

**ВЫСШЕЕ И СРЕДНЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ**

УДК _____

На правах рукописи

КОБИЛОВ ЖАСУР ШАВКАТОВИЧ

**АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УРАВНИВАНИЯ,
ПЛАНОВО-ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

5А311502 – ГЕОДЕЗИЯ И КАРТОГРАФИЯ

Диссертация на соискание ученой степени академик магистра

На заседании кафедры

“геодезии и кадастра” за № _____

“ _____ ” _____ 2013 г.

Была рассмотрена

И допущена к защите

Зав. Кафедрой:

_____ доц. Бобожанов А.Р.

« _____ » _____ 2013 г.

Научный руководитель :

_____ к.т.н, доц. Жураев Д.О.

ТАШКЕНТ - 2013

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫСОТНЫХ И ПЛАНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	6
1.1. Классификация осадок и деформаций инженерных сооружений.....	6
1.2. Методы определения деформаций инженерных сооружений.....	11
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ	19
2.1. Параметрический способ уравнивания.....	19
2.2. Основы рекуррентного уравнивания.....	22
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	26
3.1. Эффективный алгоритм для анализа деформаций методом последовательного объединения циклов.....	26
3.1.1. Реализация алгоритма.....	31
3.1.2. Результаты эксперимента проведенного при апробации данного алгоритма.....	33
3.1.3. Общие сведения об объекте.....	34
3.1.4. Физико-географические условия района работы.....	34
3.1.5. Производство геодезических работ в районе строительства.....	36
3.2. Апробация программы для анализа высотных деформаций.....	50
3.3. Достоверность работоспособности составленной программы для анализа высотных деформаций.....	58
Вывод по третьей главе.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
ЛИТЕРАТУРА	63
ПРИЛОЖЕНИЯ	70

Введение.

В основных направлениях экономического и социального развития нашей республика Узбекистан в последние годы ставится задача обеспечения экономического прогресса общества, глубоких качественных сдвигов в материально-технической базе, на основе ускорения научно-технического прогресса, интенсификация производства, повешения его эффективности. Выполнение этой задачи, а немалой степени будет завесить конкретных вопросов, решаемых каждой отраслью народного хозяйства нашей страны.

В связи с этим много задач предстоит решить и геодезистам, особенно в области прикладной геодезии. Строительство современных инженерных сооружений требует повышенной точности геодезических работ. Это обстоятельство заставляет геодезистов совершенствовать существующие и разрабатывать новые методы измерений и алгоритмы обработки этих измерений.

Не менее каждым резервом повышения точности и эффективности геодезических работ являются совершенствование разработка методов обработки геодезических измерений.

Обработка измерительной информации на компьютере по современным программам позволяет в короткие сроки выполнить вычислительные операции и произнести их анализ, что позволяет производительность труда.

Данная диссертационная работа посвящена вопросом разработки и совершенствования методам и алгоритмов обработки результатов геодезических измерений при наблюдении за осадками инженерных сооружений и определения величина деформации с целью получения более надежных результатов.

Для республики Узбекистан такие исследования проводятся впервые и все исследования, представленные в диссертации будут использоваться на практике, а алгоритмы будут внедрены в геодезическое производство.

Методика выполнения геодезических работ при наблюдения за осадками и деформациями инженерных сооружений хорошо изучена русских и зарубежных ученых геодезистов [3,9,13,20,46,48,50,53], а также в соответствующих нормативных документах [55,56,57,59]. Однако, несмотря на такую обширную литературу, имеется ряд вопросов, особенно в области математической обработки результатов наблюдений, которые решаются с каждым годом все больше и больше. К таким вопросам можно отнести:

1) проблема оценивания вертикальных перемещенной и уравнивания геодезических сетей, которые в последнее время все чаще создаются для наблюдений за осадками;

2) учет специфики движения некоторых объектов между циклами наблюдений с целью определения деформации;

3) проблема обработки наблюдений повторного характера и разработка для этого рекуррентных алгоритмов, которые предусматривали бы хранение и цикличности информации;

4) математическая оценка величин деформации на исследуемых объектах и их анализ;

5) разработка методики оптимального проектирования геодезических схем измерений на компьютере для наблюдений за осадками.

Решение этих и других вопросов позволило бы получить более достоверные результаты о ходе происхождении осадок, повысить точность их оценивания, обоснованию выбрать схему геодезических измерений.

На это же обстоятельство было обращено внимание в ряде статей [42,43,44,67,68,70]. Статья повышены проблемам обработки результатов геодезических измерений в общем и в частности при наблюдения за

осадками и деформациями сооружений. Поэтому решение вышеприведенных вопросов автором, положено в основу диссертационной работы.

Диссертация состоит из трех глав, заключения и предложений.

В первой главе рассмотрены общие сведения о плановых и высотных деформациях инженерных сооружений, их классификация, а также методы их определения.

В главе II изложена математическая основа для анализа деформаций, описаны параметрический и рекуррентный способы уравнивания геодезических сетей. В заключении главы сделан вывод о достоинствах последнего способа уравнивания.

Главе III посвящена вопросам разработки алгоритма и составление программы для обработки и анализа на компьютере результатов наблюдений за высотными деформациями. Здесь же представлены результаты эксперимента проведенного на основе теоретических разработок и имеющихся геодезических данных по выполнению нивелирования на объектах подвергающихся деформация на конкретном объекте. В заключении этой главы сделан вывод об эффективности анализа деформации, выполненного по составленной программе по сравнению с результатами анализа, полученными традиционным методом.

В заключении подытожены результаты проделанной работы и даны конкретные рекомендации использованию составленных, руководителям диссертации к.т.н., доц.Жураевым Д.О программе.

В приложениях отражены результаты некоторых исследований, а также приведена программа, составленная доц.Жураевым Д.О на алгоритмическом языкех FORTRAN и BASIC для обработки результатов наблюдений за деформациями сооружений.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫСОТНЫХ И ПЛАНОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

1.1. Классификация осадок и деформаций инженерных сооружений.

Многолетний опыт по строительству зданий и сооружений и наблюдений за их состоянием показал, что все они в той или иной мере подвергаются осадкам и деформациям, основной причиной которых является деформация грунта в основании сооружения под действием вертикальной нагрузки от его веса. При этом выяснилось, что совершенно недеформируемых грунтов не существуют. Однако степень их сжимаемости под нагрузкой разная. Условно грунты можно разделить на три группы: [13]

- 1) Слабо сжимаемые, для которых средняя осадка здания $S_{cp} < 5\text{см}$, модуль деформации $E > 200\text{кг/см}^2$.
- 2) Средне сжимаемые, когда $S_{cp} = 5 - 15\text{см}$, $E < 200\text{ кг/см}^2$.
- 3) Сильно сжимаемые, для которых $S_{cp} > 15\text{см}$, $E < 75\text{ кг/см}^2$.

При деформации основания, сооружение может перемещаться как вниз (вверх), так и в стороны. При этом перемещение сооружения вниз называют осадкой, перемещение вверх-подъёмом (выпучиванием), а перемещение в сторону-горизонтальным смещением или сдвигом. Наиболее часто встречаемый вид перемещения сооружения является его осадка.

Различают осадки равномерные и неравномерные. Под равномерной осадкой понимают такую, когда сооружение всеми своими частями оседает на одну и ту же величину. При равномерной осадки необходимо одновременное выполнение двух условий:

- а) чтобы вес сооружения, совместно с установленным в нем оборудованием, был одинаков во всех точках;
- б) сжимаемость грунтов во всех частях основания под фундаментом одна и та же.

Обычно, не выполняется ни одно из условий и, таким образом, осадка в большинстве случаев практики бывает неравномерной. Как отмечено в [66],

равномерные осадки не снижают прочности и устойчивости сооружения, однако большие по абсолютной величине равномерные осадки могут привести к нарушению технологического процесса эксплуатации сооружения.

Более опасными в этом отношении являются неравномерные осадки. Даже небольшие по величине, они могут вызывать, например, расстройство механизма лифта для высотных зданий (13), а также перенапряжения отдельных несущих конструкций. Неравномерные осадки вызывают различные виды деформаций всего сооружения в целом и отдельных его частей.

К ним относятся [53,13]

а) Крен сооружения (для абсолютно жестких зданий), который представляет собой наклон или поворот основных плоскостей всего сооружения в результате неравномерных осадок без нарушения цельности и геометрической формы.

Крен сооружения может выражаться в угловой, линейной и относительной мере и характеризуется отклонением его вертикальной оси от отвесной линии. Величина продольного и поперечного крена вычисляется как разность осадок двух марок, установленных на крайних точках фундамента, отнесённая к расстоянию между ними.

$$K = \frac{S_1 - S_2}{L_{1,2}} = S_{cp}, \quad (1.1)$$

Где S_1, S_2 - осадки точек сооружения

$L_{1,2}$ - расстояние между точками.

б) относительный изгиб фундамента сооружения.

Различают два вида изгиба. При изгибе выпуклостью вверх значение стрелы прогиба принимается отрицательными, а сам изгиб называется выгибом. При изгибе выпуклостью вниз, стрела изгиба принимается положительной, а изгиб называется прогибом. Прогиб может быть симметричным, если максимальная величина его находится на середине

фундамента и несимметричным, если максимальная величина смещена в сторону одной из граней фундамента. Для симметричного случая величина относительного по формуле:

$$f_{\text{омн}} = \frac{2S_{\text{max}}(S_1 - S_2)}{2L_{1,2}}, \quad (1.2)$$

где S_{max} - максимальная осадка в центральной точке фундамента.

При несимметричном прогибе его относительная величина будет

$$f_{\text{омн}} = \frac{l}{L_1 + L_2} \left(\frac{(S_{\text{max}} - S_1) - (S_{\text{max}} - S_2)}{L_1 + L_2} + (S_{\text{max}} - S_2) \right), \quad (1.3)$$

где L_1, L_2 - расстояние от граней фундамента до точки максимального прогиба.

Таким образом, величину прогиба вычисляют по осадкам трёх марок, расположенных вдоль продольной или поперечной осей сооружения.

в) перекос конструкций - неравномерные осадки углов зданий могут вызывать дополнительные напряжения в несущих конструкциях, в результате чего появляются перекосы, приводящие к изменению геометрических форм оконных проёмов и смещению над фундаментом старений. Относительный перекос определяется из выражения:

$$П_{\text{омн}} = \frac{(S_1 + S_2)_{\text{max}}}{L_{1,2}}, \quad (1.4)$$

Где $(S_1 + S_2)_{\text{max}}$ - максимальная неравномерная осадка двух точек фундамента по направлению 1-2.

г) Кручение зданий – это довольно сложный вид деформации, напоминающий деформирование балок или волов машин в строительной механике, определяется по измерениям осадок в двух соседних сечениях поперечных стен.

$$v^n = \frac{\Delta S_{i+1} - \Delta S_i}{L_{j,j+1}} * S'', \quad (1.5)$$

Где ΔS_i и ΔS_{i+1} - разность осадок в i -ом и $i+1$ сечениях,

$L_{i,j} + 1$ - расстояние между сечениями.

Чем больше неравномерность в конструкциях сооружения.

По степени чувствительности, к неравномерным осадкам существующие многочисленные типы зданий и сооружений делят на две категорий [53]:

1) Малочувствительные. К такой категории относятся:

а) конструктивно абсолютно жесткие сооружения, которые не имеют никаких относительных деформаций и оседают как одно пространственное целое или равномерно, или с креном (например, дымовые трубы железобетонные башни и т.п.).

б) конструктивно нежесткие сооружения, элементы которых слабо связаны друг с другом и взаимное перемещение которых, вследствие неравномерности осадок фундаментов, не вызывает дополнительных напряжений в элементах конструкций (отдельные колонны на отдельных фундаментах).

2) Чувствительные, категория к которой относятся:

а) вполне жесткие сооружения, состоящие из связанных между собой во всех направлениях элементов, образующих замкнутые контуры (здания с несущими кирпичными стенами, связанные между собой капитальными стенами);

б) относительно жесткие сооружения, состоящие из элементов, жестко связанных между собой не по всем направлениям, которые весьма чувствительны к неравномерным осадкам (рамы, мало связанные междуэтажными перекрытиями).

Чем значительнее разность осадок частей сооружения и чем чувствительнее к ним конструкции, тем большая опасность возникает при эксплуатации такого сооружения. На основании опыта и расчетов для

каждого здания и сооружения формируются предельно допустимые величины осадок и деформаций [43,53].

Современный этап развития народного хозяйства характеризуется появлением объектов, отличительной особенностью которых, является высокая чувствительность к осадкам с точки зрения нормального режима технологического процесса. Исходя из [3,9] такие объекты требуют постоянного наблюдения за стабильностью взаимного положения отдельных элементов оборудования, составляющего единую технологическую схему. Поэтому для определения величин деформаций инженерных сооружений и установленного в них оборудования, организуются натурные наблюдения, на основе которых решаются в основном следующие научные и практические задачи [18]:

а) определить степень устойчивости основания и сооружения в период его строительства, что может способствовать корректировке производства строительных работ;

б) выявить степень деформации сооружения в эксплуатационный период с целью принятия соответствующих профилактических мер обеспечения нормального технологического режима работы;

в) проверить и уточнить методы расчета оснований и фундаментом сооружений на различных грунтах с целью дальнейшего совершенствования проектных решений;

г) изучить закон деформаций в различных условиях для разработки методики их прогнозирования.

1.2 Методы определения деформаций инженерных сооружений.

По своей структуре общий комплекс работ по наблюдениям за деформациями сооружений подразделяется на две группы [13]:

1) Физико-механические наблюдения, к которым относятся:

- исследование физико-механических свойств грунта;
- измерение температуры фундамента;
- колебаний уровня грунтовых вод и т.п.

2) Собственно измерения осадок и деформаций инженерных сооружений, которые могут проводиться как геодезическими, так и негеодезическими методами.

Обычно негеодезическими методами измеряют величины относительных осадок или деформаций. Приборы для таких измерений устанавливаются непосредственно на сооружениях. К таким приборам относят: клинометры, щелемеры, микро кренометры, девиометры и другие. В Узбекистане, где геодезический метод глубоко не изучен, часто используют негеодезические методы для определения деформации (для измерения щелей).

Однако, основными методами при измерении осадок и деформаций инженерных сооружений являются геодезические. Они позволяют определять не только относительные перемещения точек, но также их абсолютную величину к практически неподвижным знакам геодезической основы.

К геодезическим методам определения осадок и деформаций зданий и сооружений относятся:

- 1) геометрические нивелирование I и II класса;
- 2) гидростатическое нивелирование;
- 3) тригонометрическое нивелирование;
- 4) створные наблюдения;

- 5) триангуляция;
- 6) современный метод с использованием спутниковых методов;

Проведем короткий анализ отдельно для каждого из этих методов:

Метод гидростатического нивелирования позволяет определить превышения с высокой точностью, порядка 0,01мм. производить наблюдения между точками при наличии препятствий между ними. Однако, он может использоваться лишь в стационарных помещениях с хорошими метеорологическими условиями. Это является существенным недостатком этого способа, ограничивающего его широкое применение на практике.

Метод тригонометрического нивелирования применяется для определения вертикальных смещений отдельных, открытых труднодоступных точек сооружения. Точность данного метода ниже точности геометрического и гидростатического нивелирования, поэтому он используется сравнительно редко.

Метод триангуляции – удобный метод для определения линейных смещений.

Створные методы наблюдения – пол створными измерениями понимают совокупность действий по определению положения одной или нескольких точек относительно прямой линии, задающей створ.

Визирный створ I-II закрепляют на местности неподвижными опорными знаками. Длина створа не должна превышать 500 м. При большей длине створа его разбивают на полу створы или четверть створы. До начала наблюдений приборы должны быть исследованы и проверены в соответствии с требованиями инструкций и паспортов их величина планового смещения. А наблюдаемых марок определяется как разность отклонений марки q от створа в двух циклах измерений.

$$A = q_2 - q_1, \quad (1.6)$$

где q_1 – отклонение от створа в первом цикле измерений;

q_2 – отклонение от створа во втором цикле измерений.

Отклонения от створа (нестройности) можно определить с применением подвижной визирной цели, неподвижной визирной цели.

Геодезический метод с использованием спутниковых технологий основанных на GPS приемников. Этот метод в настоящее время может быть использован для определения деформаций, как на обширных территориях, так и на локальных участках. Важной особенностью спутниковых определений является их оперативность и синхронность выполнения измерений, и это обстоятельство дает возможность определить деформационные изменения на всем исследуемом участке одновременно с той точностью может дать используемая спутниковая аппаратура и методика обработки спутниковых измерений. В основу любых деформационных определений заложен принцип одновременности измерения смещений или определения осадок сооружений. Другой важной особенностью спутниковых определений деформаций является трёхмерные данные по координатам, то есть мы можем одновременно определить как плановые, так и высотные деформации.

Метод геометрического нивелирования является наиболее распространенным из геодезических методов измерения осадок. Основными его достоинствами являются высокая точность и простота в производстве работ, с не большим числом людей проводить измерения для любого количества доступных точек на сооружений в любых погодных условиях.

Поэтому в этой работе введены исследования и разработки применительно к двум методам определения и анализа деформации:

- метод геометрического нивелирования;
- метод определения плановых деформации с использованием современной спутниковой аппаратуры.

Как известно, методика геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками имеет ряд особенностей [13,45]. Условия, при которых выполняется, наблюдаются за деформациями сооружений,

существенно отличаются от полевых условий при производстве государственного нивелирования. Такие факторы, как сотрясение от работы машин, транспортное движение, неравномерная освещенность помещений, потоки неравномерно нагретого воздуха затрудняют работу и снижают точность измерений. В этих условиях не всегда удаётся применить методику высокоточного нивелирования, предписываемую инструкцией [24]. В частности, соблюдать длину визирного луча равного 50 м. и передавать отметки по двум парам костылей, в условиях строительной площадки бывает, как правило, невозможно. Специфика измерений состоит также и в том, что необходимо определять осадки точек сооружения, расположенных на расстоянии от 5 до 25 метров друг от друга.

Именно поэтому, при наблюдениях за осадками применяют нивелирование короткими плечами. Это обстоятельство, казалось должно привести к увеличению средней квадратической ошибки в превышениях на I км. Хода, однако, этого не происходит, так как при нивелировании короткими лучами ослабляется влияние ошибок внешних условий (рефракция, конвекция и др.) и также повышается точность отсчета по рейке [13]. Ещё одна особенность наблюдений за осадками сооружений состоит в том, что общая длина хода при нивелировании редко достигает I км. В этом случае теряет смысл средняя квадратическая ошибка превышения на I км. хода, которая применилась, как средняя квадратическая ошибка единицы веса при государственном нивелировании. Поэтому, для целей правильного установления весов измеренных элементов, возникла необходимость принять за среднюю квадратическую ошибку единицы веса другую, более подходящую величину. В условиях нивелирования коротким лучом и определения осадок близлежащих точек, за такую величину удобно принять среднюю квадратическую ошибку превышения, определенного на станции. Однако, точность от длины луча визирования и во вторых, от числа независимо измеряемых на одной станции превышении. Например,

превышение, определенное при одном и двух горизонтах нивелира имеют различную точность. Как показали исследования ряда авторов [13,20,40,45] и опыт работ по наблюдению за осадками, в Российской Федерации, наиболее удобно принять за среднюю квадратическую ошибку единицы веса, среднюю квадратическую ошибку превышения, полученного на станции как среднее арифметическое из превышении, вычисленных по основной и дополнительной шкалам реек, при одном горизонте инструмента, в ходе одного направления с определенной длиной луча визирования, то есть превышения

$$h = \frac{1}{2} (b_{\text{осн}} + h_{\text{доп}}), \quad (1.7)$$

Вопросы точности определения превышений в зависимости от длины визирного луча и числа измеренных на станции превышений, а следовательно, вопрос установления весов превышений – это отдельный вопрос. Здесь же кратко опишем общую схему определения осадок и деформаций сооружений с помощью метода геометрического нивелирования, которая состоит из следующих этапов:

1. Создание геодезической сети, состоящей из точек, закрепленных на сооружении (осадочных марок) и исходных реперов высотной основы (одного или нескольких);
2. Периодическое измерение превышений между точками сети методом высокоточного геометрического нивелирования;
3. Оптимальное оценивание параметров осадок и деформаций сооружений по результатам измерений;
4. Анализ результатов обработки и интерпретация.

Согласно первому этапу при создании геодезической сети, осадочные марки закрепляются обычно в местах, наиболее чувствительных к неравномерным осадкам и деформациям. Что касается размещения исходных высотных реперов, то здесь нет единых рекомендаций. Конечно чем ближе репер к сооружению, тем выше точность определения осадки, однако с

другой стороны и выше вероятность перемещения исходного репера. Поэтому, здесь важно оптимальное решение. В среднем, размер не должен быть удален от сооружения далее 0,5 км, а обычно это удаление составляет 100-200 м. чтобы иметь возможность передавать с него отметки при помощи трех, пяти инструмента (при длине плеча нивелирования равного 30 м).

На втором этапе между точками геодезической сети прокладываются ходы геометрического нивелирования, причем длина визирного луча при измерении превышений между осадочными марками составляет в среднем 10-15 метров, а при передаче отметок от исходных реперов, как отмечалось выше, в среднем 30 метров. Нивелирование производится периодически (по циклам). Расхождение между величиной одновременных превышений в разных циклах и является измерительной информацией о происходящих осадках (если конечно это расхождение выходит за пределы ошибок измерений).

Задачей третьего этапа является определение величин осадок и деформаций сооружений и их оценке точности, по результатам геодезических измерений. Поскольку результаты измерений всегда содержат случайные ошибки, т.е. являются случайными, то получить истинные значения для осадок и деформаций наблюдательных марок.

Поэтому приходится определять также случайные величины, которые называются в этом случае оценками неизвестных параметров (осадок, деформаций).

Наиболее распространенным методом получения таких оценок является метод наименьших квадратов. Он используется при обработке результатов измерений в каждом цикле или совместной обработке двух циклов. После обработки получают значения уравненных высот наблюдательных марок в каждом цикле или значения осадок для каждой марки. Одновременно получают и точностей показатели для получаемых оценок параметров или функций от них в виде средних квадратических

ошибок для каждой осадки, функции параметров, или ковариационную матрицу вектора осадок. Именно на основе метода наименьших квадратов лежат два способа уравнения, которые и являются математической основой этих исследований и разработок. Параметрический и рекуррентный способы уравнения результатов геодезических измерений основаны во второй главе диссертационной работы.

Третьей этап заключается в анализе полученных результатов, который должен дать ответ на вопросы, связанные с изучением поведения сооружения по времени и пространстве. Именно ответы на эти вопросы будут рассматриваться в третьей главах данной магистерской диссертационной работы.

Применяемые для исследования деформаций знаки, согласно [9,56], делят по назначению опорные, вспомогательные и деформационные, а также на плановые и высотные. Эти знаки, которые принято называть осадочными марками, перемещаются вместе с сооружением, и следовательно. По наблюдениям за ним можно судить о величине осадки отдельных частей сооружения.

Опорные знаки служат исходной основой. Определяющей схемы измерений. Закрепляют их с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальную стабильность и длительную сохранность. Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений и используются для передачи координат от опорных к деформационным. Размещение деформационных марок и опорных геодезических знаков является одной из основных частей всей работы по измерениям вертикальных и горизонтальных смещений отдельных точек сооружения. Деформационные знаки закрепляют непосредственно на исследуемом объекте. Они отражают изменение его положения в пространстве. От правильности размещения и количества знаков во многом зависят качество, полнота и однозначность выявления смещений, поэтому места установки должны намечать с

геодезистом с участием специалистов по основаниям и фундаментам, гидрогеологов и группы генплана проектной организации. Из ряда возможных вариантов размещения знаков, позволяющих одинаково полно выявить смещения, следует принимать наиболее благоприятные для геодезических работ.

Число деформационных знаков должно быть столько, сколько необходимо для полного описания процесса деформации. С геодезической точки зрения расположение знаков должно обеспечивать реализацию измерений с требуемой точностью (видимость, высоту визирования, длины плеч и т.п.).

Деформационные знаки для определения горизонтальных смещений на гражданских и промышленных зданиях размещают по периметру не реже чем 15-20 м. по углам и по обе стороны осадочных швов.

Проект размещения марок на сооружении составляют с учетом конструкции фундамента, нагрузки на отдельные части основания, геологических и гидрогеологических условий. Осадочные марки стремятся установить примерно на одном уровне, располагая их вдоль продольных и поперечных осей фундамента, в местах, где ожидаются наибольшие осадки: на стыках соседних блоков, по сторонам осадочных и температурных швов, вокруг зон с наибольшей динамической нагрузкой и зон с менее благоприятными геологическими условиями.

Плановые деформационные знаки- это в основном визирные цели, закрепляемые или непосредственно на конструкции здания, или на постоянных и съемных кронштейнах. Простейшие визирные цели имеют вид марок, на которые наносят биссектор, штрих или концентрические окружности, в полу сооружений – это металлические пластинки с перекрытием.

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ.

2.1. Параметрический способ уравнивания.

В геодезической практике число выполненных измерений всегда больше тех измерений, которые следовало бы сделать, чтобы получить искомые величины, например, величину деформация. Измерений, которых было бы достаточно для определения неизвестных в математическом понимании при обработке геодезических измерений называют необходимо. Разность. $r = n - k$ являются числом избыточных измерений.

Именно с избыточными измерениями в нивелирной сети и связана задача уравнивания, в результате мы можем найти величину деформации. Избыточные измерения позволяют не только проконтролировать, но и существенно повысить уравниваемых величине. В этом заключается их основное достоинство.

В основа параметрического способа [33] лежит функциональная зависимость между векторами y и x

$$Y = \varphi(X), \quad (2.1)$$

(2.1) - это исходное уравнение связи.

Система (2.1) может быть переопределено, если X и Y - ственные значения. Принципиально её решение можно представить в виде

$X = \psi(y)$. где. Ψ функция обратная к φ .

Главная трудность получения решения зависит от следующих причин:

-очень сложно подобрать функцию $\psi(y)$;

-вектор истинных значений y неизвестен.

В качестве этих значений будут высоты, которые определяются в следствии математической обработки.

Если функцию $\varphi(x)$ мы приведем к нелинейному виду путем разложения, а ряд Тейлора, то мы можем решить первую проблему.

В матричной форме для системы (II.1.) можно написать выражение

$$Y = \varphi(x^{(0)}) + A \Delta x + \xi, \quad (2.2)$$

1. где векторы $X^{(0)} = \begin{pmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \end{pmatrix}$. $\Delta X = x - x^{(0)}$,

а матрица A имеет выражение

2.
$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_1} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_k} \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_1} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_k} \\ \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_1} & \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial \varphi_n}{\partial x_k} \end{bmatrix} = \left(\frac{\partial \varphi(x)}{\partial x} \right)_0,$$

ξ - параметр, связанный с свободным членом.

Теперь систему (2.2.) пренебрегая остатком, дадим в виде

$$A \Delta x + L = 0, \quad (2.3)$$

$$\text{Где } L = \varphi(x^{(0)}) - y, \quad (2.4)$$

Система (2.3.) решается умножением её слева на матрицу A или для неравноточных измерений, на матрицу A , после этого мы получим систему нормальных уравнений.

$$R \Delta x + b = 0, \quad (2.5)$$

Где матрицы R и b имеют вид

$$R = A^T P A, \quad b = A^T P \bar{L}.$$

Так как ранг матрицы A $\text{ранг } A = K$, то матрица R положительно определена, тогда вектор $\Delta X = -R^{-1} b$.

Из-за нелинейности исходной функции, ошибки можно устранить применяя метод приближения в виде $X^{(\delta+1)} = X^{(\delta)} - R^{-1} A^T L^{(\delta)}$,

Где вектор $L^{(\delta)} = \varphi(X^{(\delta)}) - Y$.

Так как из-за ошибок измерений мы не знаем векторы Y и L , мы заменяем Y на измеренный y и получим систему $R\Delta X + b = 0$,

Где векторы $b = T^T P L$, $L = \varphi(X^{(0)}) - y$,

Получим решение в виде $\Delta T = -R^{-1} b$.

Поставив это выражение в (2.3) получим

$$A\Delta x + L = V,$$

V в этом случае обладает свойством

$$\Phi = V^T P V = \min. \quad (2.6)$$

Этот результат носит название леммы Гаусса. Если нет систематических ошибок, то математическое ожидание $M_y = y$, и требуется найти такие оценки для неизвестных X_j , чтобы они были несмещены $M_{x_i} = X_j$, и среди возможных несмещённых оценки обладали бы наименьшей дисперсией.

Условие несмещённой полностью может быть выполняю только для линейных функций.

Вопрос оценки точности следует начать с уравненного вектора полученного в результате вышеизложенных математических преобразований и сведения всех математических предположений дающих возможность получить наиболее вероятное решение и дать его оценку. Если уравнений вектор имеет выражение

$$X = X^{(0)} + \Delta x,$$

А корреляционная матрица вектора x_j $K_x = K_{(\Delta x)}$, то вектор $\Delta x = -R^{-1} A^T P L$.

На основе обобщений теоремы оценки точности получим выражение

$$K_{(\Delta x)} = R^{-1} A^T P K_L P A R^{-1} \quad K_L = K_y = \delta_0^2 P^{-1},$$

$$\text{Далее } K_{\Delta x} = \delta_0^2 R^{-1} A^T P P^{-1} P A R^{-1} = \delta_0^2 R^{-1} R R^{-1},$$

$$K_x = \delta_0^2 R^{-1} = \delta_0^2 Q,$$

где – обратная по отношению к матрице R. Но из определения корреляционной матрицы следует, что $\delta_{x_j}^2 = \delta_0^2 Q_j$,

Поскольку дисперсия единицею веса неизвестна, то её можно заменить средней квадратической ошибкой единице веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[P V V]}{n-k}}.$$

Таким образом, мы можем вычислить вместо дисперсия средние квадратические ошибки

$$M_{x_j} = \mu \sqrt{Q_{jj}},$$

или оценочные корреляционные матрице

$$M_0^2 = \mu^2 Q_{jj}.$$

Именно на этом основывается заключительный результат оценки точности полученных деформаций, по которым на основе анализа можно судить о качестве выполненных измерений и величине деформации.

2.2. Основы рекуррентного уравнивания.

С появлением новых технических возможностей определения положения пунктов, как в плане и по высоте, появилась возможность сохраняя стары данные присоединять к ним новые массивы данных. Такую задачу может решить рекуррентный метод уравнивания [71], в котором все весовые характеристика сохраняются в зависимости от ранее полученных точностей всех геодезических данных. Важным достоинством рекуррентного способа уравнивания является фильтрация грубых ошибок, которая выполняется на начальной стадии, что позволяет сохранить объем вычисления на компьютер и формировать матрицы для окончательной

обработки в том виде, котором мы можем получить окончательные результаты. Это факт важен качественным анализом выполняемых измерений, а также объективной оценкой точностью тех элементов сети в которых мы нуждаемся. В основу рекуррентного уравнивания геодезических сети, включающей $i-1$ измерений, лежат вектор неизвестных X_{i-1} , матрица обратных весов.

$Q X_{i-1} = Q_{i-1} = R_j^{-1}$ и квадратичная форма $\Phi_{i-1} = [V^T P V]_{i-1}$. Для данного условия имеется избыточные измерения, с весом P_i которые позволяют составить уравнение поправок $u_i = u_i \Delta x_i + b_i$ и составить систему нормальных уравнений $R_i \Delta x_i + b_i = 0$

На основные параметрического способа уравнивания матрицу R_i можно представить в виде

$$R_i = R_{i-1} + P_i q_i + a_i,$$

когда для получения матрицы обратных весов $Q_i = R_i^{-1}$,

применим тождество

$$(X + UYV)^{-1} = X^{-1} \pm X^{-1}U(Y^{-1} \pm VX^{-1}U)^{-1}VX^{-1}, \quad (2.7)$$

Тогда при $X = R_{i-1}$ $\gamma = P_i U = a^t$, $V = a_i$ матрица

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{1}{a_i} Z_i^T Z_i, \quad (2.8)$$

где вектор $Z_i^T = Q_{i-1} a_i$ и величина

$$g_i = \frac{1}{P_i} + a_i Z_i^T. \quad (2.9)$$

Для получения обратных весов рекуррентном уравнивании новые значения квадратичной формы равно

$$\Phi_i = \Phi_{i-1} + \frac{1}{g_i} L_i^2 \quad (2.10)$$

При соединении $i-1$ группа

Коррелированных измерений с системой уравнений поправок

$$V_i = A_i \Delta x_i + L_i \quad (2.11)$$

И матрицей весов P_i , матрицу коэффициентов нормальных уравнений можно представить в виде

$$R_i = R_{i-1} + A_i^T R_i A_i$$

И на основании тождества (2.8) получить, обратную матрицу

$$Q_i = Q_{i-1} - Z_i^T N_i Z_i \quad (2.12)$$

Где матрица $Z_i^T = Q_{i-1} A_i^T$ (2.13)

$$N_i = P_i^{-1} + A_i Z_i^T, \quad (2.14)$$

Вектор неизвестных в том случае равен

$$X_i = X_{i-1} - Z_i^T N_i^{-1} L_i \quad (2.15)$$

Квадратичная форма

$$\Phi_i = \Phi_{i-1} + L_i^T N_i^{-1} L_i \quad (2.16)$$

Для получения матрица обратных весов, которых имеет вид

$$Q \begin{pmatrix} X_{i-1} \\ Y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{i-1} & 0 \\ 0 & P_i^{-1} \end{pmatrix},$$

И также матрица перехода от векторов X_1 и Y_1 к вектору

$$T = \begin{bmatrix} \frac{\partial L_i}{\partial X_i} & \frac{\partial L_i}{\partial Y_i} \end{bmatrix} = (A_i - B),$$

И матрица обратных весов вектора L_1

$$Q_{i-1} = (A_i - E) \begin{pmatrix} Q_{i-1} & 0 \\ 0 & P_i^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_i^T \\ E \end{pmatrix} = P_i^{-1} + A_i Q_{i-1} A_i^T, \text{ а так как дисперсия}$$

любого составляющего $(L_i)_i$ вектора L_i будет критерием для получения $(N_i)_{ij,j}$ диагональкй элемент матрица N_i . Это условие мы берем в основу, когда во время измерения максимально исключаются систематические ошибки, а подвергаются уравнивания и корреляционному анализу только случайные ошибки, которые позволяют и результате уравнивания иметь матрицу обратных весов с наибольшей доверительной вероятностью.

Так как математическое ожидание вектора

$$M(L_i) = Q(X_{i-1}) - Y_i = Y_i - Y_i = 0$$

Без учета нелинейных членов разложения и ряд и при отсутствии систематических ошибок измерений, при нормальном законе распределения результатов измерений и известной матрице весов P_1 можно построить доверительных интеграл в виде

$$[(L_i)]_i - M[(L_i)] \leq t \tau^2$$

Что равносильно формуле

$$(L_i)_{\text{доп}} = \pm t\tau_0\sqrt{(N_i)_{ij}} \quad (2.17)$$

Если к сети присоединяется, только одно измерение, то, как частный случай получаем выражение $L_{i\text{доп}} = \pm\delta\sqrt{g_i}$

Последние две формулы позволяют в процессе рекуррентного уравнивания очень просто выполнять контроль грубых ошибок в измерительной информации, что является важнейшим достоинством рекуррентного уравнивания по сравнению с традиционным параметрическим способом (с составлением и решением системы нормальных уравнений).

Отметим основные преимущества рекуррентного уравнивания от традиционных способов (корреального, параметрического и приближенного).

Основные преимущества рекуррентного уравнивания являясь контроль грубых ошибок измеренный через свободные члены матрицы уравнений.

При реализации этого способа мы можем присоединить дополнительные измерения и выполнять при этом до уравнивание любой геодезических сети нивелирной или плановой .

В компьютере нет необходимости хранить большие массивы матриц а тем самым экономить память и более оперативно получать конечную информацию.

Рекуррентное уравнивание обладает таким рядом преимуществ, которые ставит этот способ более современным, экономическим и точным.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

3.1. Эффективный алгоритм для анализа деформаций методом последовательного объединения циклов.

Обратная матрица, с помощью которой необходимо решать задачи по выявлению деформаций предусмотренных данным алгоритмом имеет вид

$$\overline{Q}_s = \begin{pmatrix} \overline{Q}_{s-1} & 0 \\ 0 & Q_s \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

в которой блок \overline{Q}_{s-1} относится к неизвестным \overline{X}_{s-1} уже объединенных циклов $1 \dots s-1$, а аналогично блок Q_s , относится к циклу s . Условное уравнение в рекуррентной формуле

$$(\delta X_{s-1})_i + (\delta_s)_i + \omega_i = 0 \quad (3.2)$$

по каждой из осей координат для стабильных пунктов уравниваемой нивелирной сети. Следует отметить, что веса имеют значения $1/\rho = 0$, что в итоге даёт возможность получить матрицу $\omega_i = (X_{s-1})_i - (X_s)_i$

Q_s и вектор X_s . Все это сделано для того, чтобы при дополнительной информации к уравниванию и проведения детального анализа высотных деформаций. Если в этом случае величина недопустима, то мы можем сразу сделать вывод, что имеются высотные деформации, которые данным способом можно детально анализировать. При проведении такого анализа, если сдвиги реперов не обнаружены, в различных циклах заранее нами организованы, то будет справедливо равенство

$$\overline{Q}_s = \frac{1}{s} Q_s = 1 \quad (3.3)$$

Следует отметить, что при рекуррентном уравнивании особенно при объединении циклов повышается точность координат пунктов даже тех, которые во время анализа признаны подвижными или деформированными. Важным в данном случае является то, что при анализе деформации можно выявить деформации \min \max при конкретной точности выполненных измерений, при этом грубые измерения будут отфильтрованы на начальном этапе уравнивания. Именно это обстоятельство позволяет более качественно и объективно выполнять уравнивание нивелирной сети и провести детальный анализ деформаций.

Используя формулу

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{1}{N_i} Z_1^T Z_i, \quad (3.4)$$

находим матрицу объединенных циклов, в которой

$$a = (0.0.1.0.0.0.- 1.0.0).$$

в этом случае $N_1 = a_i Z_i^T$, и поправки к неизвестным при рекуррентном уравнивании вычисляем по формуле. $\Delta = \frac{1}{N_i} Z^T \omega_i$, а вектор неизвестных объединенных циклов $\bar{X}_s = X_{s-1} + \Delta_x$

В рекуррентном уравнивании необходимо получать обратные матрицы и при учете каждого i -го условия для стабильных пунктов это является недостатком и в этом случае надо работать с матрицей

$$\bar{Q}_s = \begin{pmatrix} Q_{s-1} & Q_{s-1,s} \\ \text{sim} & s \end{pmatrix}.$$

Правый верхний блок требует значительного объема вычислений и компьютерной памяти, если нивелирная сеть состоит из большого количество пунктов.

Стабильные пункты определяются с помощью диагональных элементов последовательно составленной матрицы N , в последующем они являются преобразованными величинами как $N_i = a_i Z_i^T$. В магистерской диссертационной работе исследуется каким способом более надёжно уравнивать и оценивать результаты измерений, при наблюдении за

деформациями с последующим получением величин возможных деформаций инженерных сооружений. Анализируя высотные деформации с использованием данного алгоритма, вектор поправок результатов измерений которыми являются уравнения в каждом цикле неизвестные X_{s-1} определяются по формуле $\Delta = \frac{1}{N_i} Z^T \omega_i$.

Значение $Z = \begin{pmatrix} Q_{s-1} \\ s \end{pmatrix}$ составляется из колонок матрицы (3.1.), относящихся только к стабильным пунктам. Именно эти параметры являются фактором устойчивости реперов при исследовании деформационных марок, которые мы проверяем.

При оценке точности в данном алгоритме есть некоторая аналогия с корреальным уравнением. Так как имеется некоторое сходство, а матрица

$$Q_F = fQf^T - fQB^T B^{-1} N^{-1} Qf^T,$$

Что в матричной форме имеет вид

$$Q = Q - Z^T N^{-1} Z. \quad (3.5)$$

то есть анализируя данную формулу мы видим, что корреальной алгоритм имеет большой объем вычислений из-за обращения матрицы N и перемножения в последнем выражении для Q .

В рассматриваемом алгоритме особое внимание обращается на эффективность уравнивания оценки точности и анализа деформаций, что и составляет основу его аналитических предпосылок.

Для данного алгоритма в основу закладываются преимущества уже существующих методов и при объединении циклов рассматриваются уравнения поправок с вектором неизвестных стабильных пунктов в сетях обеих циклов. На мой взгляд это позволяет более тщательно определять и анализировать деформации и особенно в тех случаях, когда детально исследуются и анализируются деформации при более чем в двух циклах, когда можно выявить самый тонкий эффект и их оценить. Именно в этом состоит эффективность данного алгоритма.

При введении обозначений вектора имеют конкретные значения.

d – вектор неизвестных с теми же именами, принадлежащий сети второго цикла,

x_0 – вектор неизвестных стабильных пунктов в сетях обоих циклов,

x_1 – вектор неизвестных пунктов сети только первого цикла,

x_2 – вектор неизвестных пунктов сети только второго цикла.

В этом случае при уравнении каждого цикла, с учётом принятых обозначений составляются блочные матрицы коэффициентов нормальных уравнений, которые представим так;

$$R_1 = S = \begin{cases} S_{\bar{d}} & S_{\bar{d}0} & S_{\bar{d}1} \\ S_d & S_{d1} \\ S_1 \end{cases} \quad R_2 = T = \begin{cases} T_d & T_{d,0} & T_{d,1} \\ T_0 & T_{0,2} \\ T_2 \end{cases} \quad (3.6)$$

В этом случае для сравнения двух циклов учитываются все аналитические соотношения, как и в параметрическом способе и используются его преимущества, и в данном алгоритме уравнение поправок имеет вид

$$\begin{aligned} V_1 &= E\Delta\bar{d} + L_1 \\ V_2 &= E\Delta\bar{d} + L_2 \\ V_3 &= E\Delta\bar{d} + L_3 \\ V_4 &= E\Delta\bar{d} + L_4 \\ V_5 &= E\Delta\bar{d} + L_5 \\ V_6 &= E\Delta\bar{d} + L_6 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Где E – единичные матрицы соответствующих порядков. Матрица A коэффициентов этих уравнений при расстановке неизвестных в порядке $\bar{d}, d, x_0, x_1, x_2$ будет следующей;

$$A^{(6*5)} = \begin{pmatrix} E \\ E \\ E \\ E \\ E \\ E \end{pmatrix}$$

Весовую матрицу теперь следует сформировать в следующем виде:

$$P = \begin{pmatrix} S_{\bar{d}} & 0 & S_{\bar{d},0} & 0 & S_{\bar{d},1} & 0 \\ T_d & 0 & T_{\bar{d},0} & 0 & T_{\bar{d},2} & 0 \\ S_0 & 0 & S_{\bar{0},1} & 0 & 0 & 0 \\ T_0 & 0 & T_{0,2} & 0 & 0 & 0 \\ S & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T_d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Виде:

Для данного алгоритма матрица коэффициентов нормальных уравнений $\bar{R} = \begin{pmatrix} S_{\bar{d}} & 0 & S_{\bar{d},0} & 0 & S_{\bar{d},1} & 0 \\ T_d T_{\bar{d},0} & 0 & T_d & 0 & 0 & 0 \\ S_0 + T_0 S_0 T_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

необходимо написать в форме: (3.8)

Анализируя матрицу весов коэффициентов нормальных уравнений значения для

$$S = T = \begin{pmatrix} 4 & -1 & -1 & -1 \\ 3 & -1 & 0 & 0 \\ 3 & -1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

Разделение на блоки матрицы \bar{R} дает нам основание утверждать, что верхняя полоса этой матрицы относится к пунктам претерпевшим деформации, теперь представим матрицу \bar{R} в виде: $\bar{R} = \begin{pmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} \\ R_{2,1} & R_{2,2} \end{pmatrix}$,

где блок $R_{1,1} = S_{\bar{d}}$ относится к неизвестным \bar{d} . Исключая эти неизвестные, получим матрицу для объединения циклов

$$R^2 = R_{2,2} - R_{2,1} R_{1,1}^{-1} R_{1,2}.$$

Важным элементом рассматриваемого алгоритма является то, что для него не нужна обратная матрица, а нужны лишь ее диагональные элементы. Вектор неизвестных целесообразно вычислять по формуле $y = -T^T b$. Для составления векторов свободных членов в уравнениях поправок удобно принять приближенные значения неизвестных равными

$$d^{(0)} = d_1 d^{(0)} = d_1 x_0^{(0)} = x_{1,0}, x_1^{(0)} = x_1 x_2^{(0)} = x_2.$$

В этих выражениях правые части представляют собой уравненные в соответствующих циклах векторы. Тогда будем иметь вектор свободных

членов в уравнениях поправок равным $L=(000L.00)^T$, где вектор $L_0= x_{0,2}-x_{0,1}$ (разность общих неизвестных, полученных из уравнения первого и второго циклов).

Такое решение в данном алгоритме не требует вычисления матрицы в явном виде, а по формуле $D_i= (T^{-1}T^{-T})_{ii}$ можно найти диагональные элементы. Вектор свободных членов нормальных уравнений $R\Delta x + b = 0$ тогда по формуле $b = A^T P L$ получим таким

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{d,0}L_0 \\ T_0 L_0 \\ T_{2,0}L_0 \end{pmatrix}.$$

Исключение вектора d не изменит все остальные блоки вектора b_i который теперь для вектора $b_i = 0$ обозначим через \bar{b}_i и будем иметь систему нормальных уравнений $\bar{R}_2\Delta + \bar{b}_2 = 0$, решение которой и приводит к объединению первых двух циклов, а затем к последовательному их объединению. Следует дополнить, что если схемы сетей одинаковы во всех циклах и все пункты стабильны, то матрица \bar{R} примет вид $\bar{R}_s = S_0 + T_0 = S R_{s+1}$ а обратная матрица объединенных циклов совпадает с матрицей Q_s .

3.1.1. Реализация алгоритма.

Реализация алгоритма сводится к следующим действиям:

1. На каждом новом цикле S , используя рекуррентный способ вычислений, осуществляем контроль грубых ошибок результатов измерений при минимальном числе исходных пунктов (в нивелирных сетях только при одном). Составляются матрицы обратных весов неизвестных только по необходимым измерениям. Для избыточных измерений вычисляется величина $N_i = \frac{1}{P_i} + a_i Z_i^T$, свободный член i -го уравнения алгоритмов и выполняется поиск ошибочных измерений и их исправление. В случае отсутствия грубых ошибок описанная процедура повторяется вновь, если в сети имеется избыточное число исходных пунктов.

При этом уравнивание, возможно, выполняется и с учетом ошибок исходных пунктов. Появление недопустимых свободных членов избыточных уравнений поправок указывает на наличие грубых ошибок исходных данных.

2. Следующим этапом вычислений, является уравнивание параметрическим способом измерений цикла с записью на диск матрицы коэффициентов нормальных уравнений, вектора неизвестных, диагонали обратной матрицы и квадратичной формы Φ .

При уравнивании деформационных сетей лучше всего фиксировать безошибочными, минимальное число пунктов, расположенных примерно в середине сети.

3. При уравнивании осуществляется объединение циклов путем вызова в оперативную память ПК объектов нового ($S-20$) и предыдущего циклов (если обрабатываемый цикл ($S>2$), то предыдущий цикл является объединением уже всех ранее обработанных циклов). Вычисление разностей одноименных неизвестных и определение их допустимых значений и деформаций с использованием диагональных элементов обратных матриц, формирование матрицы $R = j$, что мы уже выполняли выше. Решение системы нормальных уравнений с объединенными объектами и записью на диск результатов решения квадратичная форма получается как сумма величин $(Pvv)_s$ каждого цикла и вычисляемых при их объединении. Аналогично устанавливается число избыточных измерений. Такой алгоритм преимуществен в том, что он может практически обработать неограниченное число пунктов в нивелирных государственных сетях с различными схемами построения в циклах. Важной особенностью рассмотренного алгоритма является то, что расположение неизвестных формируется программой автоматически благодаря вводу имен пунктов и последующей их специальной нумерацией, обеспечивающей ленточную матрицу минимальной ширины коэффициентов нормальных уравнений, что существенно сокращает время вычисления.

3.1.2. Результаты эксперимента проведенного при апробации данного алгоритма.

На основе теоретических предпосылок изложенного эффективного рекуррентного алгоритма для анализа деформаций методом исследовательского объединения циклов руководителем магистерской диссертационной работы доц. Жураевым Д.О. составлен на языке FORTRAN, BASIC компьютерный блок программы, позволяющий обработать геодезических данных, при наблюдений за деформациями без вычисления правого края матрицы Q_r . В качестве эксперимента, обработаны данных нивелирных результатов на исследуемой территории, по выявлению деформационных изменений и определения величины осадок и скорости их изменения во времени.

На основе имеющихся геодезических данных по выполнению геометрического нивелирования II класса на объектах подвергающихся деформациям в одном из объектов, в которых магистрант принимал непосредственное участие, были сформированы и подобраны блоки данных для апробирования и последующей отладки составленной программы.

Именно на примере определения деформаций, на конкретном объекте мною выполнены экспериментальные исследования в магистерской диссертации. Как уже ранее указывалось, я принимал непосредственное участие, как при выполнении нивелирных измерений, так и их обработки с целью определения деформаций на одном цикле.

3.1.3. Общие сведения об объекте.

Правила технической эксплуатации, строительные нормы и правила (СНиП-Ш-2-05) на гидротехнические сооружения требуют в обязательном порядке проведения натуральных наблюдений в строительный и эксплуатационный периоды на всех гидротехнических сооружениях 1-Ш классов.

Класс сооружений Талимарджанского водохранилища, сейсмичность 7 баллов, поэтому организация натуральных наблюдений по основным сооружениям Талимарджанского водохранилища обязательна.

Данный проект предусматривает установку знаков контрольно-измерительной аппаратуры и и проведение систематических наблюдений геодезическими методами за деформациями сооружений плотины №1 и №2 Талимарджанского водохранилища в эксплуатационный период.

В проекте разработаны состав и необходимая точность натуральных наблюдений геодезическими методами, инструкция геодезической КИА, местоположение знаков и количество, излагается методика и ожидаемая точность полученных характеристик.

3.1.4. Физико-географические условия района сооружений

Район строительства Талимарджанского водохранилища имеет сухой и резко континентальный климат.

Средняя годовая температура воздуха $+17^{\circ}\text{C}$. Самым холодным месяцем является: январь, средняя многолетняя температура его $+2,4^{\circ}\text{C}$.

Минимальная температура в январе достигла -22°C .

Наиболее жаркий месяц – июль, средняя температура его выше $+30^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры $+45^{\circ}\text{C}$.

Годовое количество осадков в среднем составляет 160 мм, большая часть их выпадает с декабря по март. В летний период осадки практически не выпадают.

Снежный покров не устойчив, средне-декадная высота его достигает только 5 см.

Преобладающее направление ветров в целом за год северо-западное, в холодный период (октябрь-март) – юго-восточное.

Среднемесячные скорости ветра колеблются от 1.8 м/сек до 3.9 м/сек.

Максимальные скорости ветра юго-восточного направления достигают в среднем 18-20 м/сек. Высокие температуры воздуха определяют большую испаряемость в рассматриваемом районе.

Участок на разведанную глубину 130 м сложен отложениями тандырчинской свиты неогена: песками и песчаниками различной крепости и глинистости с подчиненными прослойками глин и алевролитов. Отложения тандырчинской свиты перекрыты слоем четвертичных суглинков, супесей и гипсов мощностью от 0,5 до 5 м эолово делювиального генезиса.

Уровень грунтовой воды на глубине 112-114 м. Максимальное его положение относится к июлю месяцу, а минимальное к февралю. Водосодержащими породами являются пески.

Вскрытая мощность водоносного горизонта около 20 м. Горизонт безнапорный. Вода соленая с сухим остатком 10 г/л тип засоления – хлоридно-сульфатный.

**3.1.5. Производство геодезических работ в районе строительства.
Натурные наблюдения за деформациями сооружений Плотины №1
геодезическими методами .**

1. Задачи и состав наблюдений.

Предусматриваемые данным проектом натурные наблюдения ставят своей задачей осуществление текущего контроля за деформациями сооружений плотин №1 в эксплуатационный период.

Комплекс натуральных наблюдений геодезическими методами включает в себя: определение горизонтальных смещений поверхности плотины №1 и №2; определение осадок основания плотины №1 и №2; определение осадок поверхности плотины №1 и №2; осадок бетонных сооружений башенного водовыпуска плотины №2; наблюдения за деформациями межсекционных швов по водовыпуску плотины №2.

Путем систематических наблюдений за происходящими вертикальными (осадками) и горизонтальными перемещениями, фиксированием их величины и анализом хода перемещений можно выявить причины их возникновения, нарушения нормальной работы сооружений, кроме того, результаты наблюдений имеют значение для современной разработки эффективных мероприятий по борьбе с явлениями, вызывающими недопустимые равномерные или неравномерные осадки и горизонтальные перемещения сооружений.

Чтобы наблюдения за вертикальными и горизонтальными перемещениями сооружений имели ценное научно-производственное значение они должны производиться систематически по календарному графику и с необходимой точностью.

Выполнение намеченного комплекса наблюдений рекомендуется осуществлять следующими видами геодезических работ на плотине №1:

1. Триангуляция и створные наблюдения.
2. Высокоточным геометрическим нивелированием по плотине №2.

3. Створными наблюдениями по программе угломерного хода.
4. Высокоточным геометрическим нивелированием.
5. Щелемерными измерениями.

Точность наблюдений и цикличность.

На основе опыта для стандартных и типовых сооружений СНиП-Ш-2-05 установлены допустимые ошибки для наблюдений за деформациями сооружений, при этом допускаемые ошибки должны составлять не более :

± 5 мм – средняя квадратическая ошибка определения абсолютных осадок земляных сооружений;

± 2 мм – средняя квадратическая ошибка определения осадок бетонных сооружений;

± 15 мм – средняя квадратическая ошибка определения горизонтальных смещений земляных сооружений;

$\pm 0,2$ мм – средняя квадратическая ошибка определения деформаций межсекционных швов.

Наблюдения за деформациями сооружений выполняют периодически отдельными циклами и в определенные сроки.

Продолжительность цикла измерений (наблюдений) зависит от объема и числа исполнителей.

Для качества наблюдений важно, чтобы измерения выполнялись в возможно короткий срок.

В эксплуатационный период цикла следует выполнять каждый год в одинаковых условиях (весной, осенью, летом) при одинаковой загрузке на сооружения.

Примерное количество проведения циклов 2-4 раза в год.

Наблюдения можно прекратить, когда скорость смещений затухает и становится меньше 1-2 мм в год и возобновить в случае изменения условий

работы сооружений или выявления не предусмотренных проектом деформаций.

Производство натуральных наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений.

Согласно технического задания наблюдениям за горизонтальными смещениями подлежат плотины №1.

Из анализов результатов натуральных наблюдений по гидротехническим сооружениям видно, что ожидаемые смещения земляных плотин, подобных плотинам Талимарджанского водохранилища, происходят в направлении, перпендикулярном к контуру водохранилища, лишь в тех случаях, когда плотины располагаются в долинах горных районов фиксируются смещения берегов в направлении русла.

Исходя из этого и приняты соответствующие геодезические методы для определения горизонтальных смещений.

За абсолютные горизонтальные перемещения принимают перемещения, определенные от опорных знаков, расположенных вне сферы влияния сооружения и которые принимают за неподвижные.

Для определения величины горизонтальных смещений на гребне плотины устанавливаются контрольные знаки. Контрольные знаки размещаются на прямолинейных участках плотины визирными створами параллельными оси плотины.

Размещение и конструкция контрольно-измерительной аппаратуры на плотине №1.

Визирные створы контрольных знаков целесообразно разместить на гребне (на обочине) в 3-х м от оси плотины в сторону нижнего бьефа на участках от ПК 15 до ПК 29+50 (угол 1) и от ПК 29+50 (угол 1) до ПК 45+27

(угол 2) и на прямолинейном участке от ПК 56 + 27 (угол 2) до ПК 97 на расстоянии 2.5м от оси плотины в сторону нижнего бьефа (см.приложение 1).

Концы створов закрепляют опорными наблюдательными пунктами (ПК 15, угол 1, угол 2, ПК 67, ПК 97).

При детальной разбивке визирных створов на прямолинейных участках плотины не исключена возможность перемещения одного из визирных створов (желательно створа от угла №1 поворота плотины до угла №2) в сторону верхнего бьефа (на край тротуара).

Такая необходимость может возникнуть в связи с неблагоприятным местоположением опорных наблюдательных пунктов П и Ш, закрепляющих концы визирных створов на углах поворота плотины №1 и №2, которые могут оказаться на откосах плотины, в связи с чем потребуется увеличение высоты наблюдаемых пунктов для того, чтобы обеспечить условия благоприятных наблюдений с пунктов на контрольные знаки, соблюдения видимости на смежные опорные и исходные пункты в сети гидротехнической триангуляции.

Места установки контрольных и опорных знаков должны быть в стороне от проездов, где сохранность их повышена в течение всего срока наблюдения.

Контрольные створные знаки устанавливаются на пикетах: 17, 19, 21, 22, 24, 26, 27+50, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 53, 55, 58, 61, 64, 70, 73, 75, 77, 79+50, 82, 85, 88, 91, 94.

Отклонение контрольных пунктов от створа при установке не должно превышать 2 см.

За пределами зоны возможных деформаций от гидротехнической нагрузки сооружений в нижнем бьефе, на расстоянии 0,5-1,5 км устанавливаются походные пункты VI, VII, VIII, IX, X относительно которых определяют смещения опорных пунктов (створных

наблюдательных): I, II, III, IV, V, расположенных соответственно на ПК 15, угол поворота 1, угол поворота 2 ПК—67, ПК 97 на гребне плотины.

Местоположение исходных пунктов выбирается так, чтобы при геометрически наивыгоднейшей форме треугольников между пунктами сети наблюдалась взаимная видимость, а по четырем сторонам, как минимум. Проведение базисных измерений светодальномером.

Пункты необходимо закладывать в таких местах, где гарантировалась бы их сохранность в период строительства и эксплуатации. От внешних повреждений вокруг опорных знаков устраивают специальные ограждения.

Все исходные пункты закрепляются на местности трубчатыми знаками одинаковой конструкции.

Знак представляет собой трубу $\varnothing 24,5 \times 0,7$ устанавливаемую на глубину 3.3 и в четырехгранную бетонную призму сечения $0,4 \times 0,4$ и в верхней части (наружной) и $0,8 \times 0,8$ в нижней части, опирающиеся на бетонную плиту $1,5 \times 1,5 \times 0,3$ м.

В верхнюю часть трубы приваривается инструментальный столик. Инструментальный столик служит для установки инструмента при наблюдении гидротехнической триангуляции и створных наблюдений. Инструментальный столик представляет собой круглый металлический диск $\varnothing 250$ мм и толщиной 10 мм.

В диск запрессована бронзовая втулка для центрирования инструмента и визирных целей. Столик приваривается к трубе знака горизонтально с точностью до ± 10 . От коррозии и механических повреждений столик защищен крышкой.

Крепление к столику инструмента осуществляется через отверстие $\varnothing 140$ мм, которое устраивается на расстоянии 95 мм от вертикального торца трубы знака.

Опорные пункты для наблюдений створных (контрольных) знаков на гребне плотины (ПК 15, угол поворота 1, угол поворота 2, ПК 67, ПК 97)

закрепляются опорными знаками (черт.3) той же конструкции, что и исходные пункты, с той лишь разницей, что закладываются знаки на глубину 1.5 м (за счет уменьшения нижней призмы).

Все контрольные створные пункты закрепляются железобетонными знаками одинаковой конструкции. Знак имеет конструкцию четырехгранной усеченной пирамиды высотой 1,1 м и сечением в нижнем основании 0,8 x 0,8 м и в верхнем – 0,3 x 0,3. В верхнюю горизонтальную плоскость пирамиды заделывается чугунная марка и гнездовой центр для установки визирных целей (черт.5а).

Наличие реперных головок позволяет включать контрольные знаки гребня плотины в схему гидротехнического нивелирования для определения вертикальных смещений.

Методика и точность наблюдений на плотине №1.

Для определения горизонтальных смещений плотины №1 наиболее рациональный способ комбинированный, представляющий собой комбинирование метода створных наблюдений с гидротехнической триангуляцией.

Величины горизонтальных перемещений сооружений при комбинированном методе определяют по данным наблюдения за перемещением контрольных пунктов по створу с учетом смещения опорных пунктов створа, полученных при наблюдении гидротехнической триангуляции.

Гидротехническая триангуляция для определения величины горизонтального перемещения опорных пунктов створа создается в виде вытянутого ряда из четырех смежных геодезических четырехугольников с измерением как минимум трех базисов светодальномером по наиболее допустимым сторонам, приняв взаимное положение пунктов VII, VIII, IX, X расположенных по одну сторону неизменными на весь период наблюдений,

Геометрическая сеть характеризуется следующими данными:

1. Максимальная длина стороны – 3 км.

2. Минимальная длина стороны – 1 км.

3. Наименьший угол в треугольнике – 23° .

Наблюдения за горизонтальными смещениями плотин ведутся комбинированным методом.

Первым порядком наблюдается сеть гидротехнической триангуляции 2 класса. В триангуляцию включаются опорные створные пункты I-V. Вторым порядком наблюдаются все контрольные створные пункты.

Угловые измерения в триангуляции производятся оптическим теодолитом (Т-1, Т-2, ОТ-02).

Перед началом полевых работ теодолит подлежит лабораторным исследованиям. Исследования выполняются согласно инструкции [1].

[1] - Инструкция о построении государственной геодезической сети СНГ – М., Недра, 1996.

- А) правильность работы оптического микрометра,
- Б) эксцентриситет горизонтального круга,
- В) правильность вращения алидадой части,
- Г) правильность вращения трубы вокруг горизонтальной оси,
- Д) постоянство коллимации главной трубы,
- Е) систематических ошибок измерения углов,
- Ж) рена оптического микрометра.

Если инструмент поступил с завода или после ремонта, исследования выполняют по полной программе согласно Инструкции [1]. В дальнейшем перед каждым циклом определяют только рен оптического микрометра.

Ежедневно во время полевых работ перед наблюдением проверяется уровень, правильность вращения алидадной части инструмента и правильность установки сетки нитей.

Наведение трубы теодолита производится на визирные цилиндры конструкции черт. 11 60-160 мм.

Диаметр цилиндров рассчитан на среднюю длину визирования по формуле:

$$d = \frac{t''}{3} \cdot \frac{\ell}{\rho''}$$

где $t'' = 35''$ – угловое расстояние биссектора сетки нитей теодолита ОТ-02;

ℓ - средняя длина визирования (1 км – 3 км)

$\rho'' = 206265''$.

При створных наблюдениях используются визирные цилиндры диаметром от 15 мм до 120 мм или конусообразные цели .

Углы в триангуляции измеряются со средней квадратической ошибкой $\pm 1''$. Способ измерения – круговые приемы. Число приемов для теодолита ОТ-02 – 15.

Наблюдения на пунктах должны производиться при благоприятных условиях видимости, в часы спокойных изображений.

Программа наблюдений на пункте выполняется в две видимости: утреннюю и вечернюю.

Результаты наблюдений триангуляции должны удовлетворять допуском Инструкции [1]:

1. Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полу приема- не более 6".

2. Колебание направлений в отдельных приемах, приведенных к общему нулю - не более 5".

3. Невязки в треугольниках – не более 3"5.

Если зенитные расстояния наблюдаемых пунктов отличаются от 90^0 на величину $1,5^0$, то в процессе наблюдений необходимо определять наклон вертикальной оси вращения инструментов и в последующем вводить в

измеренные горизонтальные направления поправки за наклон вертикальной оси.

Поправки за наклон оси вычисляются по формуле:

$$\Delta'' = v \operatorname{ctg} Z \frac{t''}{2}$$

где v – наклон горизонтальной оси в полу делениях уровня;

$\frac{t''}{2}$ – цена полу деления уровня;

Z – зенитное расстояние направления;

В зависимости от типа инструмента применяют следующий порядок определения наклона оси v

$$v = \frac{1}{2} [(l+n)_0 - {}_0(l+n)]$$

где $(l+n)_0$ – сумма отсчетов по левому и правому концам пузырька для случая, когда нуль делений находится справа и ${}_0(l+n)$, когда нуль слева.

Поправки Δ'' вычисляются по таблице, составленной для данного значения

$\frac{t''}{2}$ по величинам v и Z .

Поправки вводятся в направлении непосредственно в журнале для каждого приема отдельно :

$$v = \frac{(l_1 + n_1) + (l_2 + n_2)}{2} \quad \text{или} \quad v = \frac{(l_1 + n_2) + (l_2 + n_1)}{2}$$

где l_1 и n_1 – отсчеты по левому и правому концам пузырька уровня в первом полу приеме.

l_2 и n_2 – отсчеты во втором полу приеме.

Формулу (2) применяют, когда 0 отсчетов делений уровня находится в середине.

Оценка результатов угловых наблюдений в сети производится путем вычисления средней квадратической ошибки угла по формуле :

$$m = \sqrt{\frac{\Sigma W^2}{3n}},$$

где ΣW^2 – сумма квадратов невязок треугольников;

n – число треугольников в сети.

Величина m , вычисленная по формуле (3) не должна превышать 1".

Качество полевых наблюдений характеризуется величиной свободного члена полюсного условия, допустимость которого вычисляется по формуле:

$$W_{\text{пол.}} = \pm 2 m \sqrt{[\delta^2]},$$

где, δ^2 – сумма квадратов изменений логарифмов синусов связующих углов треугольника при изменении этих углов на 1".

m – средняя квадратическая ошибка угла, установленная инструкцией [1] для триангуляции 2-го класса $m = 1''$.

Со второго цикла, кроме вышеуказанных условий, вычисляется свободный член условия твердых сторон и твердых углов.

Свободный член условий твердых сторон не должен превышать величины, вычисленной по формуле :

$$W_3 = \pm 2 \sqrt{m^2[\delta^2] + 2m_3^2},$$

Где m_s – средняя квадратическая ошибка длины (логарифма) твердой стороны.

Свободный член условия твердых углов не должен превышать величины, вычисленной по формуле :

$$W_3 = \pm 2 \sqrt{m^2 n + 2m_3^2},$$

Где n - число углов. Участвующих в вычислении невязки уравнивания твердых углов;

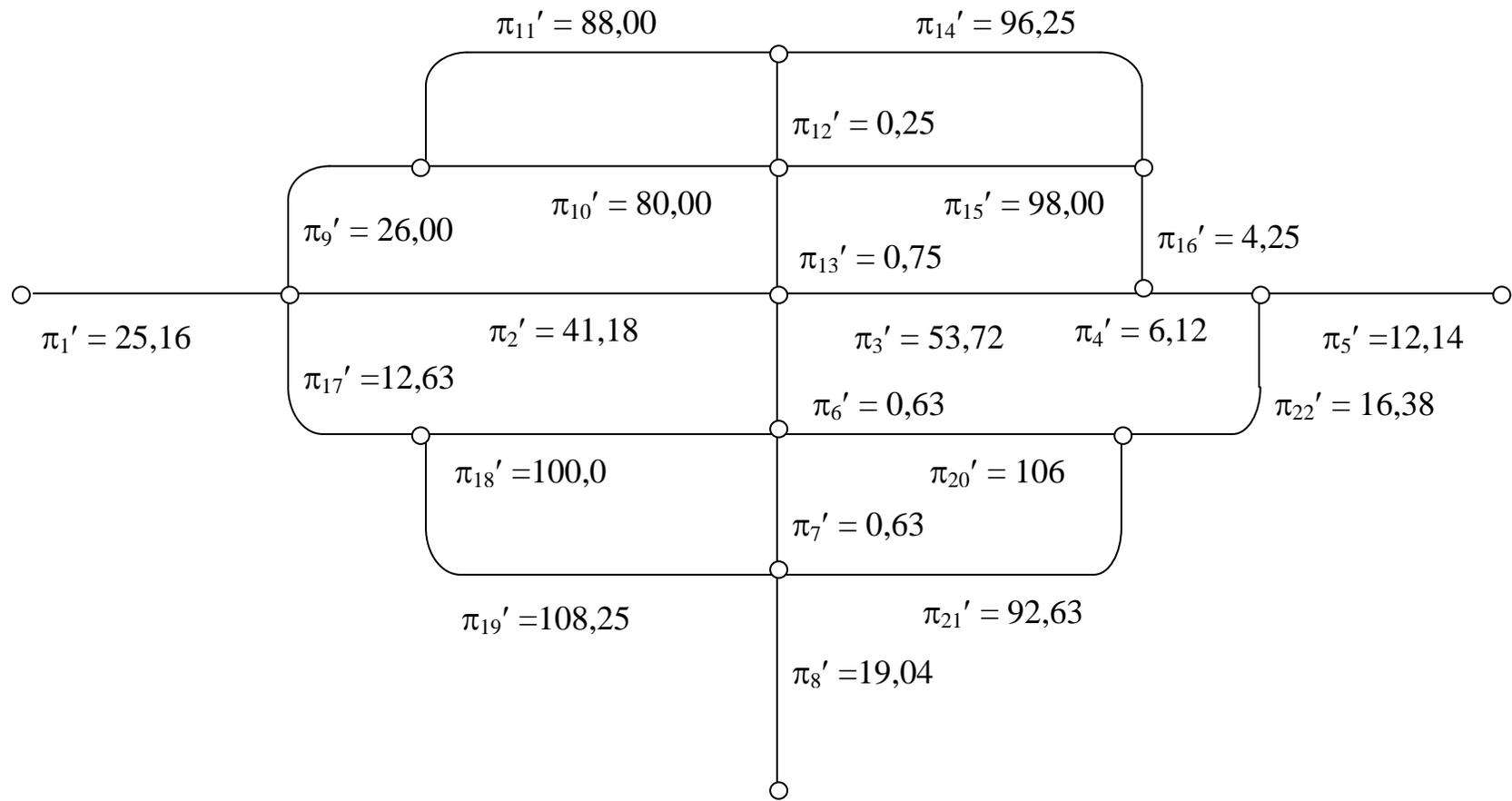
m - средняя квадратическая ошибка исходного твердого угла.

Уравнивание сети триангуляции производится на ЭВМ по стандартной программе.

Координаты вычисления в условной системе. За исходные в первом цикле желательно принять координаты пунктов П, а дирекционный угол П-Ш, равным 90^0 .

Со второго цикла координаты опорных пунктов VI, VII, VIII, IX полученные в первом цикле, принимаются за твердые (исходные).

Масштабирование сети триангуляции осуществляется измерением базисных сторон светодальномером. Порядок работы, технические характеристики даны в инструкции по эксплуатации. Предполагая, что взаимное положение пунктов VI, VII, VIII, IX, X будут неизменным и во всех циклах наблюдений масштабирование сети достаточно выполнить с точностью 1:5000.



Номера полигон	Номера хода	Начало - конец хода	Превышения, (м)		
1	3	(Тр1) - (24-Б1)	-13,4119		
	7	(24-Б1) – (55-Б1)	+0,3974		
	22	(55-Б1) – (55)	+13,0711		
	4	(ПК55) – (Тр1)	-0,0142		
			-0,0424		
2	4	(Тр1) – (ПК55)	+0,0142		
	13	(ПК55) – (55-1)	-13,2967		
	5	(55-1) – (19-1)	-0,2513		
	2	(19-1) – (Тр1)	+13,4809		
			-0,0529		
3	5	(19-1) – (55-1)	+0,2513		
	14	(55-1) – (55-2)	-10,1712		
	6	(55-2) – (19-1)	+9,8632		
			-0,0567		
4	8	(24-Б1) – (55-Б2)	-4,1202		
	9	(55-Б2)-(55-Б1)	+4,1202		
	7	(55-Б1) – (24-Б1)	-0,3974		
			+0,0314		
5	9	(55-Б1) – (55-Б2)	-4,5490		
	10	(55-Б2) – (55-Б1)	+4,1454		
	11	(91-Б1) – (55-Б1)	+0,3912		
			-0,0124		
6	22	(ПК55) – (55-Б2)	-13,0711		
	11	(55-Б1) – (91-Б1)	-0,3912		
	18	(91-Б1) – (ПК91)	+13,6769		
	12	(ПК91) – (ПК55)	-0,1948		
			-0,0198		
7	12	(ПК55) – (ПК91)	+0,1948		
	20	(ПК91) – (ПК94)	-0,1051		
	19	(ПК94) – (88-1)	-8,9333		
	15	(88-1) – (55-1)	-4,4709		
	13	(55-1) – (ПК55)	+13,2967		
			-0,0178		
8	15	(55-1) – (88-1)	+4,4709		
	16	(88-1) – (55-2)	-14,6487		
	14	(55-2) – (55-1)	+10,1712		
			-0,0066		

3.2. Апробация программы для анализа высотных деформаций.

С целью апробирования блока программы были обработаны семь циклов наблюдений нивелирной сети, где в качестве анализа исследовались различные деформационные репера и данная информация обработана и всестроение проанализирована, для проверки эффективности работы программы и ее использования на конкретных объектах плотины №1 Талимарджанского водохранилища в Республике Узбекистан. Предполагается, что в представленных экспериментальных исследованиях были выполнены семь циклов наблюдений за деформациями инженерных сооружений с интервалами в три месяца.

В первом цикле в задачу входило: на основе результатов высокоточного нивелирования с использованием программы, обработать все результаты и оценить точность полученных уравненных высот всех реперных пунктов. Следующим шагом программы является уравнивание параметрическим способом с последующим получением окончательных результатов уравнивания.

Табл. 1

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)
1	Rp29	150.0000	0.0
2	P9	148.2825	0.7
3	P6	148.2614	0.7
4	P10	146.9954	0.9
5	P5	146.9789	0.9
6	P11	146.7839	1.1
7	P3	146.7374	1.1
8	P13	147.1644	1.2
9	P2	147.0958	1.2
10	m9	148.6389	1.3
11	m11	148.6949	1.3
12	m15	148.0635	1.3
13	m16	147.6339	1.3
14	m10	148.6528	1.3

Во втором цикле, как это предусмотрено при переходе к другому циклу, программа спрашивает изменился ли проект сети. В нашем эксперименте изменение проекта сети будет на четвертом и шестом циклах, по этому для текущего цикла смоделированы деформации для некоторых точек той же геодезической сети, что и на первом цикле, а именно для точек m9, m11, m15 и m16. После деформирования на 6 мм указанных точек программой, выполняются вычисления и решения в результате которых получают такие результаты параметров, как и в первом цикле:

Диагональные элементы обратной матрицы такие же, как и в первом цикле: 1) 0.0, 2) 0.929, 3) 0.929, 4) 1.714, 5) 1.714, 6) 2.357, 7) 2.357, 8) 2.857, 9) 2.857, 10) 3.214, 11) 3.214, 12) 3.429, 13) 3.429, 14) 3.500., все результаты обработки второго цикла, а также будут храниться на диске в файлах moz-2.x и moz-2. Диагональные элементы матрицы Q в файлах moz-1.dia.

Следующим этапом будет переход программы ко второй части работы, которая необходима для анализа деформаций с объединением всех циклов параметрическим способом. Получены первые результаты:

В таблице 2 представлены результаты обработки данных и анализа деформаций во втором цикле. В этой таблице находится уравненные высоты H (м) всех точек сети, СКО (H) в (мм), а также величины деформаций точек, подвергающиеся изменениям DEF (H) а СКО (DEF) в мм – это средняя квадратическая ошибка определения деформаций. Благодаря части программы предназначенной для построения графиков, на рисунках 2 и 3 можно увидеть графическое представление деформаций точек m9 и m15 обнаруженных во втором цикле наблюдений. Информация о деформациях точек m11 и 16 представлена в приложениях, а информация векторе X и матрице Qx объединенных циклов будет храниться на диске в файлах mozcom-2.x, mozcom-2.

Табл. 2

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)	DEF (H) (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29	150.0000	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2824	0.5	0.0	0.9
3	P6	148.2614	0.5	0.0	0.9
4	P10	146.9951	0.6	0.0	1.2
5	P5	146.9783	0.6	0.0	1.2
6	P11	146.7836	0.8	0.0	1.5
7	P3	146.7368	0.8	0.0	1.5
8	P13	147.1642	0.8	0.0	1.6
9	P2	147.0949	0.8	0.0	1.6
10	m9	148.6327	1.0	-6.1	1.7
11	m11	148.6889	1.0	-6.0	1.7
12	m15	148.0573	1.0	-5.9	1.8
13	m16	147.6283	1.0	-6.4	1.8
14	m10	148.6523	0.9	0.0	1.8

В третьем цикле наблюдений за деформациями, были смоделированы деформации для тех же точек, которые подвергались деформациям в предыдущем цикле и для новой точки m10, которая до этого была принята неподвижной. Как и во втором цикле, после всех вычислений и решений, как при рекуррентном способе для контроля грубых ошибок, так и при параметрическом способе уравнивания получены результаты контроля грубых ошибок и окончательные результаты уравнивания с одним исходным пунктом. Эти результаты не отличаются от результатов предыдущего цикла, что свидетельствует о высококачественных результатах. Для анализа деформаций вызывается и оперативную память объектов нового цикла и предыдущего цикла, с учетом того, что если обрабатываемый цикл $S > 2$, то

предыдущий цикл будет объединением всех ранее обработанных циклов. В результате анализа деформаций в третьем цикле получены уравненные высоты всех точек Н (м), их средние квадратические ошибки СКО (Н)(мм), DEF (Н) в мм, СКО (DEF) (mm) определенные в данном цикле. В последних трех столбцах представлены суммарные деформации всех ранее обработанных циклов (SUM (D))в мм, и деформации относительно первого цикла (DEF-1) в мм и (СКО(D)) в мм. Таблица 3 показывает цифровую информацию о результатах обработки третьего цикла.

Табл.3

№ марки	Имя марки	Н (м)	С.К.О (Н) (mm)	DEF (Н) (mm)	СКО (D) (mm)	SUM (D) (mm)	DEF-1 (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29090	150.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2822	0.4	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8
3	P6	148.2620	0.4	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8
4	P10	146.9957	0.5	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1
5	P5	146.9787	0.5	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1
6	P11	146.7839	0.6	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3
7	P3	146.7366	0.6	0.0	1.3	0.0	0.0	1.3
8	P13	147.1639	0.7	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4
9	P2	147.0949	0.7	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4
10	m9	148.6267	0.9	-5.7	1.5	-11.2	11.3	1.5
11	m11	148.6827	0.9	-5.9	1.5	-12.6	-12.9	1.5
12	m15	148.0517	1.0	-5.9	1.6	-10.9	-11.2	1.6
13	m16	147.6217	1.0	-6.7	1.6	-13.0	-12.7	1.6
14	m10	148.6465	1.0	-6.1	1.6	-6.1	-5.9	1.6

При анализе таблицы № 3 видно, что m10, которая на предыдущих циклах была стабильной, на третьем цикле для нее смоделированы

деформации величина которой равна 6мм и как видно в таблице вычисленные программой деформации DEF(H) в мм, суммарные деформации SUM (D) в мм а также деформации относительно первого цикла DEF-1 в мм равны числу смоделированных для этой же точки деформации, что является справедливым, так как только в текущем цикле она стала подвергаться деформациям.

В четвертом цикле предполагалось, что на местности потеряны точки p10, p2, и m10. Эти точки исключены из сети, поэтому здесь, первая задача заключается в уравнивании геодезических сетей без указанных точек. В результате решения этой задачи получены уравненные высоты H (м) и их СКО (H) в мм. Деформаций DEF(H) для данного цикла нет, так как цель геодезических обработок в данном цикле, как выше указывалось, заключалась в уравнивании геодезических сетей из-за исключения с сети потерянных точек. Но используя хранящуюся информацию предыдущих циклов, программа будет выдавать суммарные деформации даже тех точек, которые уже не существуют (для последних суммарные деформации будут такими, какими они были в последнем цикле, в котором они принимали участие). Результаты четвертого цикла содержатся в таблице №4.

Табл.4

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)	DEF (H) (mm)	СКО (D) (mm)	SUM (D) (mm)	DEF-1 (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29090	150.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2823	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
3	P6	148.2621	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
4	P10	146.9955	0.5	-	-	0.0	-	-
5	P5	146.9785	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
6	P11	146.7834	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
7	P3	146.7364	0.5	0.0	1.2	0.0	0.0	1.2
8	P13	147.1632	0.6	0.0	1.2	0.0	0.0	1.2
9	P2	147.0945	0.6	-	-	0.0	-	-
10	m9	148.6375	0.7	0.0	1.4	-11.3	11.1	1.4
11	m11	148.6812	0.7	0.0	1.4	-12.8	-12.6	1.4
12	m15	148.0520	0.7	0.0	1.5	-10.7	-11.5	1.5
13	m16	147.6196	0.7	0.0	1.5	-13.6	-13.2	1.5
14	m10	148.6456	0.8	-	-	-6.1	-	-

Далее, в эксперименте, идет пятый цикл, в котором были заданы деформации равные величине 6 мм для следующих точек: p5, p3, m11. По такой же последовательности, как и в предыдущих циклах, где задавали деформации, выполнены уравнивания как при рекуррентном способе для контроля грубых ошибок, так и при параметрическом способе, полученные результаты, представлены в таблице № 5.

Табл.5

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)	DEF (H) (mm)	СКО (D) (mm)	SUM (D) (mm)	DEF-1 (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29090	150.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2823	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
3	P6	148.2621	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
4	P10	146.9955	0.4	-	-	-	-	-
5	P5	146.9719	0.4	-6.9	1.0	-6.9	-6.5	1.0
6	P11	146.7835	0.4	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
7	P3	146.7295	0.5	-7.1	1.1	-7.1	-7.1	1.1
8	P13	147.1632	0.5	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1
9	P2	147.0945	0.6	-	-	-	-	-
10	m9	148.6374	0.6	0.0	1.3	-11.2	11.8	1.3
11	m11	148.6748	0.5	-5.6	1.2	-19.4	-19.6	1.2
12	m15	148.0519	0.5	0.0	1.1	-10.5	-11.4	1.1
13	m16	147.6197	0.6	0.0	1.1	-13.6	-13.1	1.1
14	m10	148.6456	0.8	-	-	-6.1	-6.7	-

В таблице № 5 в столбце деформаций высот (DEF(H)) можно увидеть, что точки m9, m15 и m16 стали неподвижными, а точки m11 продолжает оседать. Точки p5, p3, которые были стабильными, уже подвергаются деформациям. Суммарные деформации, как фигурировать в столбце (SUM(D)).

Цифровая и графическая информация пятого цикла можно увидеть в таблице № 5.

В шестом цикле изменился проект сети, добавлены новые измерения: Rp11478 и p12 поэтому необходимо выполнять уравнивание высот точек с участием новых добавленных точек.

В последнем седьмом цикле эксперимента смоделированы деформации для точек p5, p3, m11 и для новой добавленной в предыдущем цикле точки p12. После всех выше перечисленных вычислении получены результаты обработки седьмого цикла. Они представлены в таблице № 6. Анализируя таблицу заметно, что добавленная точка p12 подвергается деформациям.

Табл.6

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)	DEF (H) (mm)	СКО (D) (mm)	SUM (D) (mm)	DEF-1 (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29090	150.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2825	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
3	P6	148.2621	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
4	P10	146.9957	0.5	-	-	0.0	-	-
5	P5	146.9781	0.6	5.6	1.0	-1.3	0.0	1.0
6	P11	146.7837	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.9
7	P3	146.7221	0.6	-7.0	1.1	-12.1	-12.2	1.1
8	P13	147.1636	0.8	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1
9	P2	147.0955	1.6	-	-	0.0	-	-
10	m9	148.6378	0.7	0.0	1.2	-12.8	-12.6	1.2
11	m11	148.6701	1.0	-6.5	1.2	-24.6	-24	1.2
12	m15	148.0523	1.0	0.0	1.2	-10.9	-10.6	1.2
13	m16	147.6207	1.0	0.0	1.2	-11.9	-11.8	1.2
14	m10	148.6465	1.1	-	-	-6.1	-6.4	-
15	P12	147,0887	0,9	-5.2	1.3	-6.2	-	-
16	Rp12	148,5994	0,9	0.0	1.1	0.0	-	-

3.3. Достоверность работоспособности составленной программы для анализа высотных деформаций.

Для достоверности работоспособности данной программы, и руководителем и мною выполнена обработка данных тех же геодезических измерений, которые использованы для апробирования программы, но традиционным методом.

Традиционный метод обработки геодезических данных с целью выявления и анализа деформации заключается в том, что деформацию определяют по формуле:

$$D = H_i - H_1, \quad (3.9)$$

где D – полная осадка (определяемая деформация),

H_i – отметка текущего цикла,

H_1 – отметка начального (предыдущего) цикла.

Средние квадратические ошибки определения этих высот содержатся в последнем столбце. Они были определены следующим образом:

Из (3.9) можно написать

$$m_D^2 = m_{H_i}^2 + m_{H_1}^2 \quad (3.10)$$

$$M_D = \sqrt{m_{H_i}^2 + m_{H_1}^2} \quad (3.11)$$

Для данного эксперимента были уравнены результаты обработки первого цикла, получены высоты всех точек сети и СКО(Н) (mm), которые не отличаются от полученных при использовании программы (таблица 1). Далее во втором цикле были деформированы те же точки, так же по величине как при обработке с использованием программы, изменен проект сети в таком же порядке, как при обработке циклов наблюдений по данной программе.

Для проверки работоспособности составленной программы представляются две таблицы, содержащие два результата обработки одного и того же цикла с одними и теми же по величине смоделированными

деформациями, но отработанные разными методами, то есть, программой и традиционным методом.

Табл. 7

№ марки	Имя марки	H (m)	С.К.О (H) (mm)	DEF (H) (mm)	СКО (D) (mm)
1	Rp29090	150.0000	0.0	0.0	0.0
2	P9	148.2824	0.5	0.0	0.9
3	P6	148.2614	0.5	0.0	0.9
4	P10	146.9951	0.6	0.0	1.2
5	P5	146.9783	0.6	0.0	1.2
6	P11	146.7836	0.8	0.0	1.5
7	P3	146.7368	0.8	0.0	1.5
8	P13	147.1642	0.8	0.0	1.6
9	P2	147.0949	0.8	0.0	1.6
10	m9	148.6327	1.0	-6.1	1.7
11	m11	148.6889	1.0	-6.0	1.7
12	m15	148.0573	1.0	-5.9	1.8
13	m16	147.6283	1.0	-6.4	1.8
14	m10	148.6523	0.9	0.0	1.8

В таблице № 7 содержатся данные второго цикла, полученные при анализе высотных деформаций методом использования составленной программы для анализа деформаций основанная на эффективном алгоритме методом последовательного объединения циклов.

Вывод по третьей главе:

1- Сделанный анализ приводит к выводу о том, что результаты обработки геодезических данных геометрического нивелирования выполненного на исследуемой территории плотины водохранилища, с целью выявления возможных деформаций инженерных сооружений, с использованием программы и «традиционным методом» они отличаются тем, что при «традиционным методом» теряем оперативности. Результаты новых циклов и даже новых добавленных измерений, ранее не принимающих участие в обработке предыдущих циклов.

2- Эта программа очень актуальна для Республики Узбекистан, так как существующая там геодезическая сеть не полная, и она будет дополняться новыми геодезическими пунктами.

3- Возможности данной программы очень полезна и при наблюдении за деформациями инженерных сооружений, вызванных с землетрясениями и другими факторами, которые нуждаются в оперативности определения деформации.

4- Другое достоинство это то что программа хранить предыдущую информацию, которая всегда будет использоваться для выявления новых деформаций.

Заключение

Экспериментальные исследования, выполненные в данной магистерской диссертации направлены на применение современных математических методов учета тонких эффектов, как их определения, так и оценки их точности. В рамках выполнения данной работы можно сделать следующие заключения:

1. Сделанный анализ приводит к выводу о том, что результаты обработки геодезических данных геометрического нивелирования выполненного на исследуемой территории строительства с целью выявления возможных деформаций инженерных сооружений, с использованием программы и «традиционным методом» отличаются тем, что при «традиционном методе» результаты показывают, что выявленные деформации по величине отличаются от моделированных на несколько миллиметров, что говорит о низкой точности метода.

2. А используя составленную доц. Жураевым Д.О. программы вычисленные деформации по величине ближе к моделированным, в основном отличаются до одного миллиметра. Кроме того при «традиционным методе» после моделирования деформации и последующего уравнивания, результаты показывают, что некоторые точки для которых не моделировались деформации подвергаются изменениями, а программа дает деформации именно тех точек для которых вводились изменения.

3. Такой же вывод можно сделать относительно к составленной доц. Жураевым Д.О. программе для анализа плановых деформаций.

4. Преимущество апробируемой программы заключается еще в том, что сразу на первом этапе уравнивания можно выявить грубые ошибки, это в свою очередь дает возможность во втором этапе уравнивать параметрическим способом только те измерения, которые не содержат грубые ошибки.

5. Составленные программы доц. Жураевым Д.О. для анализа деформации методом последовательного объединения циклов способны определить, оценить и проанализировать деформации инженерных сооружений со всеми удобствами, и с помощью полученных результатов судить о поведении конкретных сооружений, и находить конкретные технические решения для корректировки этих деформаций.

6. Важное достоинство программы доц. Жураева Д.О., заключается в быстроте выполнения работы, удобство хранения информации каждого цикла с последующей возможностью их использования для присоединения с новой информацией новых циклов и даже новых добавленных измерений, ранее не принимающих участие в обработке предыдущих циклов.

7. Эти программы актуальны для Республики Узбекистан, так как из-за периодических землетрясениями необходимо оперативно контролировать состояние всех сооружений, находящиеся в зоне землетрясения.

8. Программа может обработать неограниченное количество точек с последующим хранением обработанную информацию для ее использования по мере необходимости.

9. Программа апробирована на учебном процессе при преподавании курса «Теория математической обработки геодезических измерений». Результаты обработки разных вариантов, вычисленные студентами направления «Геодезия, картография и кадастр» вручную на калькуляторе и на компьютере одинаково совпадают.

ЛИТЕРАТУРА .

1. Альберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. М., «Наука», 1977 г.
2. Атрошко Е.К. Уравнивание и оценка точности геодезических сетей, создаваемых при наблюдении за деформациями сооружений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, Вып.1. 1985 г., с 54-60
3. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. М. «Недра», 1977 г.
4. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Городская полигонометрия. М., «Недра», 1979 г.
5. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Некоторые вопросы уравнивания обширных геодезических сетей. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. Вып.3, 1983, с 3-11
6. Большаков В.Д., Горбенко О.И., Пискунов М.Е. и др. методы и приборы высокоточных геодезические измерения для строительства и монтажа большого Серпуховского ускорителя, М., «Недра», 1968 г.
7. Большаков В.Д., Васютинский И.Ю., Ключин Е.Б. и др. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. М. «Недра», 1976 г.
8. Большаков В.Д., Левчук Г.Л. и др. Справочник геодезиста М. «Недра», 1975 г.
9. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Развитие теории математической обработки геодезических измерений в СССР. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып.4, 1973 г., с 11-18
10. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. М. «Недра», 1984 г.
11. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблица математической статистики. М. «Недра», 1983 г.

12. Брайт П.И. Геодезические методы измерения деформация оснований и сооружений. М. «Недра», 1965 г.
13. Буденков Н.А., Стороженко А.Ф. К вопросу об устойчивости глубинных реперов. Геодезия и картография. №3, 1967 г.
14. Бывшев В.А. Об интерпретации результатов уравнивания свободных сетей. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. Вып.2, 1985 г. С 7-14
15. Вагин В.А. К вопросу о назначении весов измерений при проектировании геодезических построений. Известия вузов, Геодезия и аэрофотосъёмка, вып.6 1978 г. с 27-34
16. Васильев Е.А., Панкрушин В.К. Методика рекуррентного оценивания анализа параметров движений и деформаций по геодезическим данным. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып.6 1983 г. с 3-11
17. Вергасов В.А., Журкин И.Г., Нейман Ю.М. и др. Вычислительная математика. М. «Недра», 1976 г.
18. Вировцев А.М. Определение вероятнейших изменений координат пунктов некоторых специальных триангуляции при повторных измерениях. Известия вузов, Геодезия и аэрофотосъёмка, вып.2, 1962 г. с 3-7
19. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. Под редакцией Левчука. М. «Недра», 1983 г.
20. Гантмахер Ф.Ф. Теория матриц. М. «Наука», 1966 г.
21. Ганышин В.Н., Строженко А.Ф., Ильин А.Г. и др. Измерение вертикальных смещений и анализ устойчивости реперов. М. «Недра», 1981 г.
22. Геодезия, картография, землеустройство №3, 1981 г., с 23-25
23. Геодезия, картография, землеустройство №5, 1982 г., с 11-13
24. Дроздов Н.Д. Линейная алгебра в теории уравнивания измерений. М. «Недра», 1972 г.

25. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. Учебник для вузов; под.ред. Михелев Д.Ш. – М.; Высш. Шк. 2000 г. 464 с
26. Зайцев А.К., Собчук В.Г. Об уравнивании результатов периодических наблюдений геодезических сетей. Известия вузов. Геодезия, аэрофотосъёмка вып.5, 1971 г., с 19-24
27. Зеленский А.Н., Дорофеева В.В. Об анализе устойчивости исходных реперов на территории промышленного предприятия. Геодезия и картография № 9, 1973 г.
28. Златанов Г. Наблюдение на изместванията на геодезически точки метода за изравнение.
29. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М. «Недра» 1974г.
30. Иовлев Н.Н. Аналитическая геометрия. М. «Недра», 1974 г.
31. Иордан В. Руководство по геодезии т.1. Уравнительные вычисления по способу наименьших квадратов. М. Редбюро ГУГК, 1939 г.
32. Исследование работы фундаментов и конструкций цехов фабрики при статистических и динамических воздействиях. Раздел III. Геодезические наблюдения за осадками. Отчёт, УДК 624.042.8.001.2.624.15 № гос.регистрации 01840003866 Гомель, Бел ИИЖТ, 1984 г.
33. Крамер Г. Математические методы статистики. М. «Мир», 1975 г.
34. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М. Физматгиз, 1962 г.
35. Малков А.Г. Рекуррентный способ оперативной обработки и интеграции геодезических наблюдений за осадками. Деп. В ОНТИ ЦНИИГАиК № 132 1984 г.
36. Маркузе Ю.И. Алгоритм уравнивания комбинированных геодезических сетей. М. «Недра», 1972 г.

37. Маркузе Ю.И. Анализ и уравнивание геодезических сетей без составления нормальных уравнений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 3 1984 г., с 3-10
38. Маркузе Ю.И. Взаимосвязь процедур уравнивания свободных и несвободных геодезических сетей. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 3. 1984 г., с 3-14
39. Маркузе Ю.И. Математическая обработка геодезических измерений. Итоги науки и техники, серия Геодезия и аэросъёмка Т.23. М. ВИНТИ, 1985 г.
40. Маркузе Ю.И. Обобщенный рекуррентный алгоритм уравнивания свободных и несвободных сетей с локализацией грубых ошибок. М., Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 2000 г. № 1, с 3-16.
41. Маркузе Ю.И. Основы уравнивательных вычислений. М., «Недра», 1990.
42. Маркузе Ю.И. Теория математической обработки геодезических измерений. Учебное пособие для слушателей ФПК. М. МИГАиК, 1983г
43. Маркузе Ю.И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей. М. «Недра», 1982 г.
44. Маркузе Ю.И., Хоанг Нгок Ха. Два способа получения псевдообратной матрицы при уравнивании свободных геодезических сетей с применением рекуррентной формулы. Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып.1. 1985 г.
45. Маркузе Ю.И. Эффективный алгоритм для анализа деформаций. Геодезия, 225 лет МИИГАиК. с 306-317.
46. Маркузе Ю.И. Welsch W.M. Два алгоритма объединения наземных и спутниковых сетей. Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка № 2, 1995 г.

47. Маркузе Ю.И., Пенько Д., Лепев, Костадин Н. Определение деформаций инженерных сооружений по разностям наблюдений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 6, 1983 г., с 126-128.
48. Маркузе Ю.И., Бойко Е.Г., Голубев В.В. Геодезия. Вычисление и уравнивание геодезических сетей. М., Картгеоцентр-Геоиздат, 1994 г.
49. Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК. Эффективный алгоритм для анализа деформаций. Заслуженный деятель науки России, профессор, д.т.н. Маркузе Ю.И. Московский Государственный Университет Геодезии и картографии.
50. Милев Г. Современный геодезический метод за исследование на деформации. София, Техника, 1978 г., с 153.
51. Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцов А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. М. «Недра», 1977 г.
52. Морис Г. Современная физическая геодезия. М. «Недра», 1983 г.
53. Нейман Ю.М. Алгоритм проектирования геодезических построений на ЭВМ. Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 6. 1966 г., с 33-45.
54. Николаев С.А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. М. «Недра», 1983 г.
55. Панкрушин В.К., Васильев Е.А. Рекуррентное решение задачи обработки многомерных временных рядов геодезических наблюдений современных движений земной коры. Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 4, 1982 г., с 8-16.
56. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. М. «Недра», 1980 г.
57. Практикум по прикладной геодезии. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений. М. «Недра», 1993 г., с 154-368.

58. Рабинович И.Е. Уравнивание свободных сетей и задача контроля устойчивости высотной основы. Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, вып. 4, 1977 г., с 70-78.
59. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений. М. Стройиздат, 1967 г.
60. Руководство по наблюдениям за осадками фундаментов и деформациями крупнопанельных зданий массового строительства. М. Стройиздат, 1964 г.
61. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. М. Энергия, 1980 г.
62. Руководство по производству геодезических работ в промышленном строительстве ЦНИИОМТЛ, Стройиздат, 1977 г.
63. Рунов И.В. Анализ способов оценки устойчивости реперов исходной основы. Геодезия и картография, № 7, 1976 г.
64. Смирнов Н.В., Белугин Д.А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. М. «Недра», 1969 г.
65. Справочное пособие по прикладной геодезии. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Ключин Е.Б. и др.; под ред. Большакова – М.: Недра, 1987 г., 543с
66. Стефан Н. Атанасов А. Относок израненного по метода на наймалкате квадратина резултати от измерения за определение деформации инженерни съоръжения. Болгария, Софъя
67. Стороженко А.Ф. Метод анализа устойчивости реперов. Изв.вузов. геодезия и аэрофотосъёмка, вып.4 1972 г.
68. Тамутис З.П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. М. «Недра», 1979 г.

69. Тихонов А.Н., Большаков В.Д., Бывшев В.А., Нейман Ю.М. О вариационном методе регуляризации при уравнивании свободных геодезических сетей. Изв.вузов. геодезия и аэросъёмка, вып. 3 1978 г.
70. Фрезель А., Дункан Дж. Теория матриц и её приложение к технике. М. «Мир», 1955 г.
71. Худсон Д. Статистика для физиков. М. «Мир», 1967 г.
72. Цытович Н.А. Механика грунтов. М. Стройиздат, 1983 г.
73. Чеботарёв А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. М. Геодезиздат, 1958 г.
74. Эльясберг П.Е. Определение движений по результатам измерений. М. «Наука», 1976 г.