшин, В. Н., Стороженко, А. Ф., Ильин, А. Г. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов / В. Н. Ганьшин, А. Ф. Стороженко, А. Г. Ильин. – М. : Недра, 1981. – 215 с.
12. Ганьшин, В.Н. Методы оценки устойчивости реперов / В.Н. Ганьшин, А.Ф. Стороженко // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – Москва. – 1973. – № 5. – С. 3-10.
13. Геодезические работы и изыскания в строительстве автомобильных дорог. [Электронный ресурс] : Промтерра. – Режим доступа: http://www.prom-terra.ru/articles/249-inzhenernaya-geodeziya-dlya-avtomobilnyh-dorog.html
14. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 231 с.
15. ГКИНП 03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990. – 231 с.
16. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений / Министерство: введен 17.06.1981. – М. : Стандартинформ, 1981. – 26 с.
17. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений / Министерство: введен 01.07.2013. – М. : Стандартинформ, 2014. – 22 с.

18. Гуляев, Ю.П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений : монография / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
19. Гусев В.Н., Науменко А.И., Волохов Е.М., Голованов В.А. Основы наземной лазерно-сканирующей съемки: Учеб. пособие /В.Н. Гусев., А.И. Науменко., Е.М. Волохов., В.А. Голованов // Санкт-Петербургский государственный горный университет. 2-е изд., испр. СПб, 2011. 80 с.
20. Динь С.В. Некоторые проблемы опорном репера в измерительной основе оседания / С.В. Динь // изыскание и проектирование журнала . – Ханой. – 2007. - № 3. – С. 12-16.
21. Дьяков, Б.Н. Сравнительный анализ способов Костехеля и Марчака / Б.Н. Дьяков // Маркшейдерский вестник. – Москва. – 2009. – №6. – С.43-46.
22. Зайцев А.К., Марфенко С.В., Михелев Д.Ш. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А.К. Зайцев, С.В. Марфенко, Д.Ш. Михелев и др. – М.Недра, 1991. – 272 с.
23. Инструкция по вычислению нивелировок. – М.: «Недра», 1971. – 102 с.
24. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – ВНИМИ: «Ленинград», 1971. – 193с.
25. Как пользоваться тахеометром: принцип работы, функции прибора [Электронный ресурс] : Измерительные приборы. – Режим доступа: http://echome.ru/chto-takoe-taxeometr.html
26. Как составить уравнение плоскости? Примеры и задачи [Электронный ресурс]. Режим доступа: р. http://mathprofi.ru/uravnenie_ploskosti.html
27. Калинченко, И.С. Анализ устойчивости реперов, используемых для наблюдений за деформациями зданий и сооружений в южной зоне распространения многолетнемерзлых грунтов / И.С. Калинченко // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – Новосибирск. – 2013. – Т. 1, №3. – С. 155-159.

28. Кантемиров, Ю.И. Краткие теоретические основы радарной интерферометрии и ее многопроходных вариаций Ps и SBas / Ю.И. Кантемиров // Геоматика. – Москва. – 2012. – №1. – С.22–26.
29. Карпенко, В.А. Корреляционный анализ осадки фундамента конвейера ШС-1000 / В.А. Карпенко // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – Москва. –1966. – №3. – С. 55-60.
30. Карпенко, В.А. Методика анализа осадок сооружений значительного протяжения средствами математической статистики : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.А. Карпенко. – Москва, 1966. – 24 с.
31. Курошев, Г.Д. Геодезия и топография: учебник для студ. вузов / Г.Д. Курошев, Л.Е. Смирнов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 176 с.
32. Лаврова О.Ю., Костяной А.Г., Лебедев С.А., Митягина М.И., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О.Ю. Лаврова, А.Г. Костяной, С.А. Лебедев, М.И. Митягина, А.И. Гинзбург, Н.А. Шеремет // М.: ИКИ РАН, 2011. – 480 с.
33. Ле, Т.А Моделирование окружающей среды / Т.А Ле // Кантхо университет, 2008. – 47 с.
34. Лиз, З., Моделирование с помощью гравитации и DEM / З. Лиз // Геодезические науки и геодезия, 2007. – 127 с.
35. Ложкин, А.О., Ходако П.А. Исследование стабильности геодезических центров в районе вечной мерзлоты / А.О. Ложкин, П.А. Ходаков // Геодезия и картография. – Москва. – 2012. – №3. – С. 21-26.
36. Маркузе Ю.И., Пенько Пепев Д., Костадин Н. К. Определение деформаций инженерных сооружений по разностям наблюдений / Ю.И. Маркузе, Д. Пенько Пепев, Н. К. Костадин // Известия вузов Геодезия и аэрофотосъёмка. – Москва. – 1983. – № 6. – С. 126-128.

37. Министерство природных ресурсов и окружающей среды. Национальные технические стандарты по строительству высокого сетки. – Ханой: Строительной науке и технике, 2008. - 95 с.
38. Министерство строительства. Технические процедуры для определения осадки гражданских и промышленных сооружении с помощью геометрических измерений. – Ханой: Министерство науки и технологий, 2012. – 39с.
39. Национальные технические регламенты в принципе иерархической таксономии гражданского строительства, производственно-техническая инфраструктура из-за конкуренции. Издательство Строительство, 2012. - 30 с.
40. Нгуен, З.Л Моделирование поверхности / З.Л. Нгуен. – Вьетнам : Университет сельского хозяйства и лесного хозяйства Хо Ши Мин, 2014. – 43 с.
41. Нгуен, Н.В. Моделирование трехмерной карты / Н.В. Нгуен. – Вьетнам : Технологический университет, 2010. – 89 с.
42. Нгуен Т.Л. Оценка стабильности сети мониторинга / Т.Л. Нгуен. – Вьетнам : Ханойский университет горного дела и геологии, 2010. – 83 с.
43. Нгуен, Х.В. Вопросы оценки результатов геодезических наблюдений за деформационными процессами / Х.В. Нгуен // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 01 (55) Часть 2. – С. 60–64.
44. Нгуен, Х.В. Анализ и пути развития методов оценки устойчивости опорных реперов при наблюдениях за оседаниями земной поверхности / Х.В. Нгуен, М.Г. Мустафин // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5 (107). – С. 89–96.
45. Нгуен, Х.В. Пути развития способов оценки устойчивости опорной геодезической сети / Х.В. Нгуен, М.Х. Чан, Т.Ш. Чан // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: Сборник статей по итогам Международной научно - практической конференции. - Стерлитамак: АМИ, 2017. – С. 135–141.

46. Нгуен, Х.В, Чан, М.Х, Чан, Т.Ш. Особенности организации ониторинга вертикальных смещений деформационной сети во Вьетнаме / Х.В. Нгуен, М.Х . Чан, Т.Ш. Чан // Актуальные вопросы науки, УДК 001(063). – 2017. - С. 105-107.
47. Нгуен, Х.В. Метод оценки вертикальных смещений земной поверхности на основе изучения деформирования элементов модели система реперов / Х.В. Нгуен // Международной научно - практической конференции. - 2017. - С. 57 - 58.
48. Нгуен, Х.Ш. Исследование и комплексные решения для проектирования и обработок данных по высокому проседанию измерительной геометрии в гражданском строительстве / Х.Ш. Нгуен. – Вьетнам : Ханойский университет горного дела и геологии, 2010. – 191 с.
49. Олейник, А.М., Цуркану, А.И., Маслихин, В.Н., Постников, П.В. К вопросу об устойчивости грунтовых реперов в криолитозоне / А.М. Олейник, А.И. Цуркану, В.Н. Маслихин, П.В. Постников // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института. Нефть и газ западной Сибири. – Тюмень. – 2013. – С. 214-218.
50. Оспенников, Е.Н., Хилимонюк В.З., Булдович С.Н. Некоторые проблемы организации системы геокриологического мониторинга в районах распространения островной мерзлоты западной Сибири / Е.Н. Оспенников, В.З. Хилимонюк, С.Н. Булдович // Сборник материалов пятой конференции геокриологов России. МГУ им. М. В. Ломоносова. – Москва. – 2013. – Т.2. – ч.6. – С. 211-222.
51. Основания зданий и сооружений снип 2.02.01-83. - Москва: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1995. - 49с.
52. Оценка точности измерения горизонтальных углов [Электронный ресурс] : Методические указания к курсовой работе / сост. А.В. Войтенко. – Электрон. дан. – Омск: СибАДИ, 2016. – Режим доступа: р. http://bek.sibadi.org/fulltext/esd146.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

53. Панжин А.А., Панжина Н.А. Об особенностях проведения геодинамического мониторинга при разработке месторождений полезных ископаемых Урала с использованием комплексов спутниковой геодезии / А.А. Панжин, Н.А. Панжина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск. – 2012. – № 6. – С. 46-55.
54. Пархоменко Н.А., Ларин П.В., Понкратов Е.Д. Расчет устойчивости реперов на основе наиболее универсальных способов / Н.А. Пархоменко, П.В. Ларин, Е.Д. Понкратов // Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию землеустроительного факультета Омского ГАУ. Геодезия, землеустройство и кадастры: вчера, сегодня, завтра. – Омск. – 2017. – С. 384-388.
55. Пенев Пеньо Д. Анализ устойчивости реперов высотной основы / Д. Пенев Пеньо // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – Москва. – 2005. – №4. – С.3-16.
56. Ровенко, Д.С., Огнева Л.Ю. К вопросу об оценке стабильности реперов высотной основы / Д.С. Ровенко, Л.Ю. Огнева // материалы IV научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России. – Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград. – 2011. – С. 227-230.
57. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1975. – 156 с.
58. Саламатина, Ю.Ф., Саламатин В.А. Геомониторинг деформаций на олимпийском объекте / Ю.Ф. Саламатина, В.А. Саламатин // сборник статей. Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. – Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара. – 2017. – С. 262-265.
59. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова // Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

60. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. – 77 с.
61. Стороженко, А.Ф. Метод анализа устойчивости реперов / А.Ф. Стороженко // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – Москва. – 1972. – Вып. 4.
62. Стороженко, А.Ф., Давыденко А.Е. К вопросу о наблюдениях за устойчивостью реперов высотной основы при строительстве уникальных объектов / А.Ф. Стороженко, А.Е. Давыденко // Научный потенциал молодых ученых для инновационного развития строительного комплекса нижнего Поволжья. Материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград. – 2011. – С. 155-162.
63. Строительные стандарты Вьетнама. – Ханой: Издательство Строительство, 2002, - 24 с.
64. Тарасова, А.В., Сычева Е.С. Исследование устойчивости грунтовых реперов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов / А.В. Тарасова, Е.С. Сычева // Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию Байбакова Николая Константиновича. – Тюменский индустриальный университет. – Тюмень. – 2011. – С. 402-405.
65. Уваров А.И., Ларин П.В., Понкратов Е.Д. Выбор способа расчета устойчивости реперов / А.И. Уваров, П.В. Ларин, Е.Д. Понкратов // Сборник трудов конференции национальной научно-практической конференции. Актуальные проблемы и перспективы развития геодезии, землеустройства и кадастра недвижимости в условиях рыночной экономики. – Омск. – 2017. – С. 167-169.
66. Фам Х.Л. Учебный план геодезическая учебная программа / Х.Л. Фам, Н.Ч. Данг. – Вьетнам : Ханойский университет горного дела и геологии, 1998. – 90 с.
67. Фан В. Х. Геодезические работы / В. Х. Фан, В.Х. Нго, К. Чан, К.Ф Нгуен, К.Т. Нгуен, Х.Т. Фан, В.Т. Чан. –М. : Транспорт, 2004. – 392 с.
68. Фан В. Х. Оптимальный дизайн геодезической сети / В. Х. Фан, Н.Д. До. –М. : Транспорт, 2007. – 122 с.

69. Фан В.Х. Базовая геодезическая уравнивание / В.Х. Фан, К.Т Данг. Сельскохозяйственные издательства, 2009. – 241 с.
70. Хоанг Н.Х. Математическая основа для обработки данных геодезических / Н. Х. Хоанг, К.Х Чыонг. –М. : Транспорт, 2003. – 269 с.
71. Чан, М.Х. Методика геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности с учетом геологических разломов / М.Х. Чан, Х.В. Нгуен // Актуальные вопросы науки: Материалы XXX Международной научно-практической конференции. – М. : Издательство «Спутник +», 2017. – С. 108–111.
72. Чан, Т.Ш. Применение спутниковых технологий в проектировании инженерных геодезических сетей в условиях ландшафтных особенностей региона Вьетнама / Т.Ш. Чан, Х.В. Нгуен, М.Х. Чан // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 11 (65) Часть 3. – С. 169–173.
73. Чан, К., Учебник по строительству зданий / К. Чан, С. Т. Хоанг, А.З. Нгуен, В.Ч. Нгуен // Институт науки и технологии строительства, 2013. – 279 с.
74. Чан К.Т. наблюдение смещением и деформационные сооружении / К.Т. Чан – Вьетнам : Промышленный колледж Туй Хоа. – 2012. – 46с.
75. Черников, В.Ф. Создание высотной опорной сети для наблюдений за осадками промышленных сооружений / В.Ф. Черников // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – Москва. – 1963. – № 5. – С. 89-94.
76. Чинь, Т.Т.Х Методы моделирования в научно-исследовательской работе / Т.Т.Х. Чинь. – Вьетнам : Научный студент конференций, 2014. – С. 15-18.
77. Чыонг К.Х. Математические основы теоретической ошибки и метод геодезические регулировки / К.Х. Чыонг, Т.А. Лыу : Транспорт, 2014. – 223 с.
78. Шнейдер, В. Е. Краткий курс высшей математики. Учеб. пособие для втузов / В.Е. Шнейдер и др. – М.: «Высш. школа», 1972. – 640 с.

79. Электронный тахеометр Topcon GTS-225. [Электронный ресурс] : Geoland surveying. – Режим доступа: http://www.geoland-surveying.com/index.php/total-station/topcon/used-topcon-gts-225-5-total-station-construction.html
80. Costachel, A. Некоторые новые аспекты точного выравнивания для определения разрушения зданий / A. Costachel // Vermessungstechnik. – 1967. – Улица Глюкштедтер, Германия – N 7. – pp. 250-257. (статья на немецком языке)
81. GEOG 862 - GPS and GNSS for Geospatial Professionals [Электронный ресурс] : Измерительные приборы. – Режим доступа: https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1828
82. Janusz Matuszewicz. Основы определения дислокации / Janusz Matuszewicz. – GIK.1982 (На польском языке)
83. L1 GPS приемник CHC X20. [Электронный ресурс] : Навгеотех. – Режим доступа: http://navgeotech.com/ftp/datasheet_geomag/chc_x20_br_ru.pdf
84. Marcak, P. Skumanie местных изменений в измерении места размещения канавы / P. Marcak // Геодезический и картографический горизонт. – Прага. – 1965. – 11/53. – pp. 309-312. (статья на словацком языке)
85. Marcak, P. Skumanie устойчивость фиксированных точек высоты в случае выравнивания вертикальных смещений весов / P. Marcak // Stavebnicky cas. SAV. – 1961. – №9. – 182 p. (книга на словацком языке)
86. Marcak, P. The problem of the system of height reference in determining the settling of foundations and buildings / P. Marcak // Studia geophysica and geodatica. –США. – 1974. – № 1. – pp. 33-46.
87. Marcak, P. Проблема системы отсчета высотной для повторного выравнивания геодинамической polugonoch / P. Marcak // Геодезический и картографический горизонт. – Прага. – 1974. – № 3. – pp. 63-68. (статья на словацком языке)
88. Ni-004 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.avpkf.com/bl.php?art=00000026969

89. SokkiaSET3x [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gsi.ru/catalog/taheo/set3x.

90. TCXDVN 271:2002. Контроль проведения мониторинга оседаний при гражданском и промышленном строительстве методом измерения периметра. – Ханой: Издательство строительство, 2002. – 60 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код программы на языке Паскаль

```
unitUnit_Vet_03;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, StdCtrls, Grids;
type
  TForm_01 = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    PaintBox1: TPaintBox;
    Panel2: TPanel;
    N_sloy: TEdit;
    Exit: TButton;
    StringGrid1: TStringGrid;
    N_line: TEdit;
    Vis: TEdit;
    Panel3: TPanel;
    StringGrid2: TStringGrid;
    Label1: TLabel;
    Button2: TButton;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    procedure N_sloyChange(Sender: TObject);
    procedure N_lineChange(Sender: TObject);
    procedure StringGrid1SetEditText(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
      const Value: String);
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
```

```
    procedure ExitClick(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure VisChange(Sender: TObject);
  private
{ Private declarations }
  public
{ Public declarations }
  end;
     Dann = record
              Koord_1 : extended;
                n_oll_line : integer;
                n_part_line :integer;
                mass_part_line : array[1..50,1..100] of extended;
                mass_visot : array[1..50,1..100] of extended;
                Nom_point_elem_1 : array [1..100,1..2] of integer;
                Nom_point_elem_2 : array [1..100,1..2] of integer;
                end;
var
  Form_01: TForm_01;
  Kol_sl,Kol_line : integer;
Dan : Dann;
DanFile : file of dann;
implementation
{$R *.DFM}
procedure DrawLine(TekCanvas : TCanvas;TopLeft, BottomRight: TPoint);
begin
 with TekCanvas do  begin
MoveTo(TopLeft.X, TopLeft.Y);
LineTo(BottomRight.X, BottomRight.Y)
          end
```

```
                end;
procedure TForm_01.FormActivate(Sender: TObject);
 var
i,j : integer;
s : string;
begin
s := 'Vet.mus';
AssignFile(DanFile, s);
 if FileExists(s) then begin
Reset(DanFile);
read(DanFile,dan);
 N_line.Text :=  FloatToStr(dan.n_part_line);
 N_sloy.Text :=  FloatToStr(dan.n_oll_line);
Vis.Text :=  FloatToStr(dan.Koord_1);
StringGrid1.rowcount := dan.n_oll_line +1;
StringGrid1.ColCount := dan.n_part_line +1;
 for i:= 1 to dan.n_oll_line  do
 for j := 1 to dan.n_part_line do begin
 str(dan.mass_part_line[i,j]:8:4,s);
 StringGrid1.Cells[j,i]:= s
                            end;
   end
      else
         begin
Rewrite(DanFile);
            end;
StringGrid1.Cells[0,0] := 'T_1';
StringGrid2.Cells[0,0] := 'T_2';
StringGrid1.Cells[0,1] := 'Цикл 1';
StringGrid1.Cells[0,2] := 'Цикл 2';
```

```
StringGrid2.Cells[0,1] := 'Цикл 1';
StringGrid2.Cells[0,2] := 'Цикл 2';
end;
 procedure TForm_01.N_sloyChange(Sender: TObject);
 var
cod : integer;
 begin
 Val(N_sloy.text,dan.n_oll_line,cod);
StringGrid1.rowcount := dan.n_oll_line +1;
write(DanFile,dan);
 end;
 procedure TForm_01.N_lineChange(Sender: TObject);
 var
cod : integer;
begin
 Val(N_line.text,dan.n_part_line,cod);
StringGrid1.ColCount:= dan.n_part_line +1;
write(DanFile,dan);
end;
procedure TForm_01.StringGrid1SetEditText(Sender: TObject; ACol,
  ARow: Integer; const Value: String);
var
a : extended;
cod,j : integer;
s : string;
 begin
val(StringGrid1.Cells[StringGrid1.Col,StringGrid1.Row],a,cod);
dan.mass_part_line[StringGrid1.Row,StringGrid1.Col]:= a;
end;
procedure TForm_01.ExitClick(Sender: TObject);
```

```
begin
seek(DanFile,0);
write(DanFile,dan);
Form_01.Hide;
  Form_01.Close;
end;
procedure TForm_01.Button2Click(Sender: TObject);
var
 K_n, K_f,K_f_f,K_n_n : Tpoint;
i,j,k,k2,par : integer;
 Razniza_visot : extended;
s : string;
begin
k :=0;
 for j := 1 to dan.n_part_line  do begin
k := k +1;
dan.Nom_point_elem_1[j,1] := k;
dan.Nom_point_elem_1[j,2] := k+1;
dan.Nom_point_elem_2[j,1] := k;
dan.Nom_point_elem_2[j,2] := k+1;
end;
 {вычисляем координаты точек - высоты}
 {для линии 1}
dan.mass_visot[1,1] := dan.Koord_1;
for i := 1 to dan.n_part_line  do
dan.mass_visot[1,i+1] := dan.mass_visot[1,i] + dan.mass_part_line[1,i];
{вычисляем координаты точек - высоты}
 {для линии 2 - т.д. относительно первой линии
```

Алгоритм следующий - определяем линию которая отличается по наклону

```
 т.е юмеет отличное от предыдущего цикла превышение}
 {Считаем условные высоты для всех  цмклов измерений от 2 и дальше}
 for i := 2 to dan.n_oll_line  do  begin
 for j := 1 to dan.n_part_line  do  begin
  if j = 1 then begin
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,1]] :=  dan.Koord_1;
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,2]] :=  dan.Koord_1 +
dan.mass_part_line[i,j];
                end
                else
                   begin
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,1]] :=
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,1]];
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,2]] :=
dan.mass_visot[i,dan.Nom_point_elem_1[j,1]] + dan.mass_part_line[i,j];
                        end;
                                    end;
                                    end;
par:= 0;
 Razniza_visot := 0;
 for i := 1 to dan.n_part_line  do  begin
 if dan.mass_part_line[2,i] = dan.mass_part_line[1,i] then begin
  Razniza_visot := dan.mass_visot[1,dan.Nom_point_elem_1[i,1]] -
dan.mass_visot[2,dan.Nom_point_elem_1[i,1]];
par:= 1
                                    end;
                                    end;
PaintBox1.Canvas.Brush.Color:=clWhite;
PaintBox1.Canvas.FillRect(Rect(0,0,1500,1500));
  If par= 1 then  begin
```

```
            for j := 1 to dan.n_part_line + 1  do  begin
dan.mass_visot[2,dan.Nom_point_elem_1[j,1]] :=
dan.mass_visot[2,dan.Nom_point_elem_1[j,1]] + Razniza_visot;
                                                end;
StringGrid2.rowcount := dan.n_oll_line+1;
StringGrid2.ColCount := dan.n_part_line+2;
  for i:= 1 to dan.n_oll_line  do
  for j := 1 to dan.n_part_line+1 do begin
 str(dan.mass_visot[i,j]:8:4,s);
 StringGrid2.Cells[j,i]:= s;
                                end;
PaintBox1.Canvas.Pen.Color := 0;
PaintBox1.Canvas.Pen.Width := 3;
 for i:= 1 to dan.n_oll_line do begin
 K_n.y := round(dan.mass_visot[i,1]);
  for j := 1 to dan.n_part_line do begin
   if j = 1 then begin
  K_n.x := 50;
  K_f.x := K_n.x + 50;
  K_f.y := round(dan.mass_visot[i,j+1]);
                end
                  else
                    begin
  K_n.x := K_f.x;
  K_n.y := K_f.y;
  K_f.x := K_n.x + 50;
  K_f.y := round(dan.mass_visot[i,j+1]);
end ;
    K_f_f.x := K_f.x;
    K_n_n.x := K_n.x;
```

```
    K_f_f.y := K_f.y + 100;
    K_n_n.y := K_n.y + 100;
  if i=1 then PaintBox1.Canvas.Pen.Color := clRed
  else
PaintBox1.Canvas.Pen.Color := 0;
DrawLine(PaintBox1.Canvas,K_n_n,K_f_f);
                              end;
                                 end;
PaintBox1.Canvas.Font.Name := 'Tahoma';
PaintBox1.Canvas.Font.Size := 12;
PaintBox1.Canvas.TextOut(50, 200,
'Отметки по циклам измерений - в единой системе координат');
end
                                       else
PaintBox1.Canvas.TextOut(50, 200, 'НЕТСОВПАДЕНИЙ !!!');
                             end;
procedure TForm_01.VisChange(Sender: TObject);
 var
cod : integer;
begin
Val(Vis.text,dan.Koord_1,cod);
write(DanFile,dan);
end;
end.
```