На правах рукописи

НГУЕН Хыу Вьет

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

Специальность 25.00.32 - Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель -
доктор технических наук

Мустафин Мурат Газизович

Официальные оппоненты:

Столбов Юрии Викторович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», кафедра «Проектирование дорог», профессор

Афонин Дмитрий Андреевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Инженерная геодезия», доцент

***Ведущая организация* – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»**

Защита диссертации состоится 05 февраля 2019 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.08 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 05 декабря 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ **СКАЧКОВА**
диссертационного совета **Мария Евгеньевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 их устойчивости.

Существует целый ряд способов оценки устойчивости опорных реперов. Однако их анализ показывает, что для определенных условий, например, когда все пункты 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 в связи с интенсивным освоением территорий остро стоит вопрос о создании надежных способов оценки деформационных процессов в целом, 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 в каждом цикле наблюдений отслеживаются относительные изменения системы, точнее ее элементов, пространственное положение которых инвариантно относительно системы отсчета, 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:

1. 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.
2. 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.

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

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

5. 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.

Методика исследований

Применяется комплексный метод исследований, включающий: анализ существующих подходов и технологий геодезических измерений; компьютерное моделирование деформационной сети; сопоставление результатов исследований по альтернативным методикам; метод наименьших квадратов для оценки точности геодезических измерений 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; научно-технических советах строительного факультета и ежегодных кафедральных симпозиумах, проводимых в Санкт-Петербургском горном университете. Элементы теоретических и методических разработок диссертации внедрены в учебный процесс по специальности «Инженерная геодезия» в Санкт-Петербургском горном университете.

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 8 публикациях, в том числе 4 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, содержит 57 рисунков, 60 таблиц и список литературы, включающий 90 российских и зарубежных наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ:

Во введении приводятся вкратце актуальность темы диссертации и основные результаты работы.

В первой главе проведен анализ и описаны подходы к наблюдениям за вертикальными смещениями оснований зданий и сооружений в России и во Вьетнаме. Фокусируется внимание на оценке стабильности опорных реперов и делается заключение о необходимости продолжения исследований для развития этих способов. Обосновывается переход на создание способа, позволяющего более надежно оценивать вертикальные смещения. Затронуты вопросы точности измерения пунктов деформационных сетей. Сформулированы конкретные задачи по разработке нового способа оценки вертикальных смещений.

Во второй главе рассматривается оригинальный способ оценки вертикальных смещений, базирующийся на рассмотрении деформационной сети как системы, в которой на каждом цикле наблюдений определяются устойчивые и смещенные элементы относительно предыдущего цикла. Разработана методика оценки смещений. Выполнены на основе модельных расчетов сравнительные оценки результатов наблюдений по способам: традиционным и по предлагаемому.

В третьей главе: разработаны схемы наблюдений за вертикальными смещениями оснований зданий и сооружений со свободных станций геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от точности приборов.

В четвертой главе: выбраны объекты практического применения разработанной методики наблюдений. Приведено описание наблюдений и оценки их результатов.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные при исследованиях.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

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.

При наблюдениях за вертикальными смещениями используются традиционные способы, разработанные такими учеными как А. Костехель, Г.К. Ботян, Я. Мартусевич, В.Ф. Черников, П. Марчак и др. Данные способы по результатам специальных исследований (Дьяков Б.Н., Калинченко И.С., Ровенко Д.С. и др.) показали их недостатки, которые не позволяют их использовать для различных видов деформаций (интегральных поднятий или опусканий оснований зданий и сооружений). В этой связи автором исследован вопрос об области применения традиционных способов. При этом рассмотрены следующие ситуации: все реперы сети оседают относительно опорного репера (вариант 1); все реперы сети поднимаются относительно опорного репера (2); реперы сети претерпевают различные деформации (оседания и поднятия) относительно опорного репера (3). В результате выполненного моделирования обнаружено, что традиционные способы дают верный результат лишь для варианта 3. Для вариантов 1 и 2 они выдают ошибочный результат.

Автором предложен оригинальный способ, в котором 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 случая рассматриваются элементы сети - треугольники. Эти изменения можно выявить по отклонениям нормалей или углам наклона элементов.

На каждом цикле наблюдений выполняется оценка смещенных и устойчивых элементов геодезической сети. Инвариантность элементов геодезической сети позволяет проводить наблюдения со свободных станций, что, безусловно, повышает мобильность и точность измерений. При этом в каждом цикле отметки получаются в разных системах отсчета. Приведение к единой системе проводится совмещением устойчивых (совпадающих) элементов. Отметки вычисляют по величинам отклонений смещенных элементов относительно устойчивых. Возможные случаи при выделении устойчивых и неустойчивых элементов рассматриваются во втором положении. Разработана программа (программного комплекса - ПК) на языке Паскаль, реализующая алгоритм способа. На рисунке 1. приведена панель ПК и визуализация для линейного случая.

Проведено сравнение результатов измерений вертикальных смещений марок по традиционным способам и по предлагаемому способу. Схема деформационной сети изображена на рисунке 2.

Результаты сравнения приведены на рисунках 3, 4, 5.

- ***Вариант 1:*** Все реперы в сети оседают (то есть отметки всех реперов отрицательные) относительно репера, выбранного как опорный.

- ***Вариант 2:*** Все реперы сети поднимаются (отметки всех реперов положительные) относительно репера, выбранного как опорный.

- ***Вариант 3:*** Реперы сети испытывают и оседания и поднятия.

Результаты сравнений способов показали, что традиционные способы оценки вертикальных смещений дают верные значения при разнонаправленных истинных смещениях марок. Предлагаемый способ дает правильную оценку во всех трех вариантах.

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.

Выделение смещенных (неустойчивых) и несмещенных (устойчивых) элементов деформационной сети (модели) выполняется путем сравнения отклонений нормалей к ним.

При линейном случае (рисунок 6) *с*равнение результатов предыдущего и текущего циклов выполняется по отклонениям нормалей от звеньев между пунктами или углом наклона (a).

Разность в значении углов между циклами $\Delta_\circ$, определяем из выражения:

$$\Delta_\circ = \left|\alpha^i - \alpha^0\right| \quad (1)$$

В плоскостном случае (рисунок 7) наклон плоскости определяется вектором нормали по известной формуле:

$$cos\Delta_\circ = \frac{\overline{n_1}\cdot\overline{n_2}}{|\overline{n_1}|\cdot|\overline{n_2}|} \quad (2)$$

Разность между циклами $\Delta_\circ$, определяется:

$$\Delta_\circ = \mathrm{a}cos\frac{\overline{n_1}\cdot\overline{n_2}}{|\overline{n_1}|\cdot|\overline{n_2}|} \quad (3)$$

Точность измерений принимается по допускам или предельным значениям:

$$\Delta_\circ < \Delta_{\text{пред},\circ}\,, \quad (4)$$

$$\Delta_{\text{пред},\circ} = 2\,\mathrm{atan}\left(\frac{m_{\text{пред}}}{2S_{\text{ср}}}\right), \quad (5)$$

$$m_{\text{пред}} = 2\div 3m_\Delta\,, \quad (6)$$

где: m_Δ – средняя квадратическая ошибка измерений; $S_{\text{ср}}$ – средняя длина стороны сети.

При реализации предлагаемого способа могут возникнуть следующие случаи.

<u>*Случай 1.*</u> Количество установленных устойчивых элементов сети с учетом ошибки измерения меньше, чем на 3 единицы превышает число так называемых ложных совпадений (ложная устойчивость, элементы имеют одинаковые нормали, но испытали поступательные смещения). 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 крайнем случае: отсутствия устойчивых элементов (совпадений положений элементов между циклами), которое обусловлено неправильной организацией наблюдений, например, большой временной разрыв между циклами наблюдений. При этом 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 процент его создания (100% - полная откопка) и, соответственно, 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.

Алгоритм вычисления отметок следующий. Точки, принадлежащие устойчивым элементам (звенья нивелирного хода или треугольники в плоскостном случае) принимают отметки предыдущего цикла. При этом вычисляются СКО измерений. Далее вычисляется отметки всех точек по отклонениям нормалей к элементам сети.

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 8).

На рисунке 8 приведен нивелирный ход. Высоты точек (1, 2…10) в цикле 0 и высоты точек (1’, 2’… 10’) в цикле 1. 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 отметки всех точек сети (хода), если известна отметка хотя бы одной точки. Этими точками в рассматриваемом способе являются точки, принадлежащие истинным (устойчивым, несмещенным элементам деформационной сети).

Схематизация приведенного алгоритма показана на рисунке 8 (для геодезической сети, показанной на рисунке 1).

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

В соответствии с основным нормативным документом (ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений) наблюдения за деформациями оснований фундаментов следует производить по специальной программе. Автор применил усовершенствования в трех этапах работ программы наблюдений, которые связаны с разработкой схем геодезических наблюдений (2-этап программы работ), инструментальными измерениями величин вертикальных перемещений (6-этап) и обработкой с анализом результатов наблюдений (7-этап).

Предложены схемы наблюдений с использованием электронных тахеометров. На рисунке 9 показана общая схема наблюдений с помощью электронного тахеометра для линейного случая (наблюдения по профильным линиям).

Примером могут служить разные объекты: мосты, автомобильные или железные дороги и т. д. При этом не обязательно рассматривать прямолинейные объекты. Линейный случай может быть реализован для контура здания, при этом просто будет ломанный криволинейный нивелирный ход или линейно-угловые тахеометрические измерения.

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

Электронный тахеометр устанавливали на точках М1...М5 и выполняли определение отметок точек 1, 2 ... 10 тригонометрическим способом. При этом измерения с каждой точки М были независимыми. Решалась задача: выявление зависимости точности наблюдений от количества станций (точек М). Это важно для принятия определенной схемы, соответствующей заданным требованиям точности. Рассмотрено в экспериментальном режиме применение 2, 3, 4 и 5 станций.

После уравнивания результатов измерений, которое сегодня можно выполнять с привлечением сертифицированного программного обеспечения, например с применением ПК «Кредо», результаты (отметки деформационных марок) используют для сравнения с данными предыдущего цикла по разработанному способу оценки вертикальных смещений.

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 рисунке 10 показана схема наблюдательной станции.

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).

Описание практического эксперимента

Первый участок мониторинга изображен на рисунке 11, №1. Объектом наблюдений является автодорога на ул. Нго Минь Зуонг рядом с парком Хоа Бинь и проспектом Фам Ван Донг; район Бак Ты Льем, Ханой.

Второй участок мониторинга изображен на рисунке 11, №2. Объектом мониторинга является здание общежития Ханойского университета природных ресурсов и окружающей с

1. Геометрическое нивелирование

Проведено нивелирование III класса всех реперов и деформационных марок участков №1 и №2.

Таблица 1 – Результаты нивелирования III класса на участке №1

Нивелирование Ni-004				
Начальный пункт	Конечный пункт	Превышение		Расстояние(м)
		Прямом(м)	Обратном(м)	
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

Участок №1. Сумма сторон хода: 570,250 м. Невязка: 2,6 мм. Предельная погрешность: 7,5 мм.

Таблица 2 – Результаты нивелирования III класса на участке №2

Нивелирование Ni-004				
Начальный пункт	Конечный пункт	Превышение		Расстояние (м)
		Прямом (м)	Обратном (м)	
GPS-01	GPS-03	0,141090	-0,141150	116.787
GPS-03	GPS-04	-0,274638	0,273738	76.048
GPS-04	GPS-02	0,171415	-0,171938	137.134
GPS-02	GPS-01	-0,037590	0,037440	67.216

Участок №2. Сумма сторон хода: 397,186 м. Невязка: 1,1 мм. Предельная погрешность: 6,3 мм.

2. Электронная тахеометрия

Наблюдения с помощью электронных тахеометров с угловой точностью 3" и 5" (рисунок 12) велись на участках №1.

Измерения высот точек на рисунке 11 производятся в соответствии со следующей схемой: электронный тахеометр располагается последовательно в точках М1…М5 (максимальное количество таких станций – 5). Затем вычисляют СКО между точками измерений согласно аппарату формул, описанному в 2.2.2. Полученные результаты показаны в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты оценки точности при использовании Topcon GTS-225 на участке №1

№	**Средне Значение** (м)	**[v²]**	**m**	**M**	**m_M**	**$m_{пред}$**	**m_h**
QT1	10,0202	0,002519	0,025094	0,011222	0,003968	0,075281	0,03502
QT2	10,01075	0,001791	0,024432	0,012216	0,004987	0,073296	0,03462
QT3	10,0238	0,002407	0,02453	0,01097	0,003878	0,073589	0,03487
QT4	10,0126	0,002459	0,024795	0,011089	0,00392	0,074385	0,03413
QT5	10,0116	0,002201	0,023458	0,010491	0,003709	0,070375	0,03314
QT6	10,0092	0,002193	0,023414	0,010471	0,003702	0,070241	0,03215
QT7	9,9980	0,001942	0,022034	0,009854	0,003484	0,066102	0,03304
QT8	10,0220	0,002426	0,024627	0,011014	0,003894	0,073882	0,03535
QT9	10,0475	0,001931	0,025371	0,012685	0,005179	0,076112	

Таблица 4 – Результаты оценки точности при использовании Sokkia SET3x на участке №1

№	**Среднее Значение** (м)	**[v²]**	**m**	**M**	**m_M**	**$m_{пред}$**	**m_h**
QT1	9,9924	3,52E-05	0,002966	0,001327	0,000469	0,008899	0,00396
QT2	9,9968	2,08E-05	0,002630	0,001315	0,000537	0,00789	0,00407
QT3	10,0043	3,88E-05	0,003114	0,001393	0,000492	0,009343	0,00430
QT4	9,9886	3,52E-05	0,002966	0,001327	0,000469	0,008899	0,00414
QT5	9,9850	3,35E-05	0,002894	0,001294	0,000458	0,008682	0,00399
QT6	9,9830	3,02E-05	0,002748	0,001229	0,000435	0,008244	0,00394
QT7	9,9784	3,19E-05	0,002824	0,001263	0,000446	0,008471	0,00414
QT8	9,9984	3,69E-05	0,003037	0,001358	0,00048	0,00911	0,00560
QT9	10,0253	6,67E-05	0,004717	0,002358	0,000963	0,014151	

Результаты обработки наблюдений представлены графически (рисунок 13). На рисунке отображены погрешности m, полученные для всех реперов QT1, QT2, … QT9.

СКО для тахеометра с угловой точностью 3" не превышают 5 мм, в то время как СКО для тахеометра с угловой точностью 5" достигают 35 мм. Необходимо учесть, что допустимая СКО при нивелировании III класса составляет 5 мм/км, что и было обеспечено в рамках проведенных наблюдений.

На рисунке 14 приведен график зависимости СКО от количества станций при проведении наблюдений с помощью электронного тахеометра Sokkia SET3x (угловая точность 3").

Таблица 5 – Результаты оценки точности при использовании тахеометра Sokkia SET3x на участке №1

№	**Среднее Значение** (м)	**m_h** (мм) (2 станций)	**m_h** (мм) (3 станций)	**m_h** (мм) (4 станций)	**m_h** (мм) (5 станций)
QT1-2	9,9924	8,253	5,965	4,888	4,301
QT2-3	10,0043	8,253	5,852	4,811	4,301
QT3-4	9,9886	7,754	5,575	4,654	4,144
QT4-5	9,9850	7,550	5,436	4,518	3,990
QT5-6	9,9830	7,650	5,495	4,499	3,940
QT6-7	9,9783	7,851	5,662	4,765	4,146

Подтверждено практически, что при увеличении количества станций точность возрастает; при съемке с 2-3 станций СКО

превышает 5 мм, а при проведении наблюдений с 4-5 станций снижается до 3-4 мм.

На рисунке 15 приведен пример реализации разработанного способа оценки вертикальных смещений. Показана схема деформационной сети и наглядное представление разницы отметок в циклах наблюдений 0-1-2.

Таким образом, проведенные исследования показали какая точность получается при использовании разного количества свободных станций и применения разных по точности тахеометров. Приведенные данные позволяют ориентироваться при организации наблюдений по выбору прибора и схемы наблюдений при реализации предлагаемого способа оценки вертикальных смещений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. 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 исключающего потерю всей станции, а также обеспечивающего 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. 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.

5. Разработаны технологические схемы геодезических наблюдений со свободных станций геометрическим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от допусков и точности приборов.

6. Разработанная методика и ее элементы прошли проверку в натурных условиях в ходе экспериментальных исследований и практических наблюдений на нескольких объектах во Вьетнаме.

7. Дальнейшее развитие исследований представляется в разработке методики, ориентированной на оценку смещений в трехмерном пространстве на объемных моделях.

По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них:
в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. 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.

2. 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. – С. 89–96.

3. Мустафин М.Г. Способ оценки вертикальных смещений оснований заданий и сооружений / М.Г. Мустафин, Х.В. Нгуен // Естественные и технические науки. – 2018. – № 11. – С. 92–99.

4. 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.

В других изданиях

5. Нгуен Х.В. Особенности организации мониторинга вертикальных смещений деформационной сети во Вьетнаме / Х.В. Нгуен, М.Х . Чан, Т.Ш Чан // Актуальные вопросы науки: Материалы XXX Международной научно-практической конференции. – М. : Издательство «Спутник +», 2017. – С. 105–107.

6. 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.

7. 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.

8. Нгуен Х.В. Метод оценка вертикальных смещений земной поверхности на основе изучения деформирования элементов модели система реперов / Х.В. Нгуен // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: Сборник статей по итогам Международной научно - практической конференции. - Стерлитамак: АМИ, 2017. – С. 57–58.

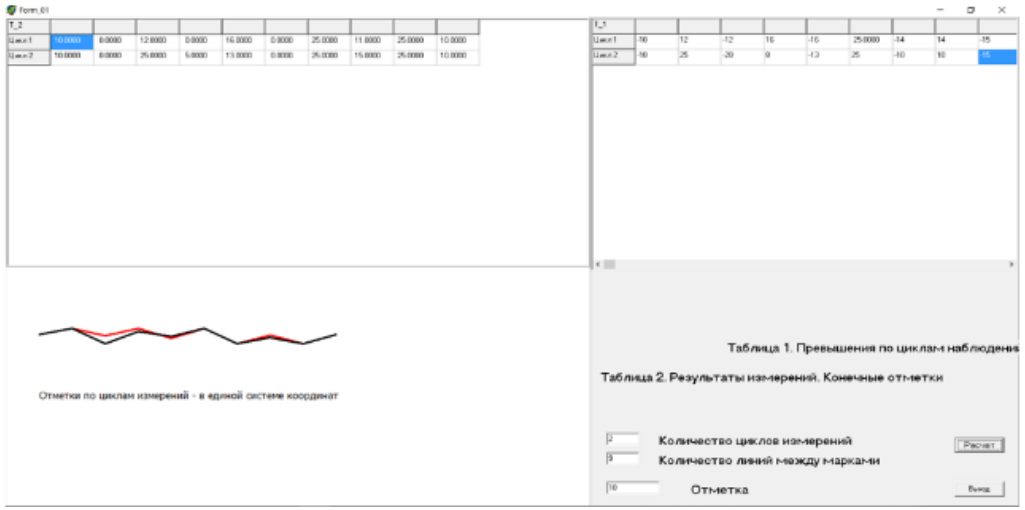

Рисунок 1– Программа для определения отметок реперов по результатам измерений превышений в двух циклах

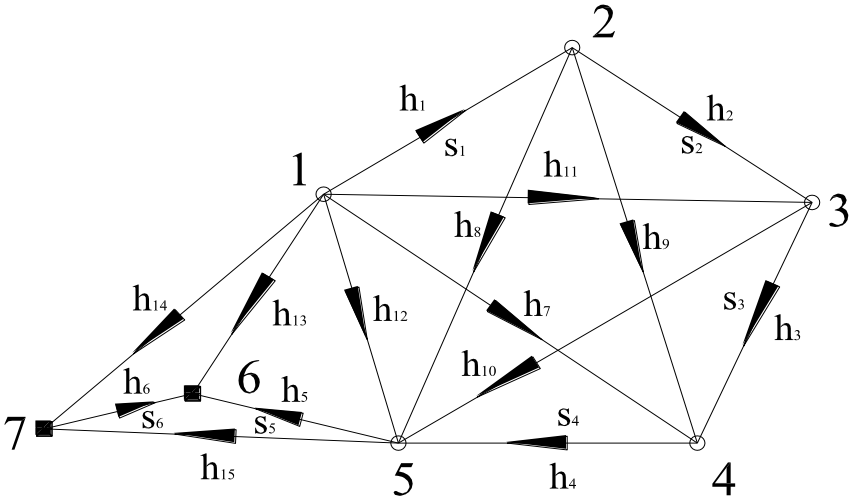

Рисунок 2 – Схема деформационной сети

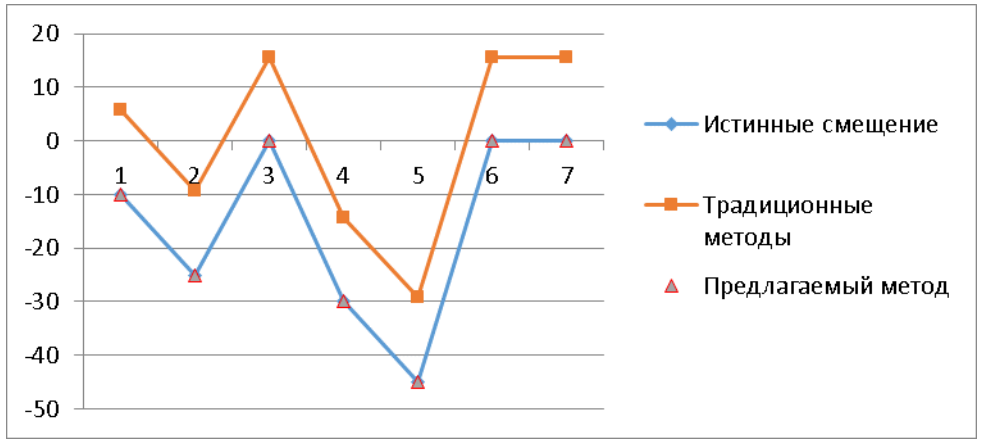

Рисунок 3 – Результаты оценки деформационного процесса по варианту 1

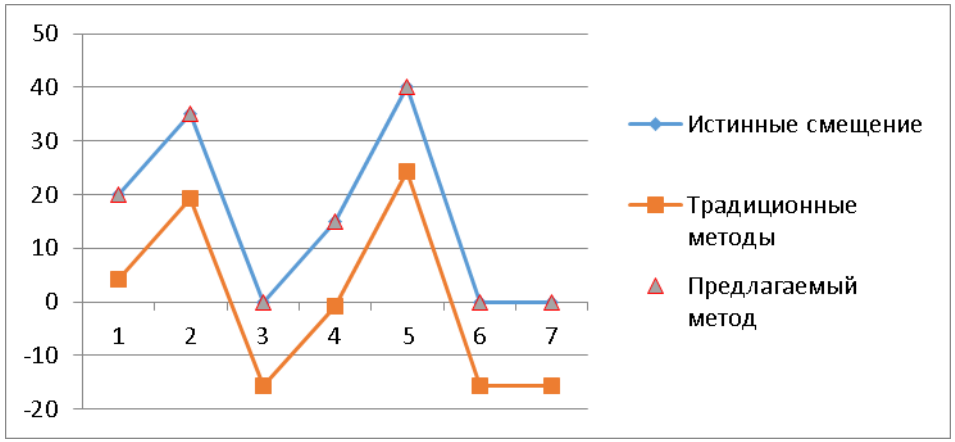

Рисунок 4 – Результаты оценки деформационного процесса по варианту 2

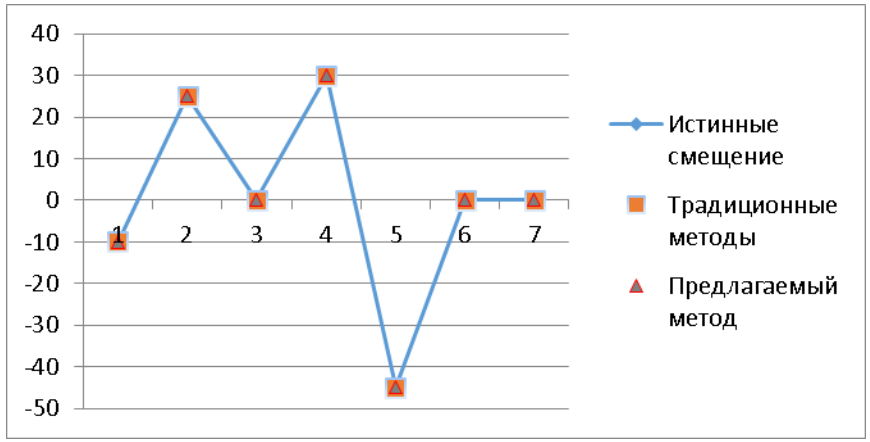

Рисунок 5 – Результаты оценки деформационного процесса по варианту 3

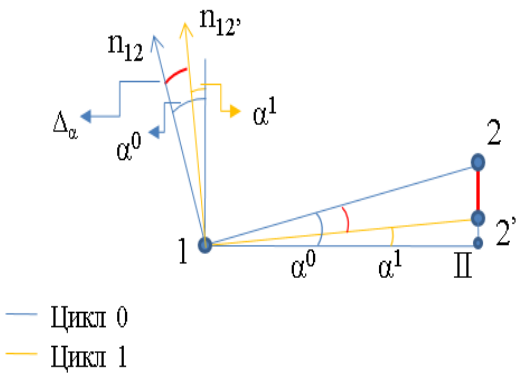

Рисунок 6 – Схема возможных изменений угла наклона линии между реперами 1 и 2

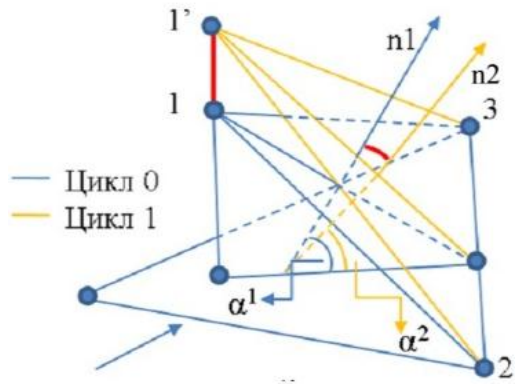

Рисунок 7 – К расчету угла между нормалями к плоскостям в разных циклах

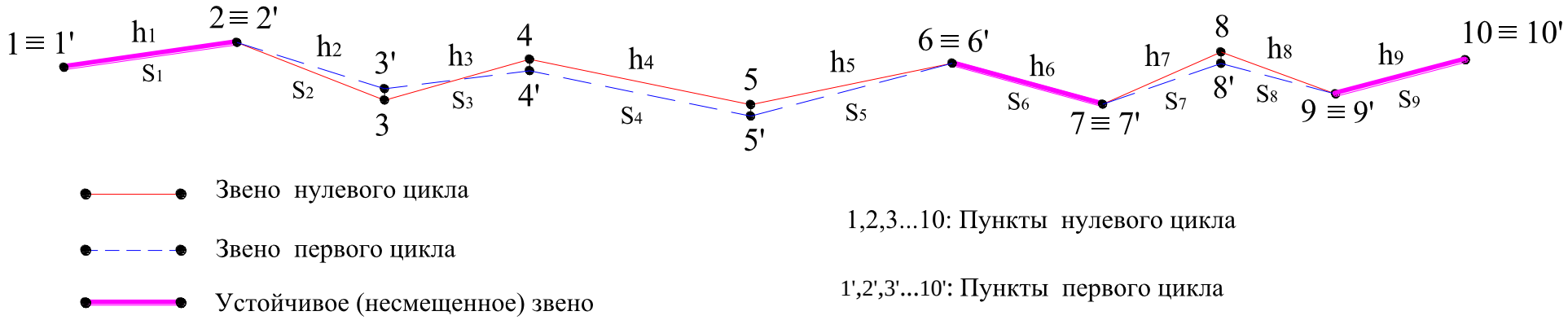

Рисунок 8 – Схема определения устойчивых элементов сети

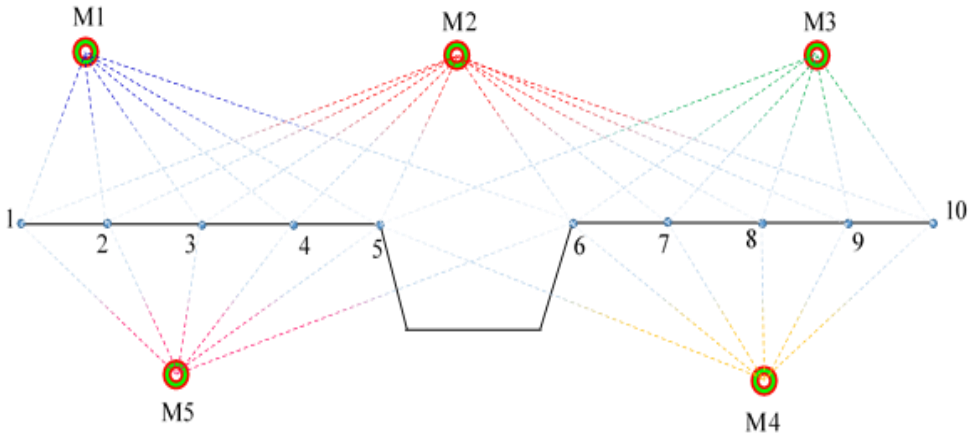

Рисунок 9 – Схема наблюдательной станции. Линейный случай

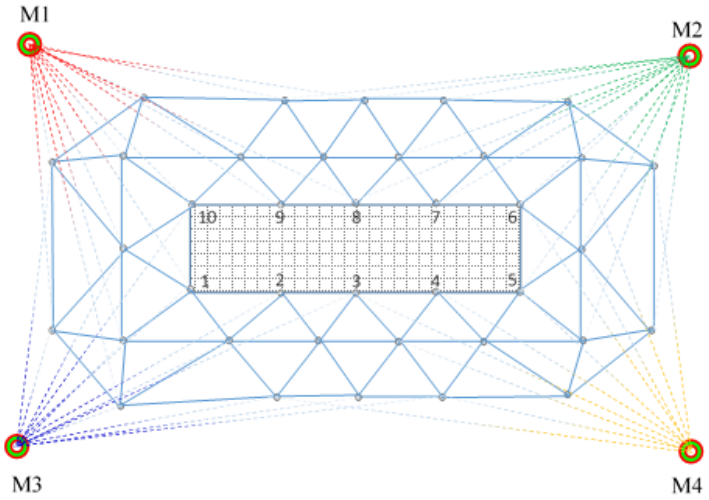

Рисунок 10 – Схема наблюдательной станции для плоскостного случая

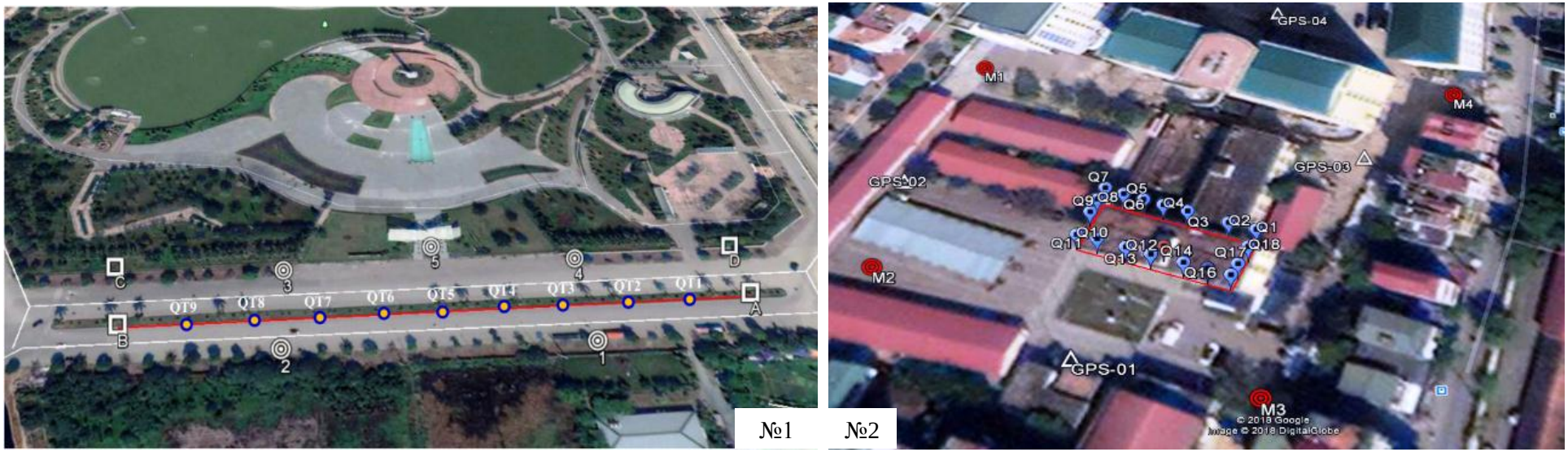

Рисунок 11 – Участки №1, №2 экспериментальных исследований (Ханой)

Рисунок 12 – Электронные тахеометры (а) – Topcon GTS-225-(5"), (б), (в) – Sokkia SET3x(3")

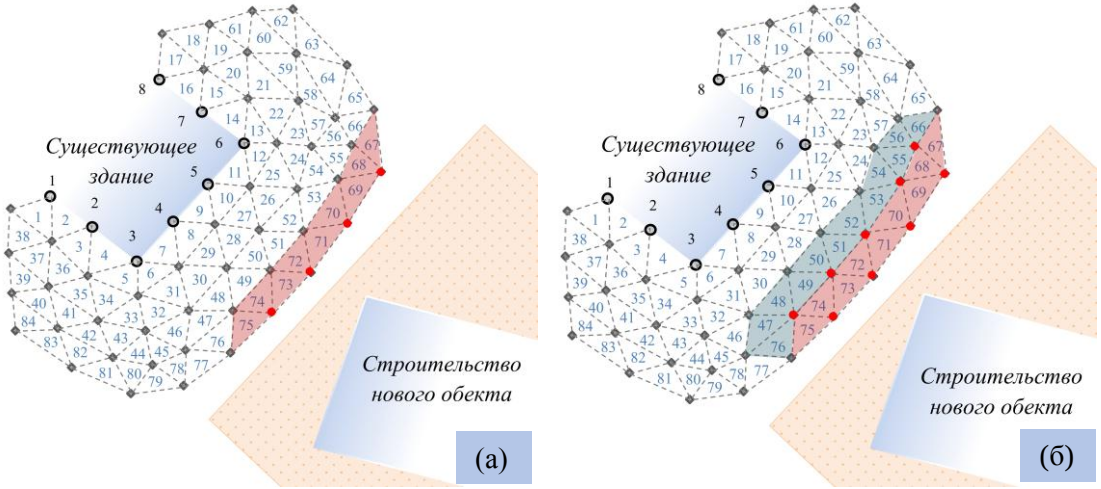

Рисунок 15 – Схема деформационной сети и наглядное представление применения разработанного способа (зоны неустойчивых элементов показаны серым и красным цветом, не закрашены устойчивые элементы, а – после 1-го цикла, б – после 2-го цикла)

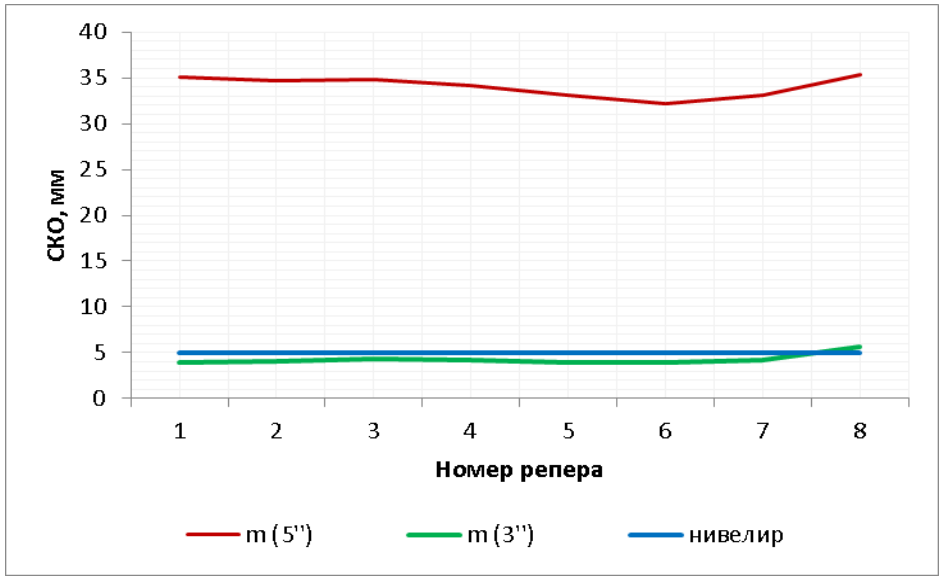

Рисунок 13 – Погрешности измерений электронными тахеометрами и нивелиром (участок №1)

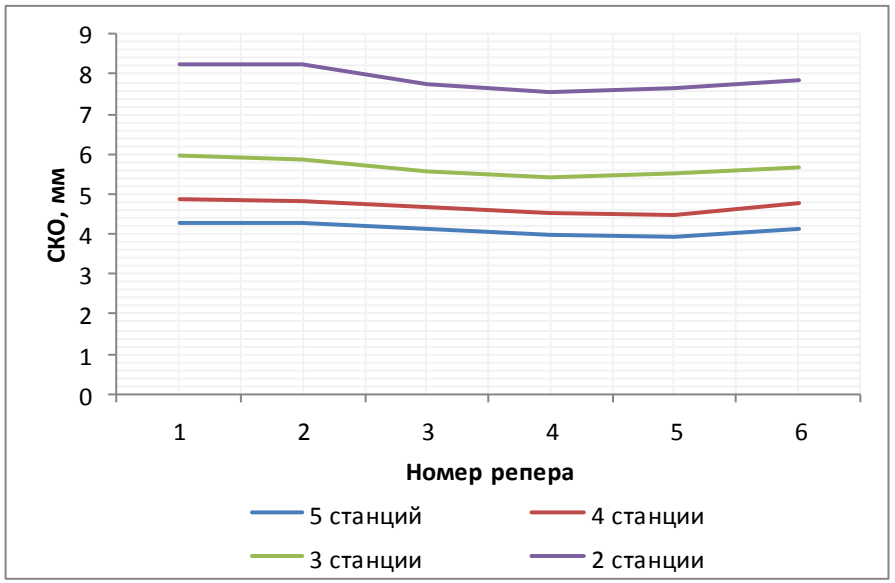

Рисунок 14 – Погрешности измерений электронным тахометром с угловой точностью 3" с разного количества станций