

Санкт-Петербургский государственный университет

ЛУЧКИН Иван Александрович

Выпускная квалификационная работа

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ
ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО ЩЕЛЕМЕРА**

Основная образовательная программа бакалавриата
“Картография и геоинформатика”
Профиль “Геоинформатика”

Научный руководитель: к.т.н.,
доцент ВОЙНАРОВСКИЙ Александр
Евгеньевич

Рецензент: к.т.н.
ПЕТРОВ Владимир Викторович

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Обзор рынка устройств для наблюдения за раскрытием трещин.....	5
Глава 2. Фотограмметрический щелемер, описание и исследования	9
2.1 Устройство щелемера	9
2.2 Принцип работы щелемера	12
2.3 Исследования.....	13
2.3.1 Общее исследование точности работы фотограмметрического щелемера при моделировании разных и одинаковых ракурсов съёмки.....	14
2.3.2 Исследование рельефного маяка, необходимость использования марок, лежащих в разных плоскостях	16
2.3.3 Исследование влияния фокуса и положения главной точки снимка на точность работы щелемера на расстояниях более 3-х метров	19
2.3.4 Исследование точности при наблюдении трещин углов.....	23
2.3.5 Исследование предельного отступления пластин от общей плоскости	25
Глава 3. Методика проведения наблюдений	27
3.1 Методика калибровки маяка	27
3.2 Установка маяка	29
3.3 Методика проведения съёмки.....	30
Заключение.....	33
Список литературы.....	34
Приложение.....	35

Введение

В настоящее время, геодезические и фотограмметрические активно применяются на всех этапах строительства: на этапе проектирования здания или сооружения, строительства и контроля. Эти методы также используются для последующего мониторинга деформаций построек. В частности, их можно применить для наблюдения за трещинами.

Трещины и щели в строительных конструкциях могут появляться по разным причинам. В металлических конструкциях они могут быть вызваны износом металла, в бетонных конструкциях трещины могут возникать в результате выветривания, просадки грунтов, воздействием воды в холодное время года. Так же, трещины в зданиях могут возникать при строительстве вблизи наблюдаемого объекта, поскольку возникает наклон в сторону более поздней постройки.

На данный момент не существует единой классификации трещин, поэтому они классифицируются по разным признакам. В рамках данной работы можно выделить классификацию на статичные и прогрессирующие. Статичные трещины – трещины, которые со временем не раскрывают, а сохраняют свою изначальную величину. Прогрессирующие же имеют тенденцию к увеличению и раскрытию, причем по всем трём осям. Именно эти трещины требуют особого внимания и наблюдения, т.к. представляют наибольшую опасность и, помимо этого, при комплексном наблюдении за множеством трещин одного сооружения, становится возможным выявить общие деформации, просадку грунтов, непрочности и слабые места конструкции.

Для выявления прогрессирующих трещин и наблюдения за ними применяются геодезические методы, щелемеры, маяки и тензодатчики. Существует несколько видов устройств для наблюдения за трещинами, но на данный момент технологии мониторинга трещин либо устарели, либо достаточно дороги в эксплуатации. НПП «Фотограмметрия» представило новый вид щелемеров – фотограмметрический.

Методы фотограмметрии имеют ряд достоинств:

1. Высокая точность результатов, за счёт методов обработки;
2. Высокая степень автоматизации процесса измерений и обработки и, следовательно, объективность результатов;

3. Высокая производительность, поскольку измеряются не сами объекты, а их изображения;
4. Возможность проводить дистанционные наблюдения в случаях, когда применение контактных способов наблюдений могут быть небезопасны или экономически невыгодны;
5. Экономическая выгода, поскольку фотограмметрический способ наименее затратный, в отличие от других.

Технология наблюдения за трещинами и деформационными швами, в основу которой положены фотограмметрические методы, позволит максимально оптимизировать процесс наблюдений, обработки и анализа результатов. Это обуславливает актуальность данной работы, поскольку наблюдение за динамикой развития трещин в зданиях, а также за величиной раскрытия деформационных швов в инженерных сооружениях – важная задача инженерного обследования и геодезического мониторинга, а предложенное решение всеми достоинствами фотограмметрических методов. Таким образом, применение фотограмметрического щелемера позволит получать высокоточные результаты в короткие сроки и с минимальными затратами.

Поскольку предложенная технология принципиально отличается от большинства решений задач, связанных с наблюдением трещин, которые есть на рынке, её необходимо исследовать ещё на этапе разработки, чему и посвящена данная работа.

Таким образом, цель работы можно сформулировать как необходимость экспериментально подтвердить или опровергнуть ряд теоретических положений, возникающих в процессе разработки, а для достижения этой цели решить следующие задачи: моделирование различных условий наблюдения, анализ результатов и оценка точности работы устройства.

Глава 1. Обзор рынка устройств для наблюдения за раскрытием трещин

Для решения задач наблюдения за развитием трещин, а также за величиной раскрытия деформационных швов, помимо геодезических методов, применяются различные типы щелемеров и тензодатчиков.

Ниже приведены некоторые средства контроля за величиной раскрытия трещин.

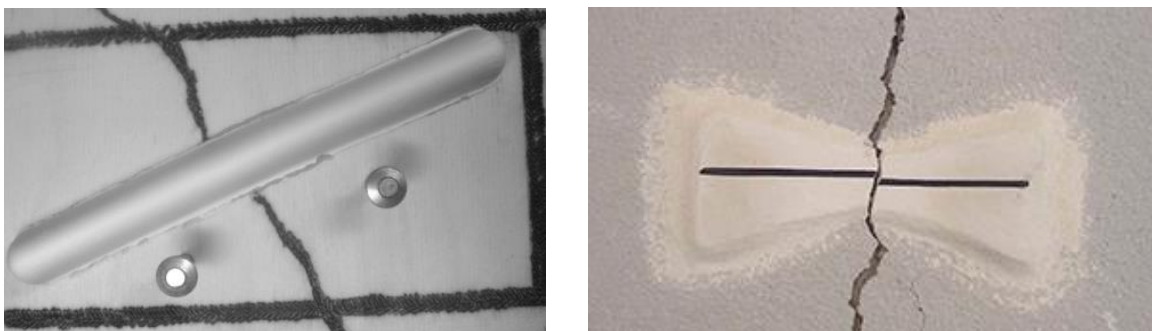


Рис.1. Гипсовые маяки (источник: <http://www.nsd52.ru/>)

Гипсовые маяки. Принцип работы этих маяков заключается в том, что поверх трещины наносится гипс, который разламывается при деформации трещины. Данные устройства неточные и позволяют приблизительно оценить деформации.

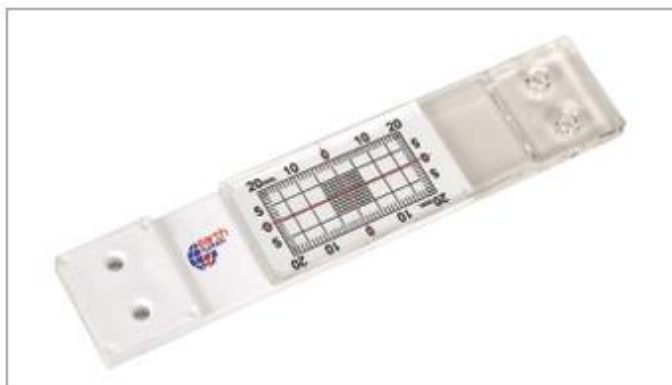


Рис.2. Механический маяк (источник: <http://www.nsd52.ru/>)

Механические маяки. Данные маяки выполнены из 2-ух частично наложенных друг на друга пластин. Верхняя пластина имеет перекрестие, а нижняя имеет сетку, с помощью которой можно оценить деформацию по 2-ум осям. Этот вид маяков обеспечивает точность не выше 0.5 мм.



Рис.3. Шкаловый маяк (источник: <http://www.nsd52.ru/>)

Шкаловые маяки. Они похожи на механические, только пластины заменены шкаловым датчиком со стержнем, который вплотную прижат к упору с другой стороны трещины. При изменении ширины раскрытия трещины, упор «отъезжает», стержень выдвигается, а показания шкалового датчика меняются, что позволяет мониторить деформации. Точность шкаловых маяков достигает 0.01 мм.

Следует отметить, что в большинстве случаев геодезическими методами затруднительно обеспечить точность выше 0.1 мм.

Существуют и высокоточные средства контроля за величиной раскрытия трещин.



Рис.4. Электронный щелемер
(источник: <http://www.nsd52.ru/>)



Рис.5. Проволочный тензометр
(источник: <http://www.nsd52.ru/>)

Электронные щелемеры и проволочные тензометры. Эти приборы состоят из корпуса, внутри которого встроены датчик смещения и подвижный стержень, соединенный с преобразователем движений в электрический сигнал. Края датчика закрепляются с обеих сторон трещины. Проволочные тензометры работают по такому же принципу, но стержень в них заменён катушкой с проволокой.

Это наиболее эффективные датчики, обеспечивающие высокую точность (до нескольких микрон и выше). Но из-за высокой стоимости применяются только на наиболее важных и опасных объектах. Так же существуют высокоточные электронные измерители, которые по сути являются раздвижной линейкой с высокоточным датчиком.

Отдельного внимания заслуживают итальянская и корейская разработки.



Рис.6. Щелемер Geosec (источник: <http://cracktest.it/>)

Сайт <http://cracktest.it/> (итальянская разработка) предлагает пользователю скачать приложение и распечатать 2 блока для маяка. Эти блоки наклеиваются с каждой стороны трещины, а затем фотографируются приложением с некоторым интервалом. Внутренний алгоритм позволяет исправить искажения изображения, если устройство не параллельно стене и опорам. Система получает данные измерений, проверяет их и записывает во внутреннюю базу данных, сравнивая ее с предыдущими мерами. Возвращаемый график отражает тенденцию измерений с течением времени и позволяет понять, увеличивается ли открытие повреждения или нет. Точность этого метода составляет 0.1 мм.

Корейская разработка представляет собой насадку для камеры смартфона, которая позволяет снимать трещины вплотную и определять ширину раскрытия с точность до 0.01 мм. Несмотря на высокую точность и достаточно высокую стоимость (порядка 19-ти тысяч рублей), этот метода накладывает ряд ограничений. Например, трещина не может быть шире насадки, но самое главное – необходимо снимать трещину вплотную, прикладывая насадку к месту разлома, что не позволяет проводить комплексные наблюдения в большинстве случаев.



Рис.7. Насадка для съёмки (источник: <http://www.weltwave.com/>)

Важно отметить, что все вышеперечисленные щелемеры устроены таким образом, что отслеживают перемещение только по одному из направлений (в большинстве случаев, перпендикулярно направлению трещины), редко – по двум. Если необходимо наблюдать за пространственными деформациями, то придётся установить сразу 3 датчика, что существенно усложнит систему и повысит её стоимость.

Глава 2. Фотограмметрический щелемер, описание и исследования

Принимая во внимание всё вышесказанное, в 2015 году НПП «Фотограмметрия» начало разработку нового типа щелемера, работающего на основе методов фотограмметрии. Фотограмметрический щелемер — это аппаратно-программный комплекс, позволяющий вести высокоточный трёхмерный мониторинг трещин, технологических щелей или деформационных швов.

Во время разработки исходили из следующих принципов, на которых должна основываться работа фотограмметрического щелемера:

1. Фотограмметрический щелемер состоит из двух блоков фотограмметрических марок, фотокамеры и специального программного обеспечения;
2. Принцип работы основан на том, что блок марок фотографируется камерой, и по результатам строгой фотограмметрической обработки определяется расстояние между центральными марками в каждом блоке;
3. Технология должна быть доступна для освоения и использования неспециалистами в области фотограмметрии.

2.1 Устройство щелемера

Сам маяк представляет собой две рельефные металлические пластины, на которые наклеены распечатанные блоки фотограмметрических марок. Эти пластины крепятся по обе стороны деформационного шва или трещины.

На разных этапах разработки маяк претерпевал некоторые изменения. Например, изначально щелемер был плоским, без марок, лежащих в разных плоскостях. Менялись сами блоки марок, добавлялись границы, кодовые марки.

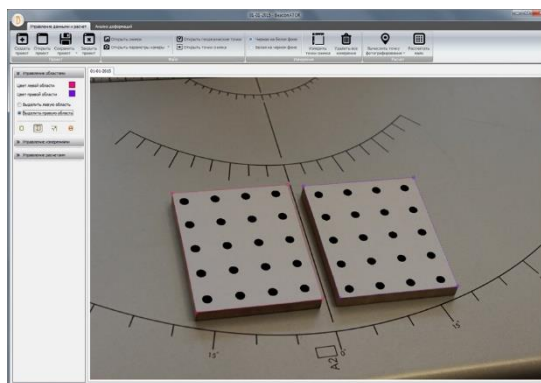


Рис.8. Фотограмметрический маяк тип-2 (разработка НПП «Фотограмметрия»)

Как было сказано раньше, у этого типа маяка нет ни границ блоков марок, ни точек, лежащих в разных плоскостях. Область автоматического поиска марок отрисовывается пользователем вручную по краям пластины «на глаз».



Рис.9. Фотограмметрический маяк тип-3 (разработка НПП «Фотограмметрия»)

В маяке третьего типа были добавлены границы блоков фотограмметрических марок, для более наглядного и точного выделения области поиска.

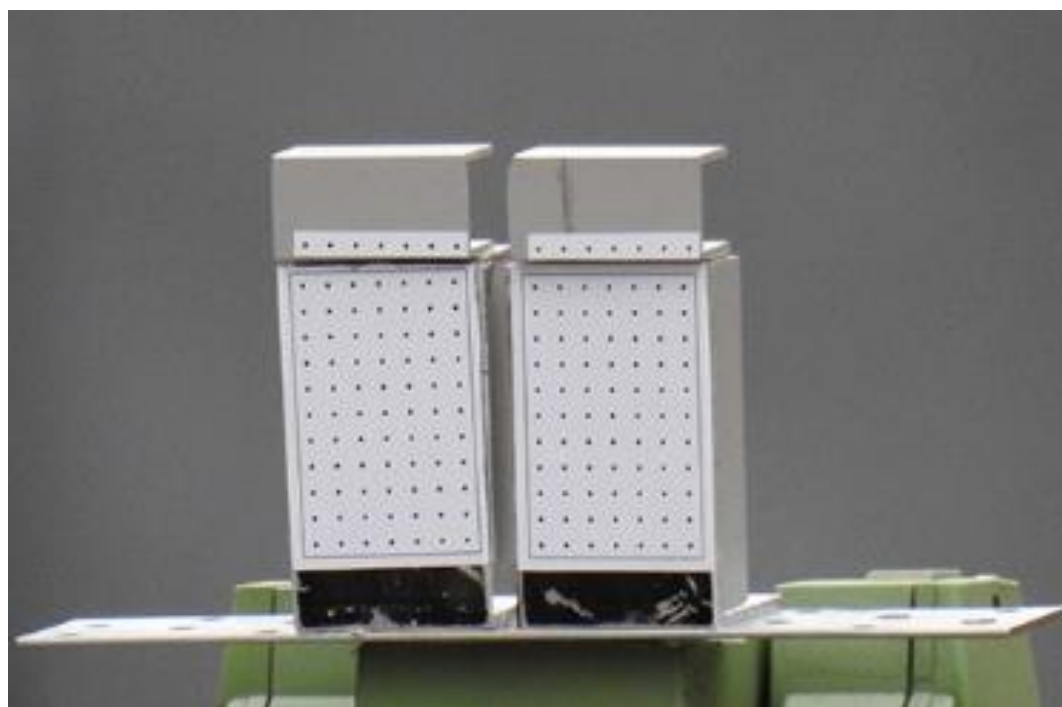


Рис.10. Макет неплоского маяка (разработка НПП «Фотограмметрия»)

В результате исследований была выявлена необходимость использования точек, лежащих в разных плоскостях, которые были добавлены в четвёртой версии маяка.

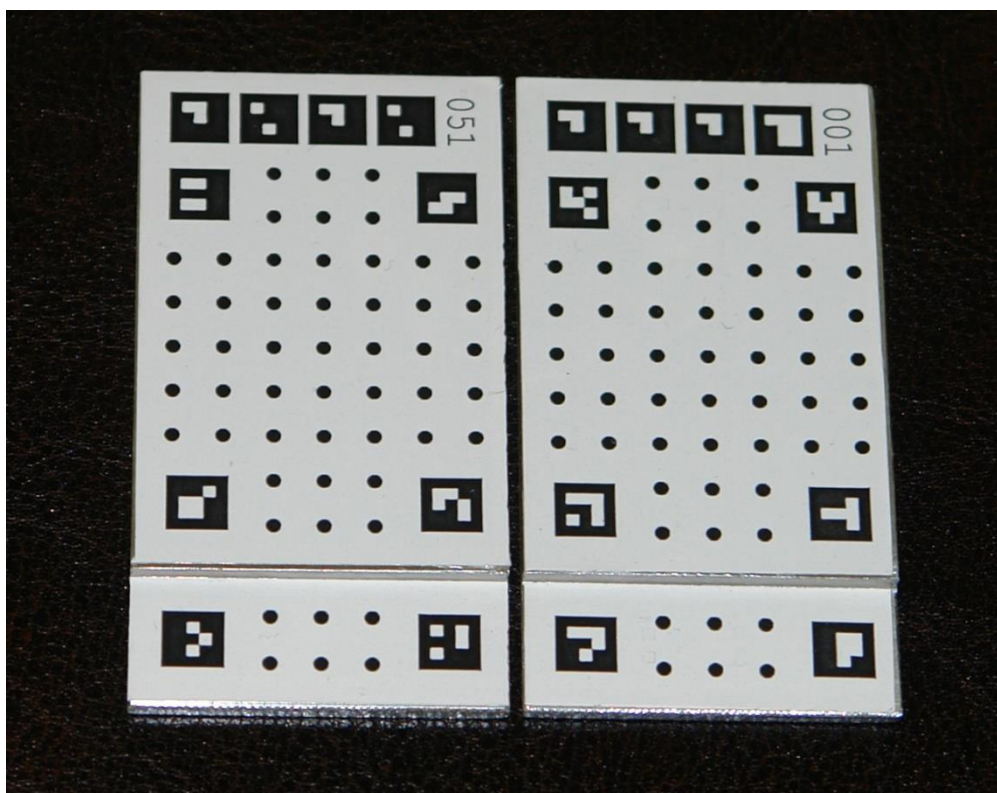


Рис.11. Фотограмметрический маяк тип-5 (разработка НПП «Фотограмметрия»)

Последняя, пятая версия маяка стала наиболее удобной для конечного пользователя. Пластинам были присвоены номера, границы были заменены кодовыми марками, в результате чего все измерения были максимально автоматизированы. С их помощью программа автоматически определяет области поиска марок и номер маяка. Пользователю достаточно нажать на кнопку в программе.

Отдельно следует обратить внимание на ПО. Обработка результатов съёмки велась в программе PhotoMicrometer, которая так же является разработкой НПП «Фотограмметрия».



Рис.12. PhotoMicrometer

Данное ПО обеспечивает:

- автоматическое нахождение и идентификация маяка на снимках;
- автоматическое нахождение и измерение марок на снимках;
- решение обратных фотограмметрических засечек, калибровка снимков;
- вычисление взаимного положения систем координат левого и правого блоков марок, оценка точности;
- вычисление и визуализация деформаций по нескольким циклам наблюдений.

2.2 Принцип работы щелемера

Как было неоднократно сказано выше, в основе работы данного щелемера лежат методы фотограмметрии. В данном случае, основной задачей является определение взаимного положения центров блоков марок, расположенных по обе стороны трещины. Для этого необходимо найти элементы внешнего ориентирования снимков (далее ЭВО), то есть решить обратную фотограмметрическую засечку (далее ОФЗ).

Теоретическая основа ОФЗ – уравнения коллинеарности:

$$\left. \begin{aligned} x_0 - f \frac{a_{11}(X - X_S) + a_{12}(Y - Y_S) + a_{13}(Z - Z_S)}{a_{31}(X - X_S) + a_{32}(Y - Y_S) + a_{33}(Z - Z_S)} - x &= 0 \\ y_0 - f \frac{a_{21}(X - X_S) + a_{22}(Y - Y_S) + a_{23}(Z - Z_S)}{a_{31}(X - X_S) + a_{32}(Y - Y_S) + a_{33}(Z - Z_S)} - y &= 0 \end{aligned} \right\}$$

От данных зависимостей берутся частные производные, что даёт нам систему линейных уравнений, которая итеративно решается по методу наименьших квадратов (далее МНК), на каждой итерации уточняются разные параметры.

Важно отметить, что ОФЗ решается дважды, относительно каждой пластины, т.е. каждый блок марок находится в своей собственной системе координат (далее СК).

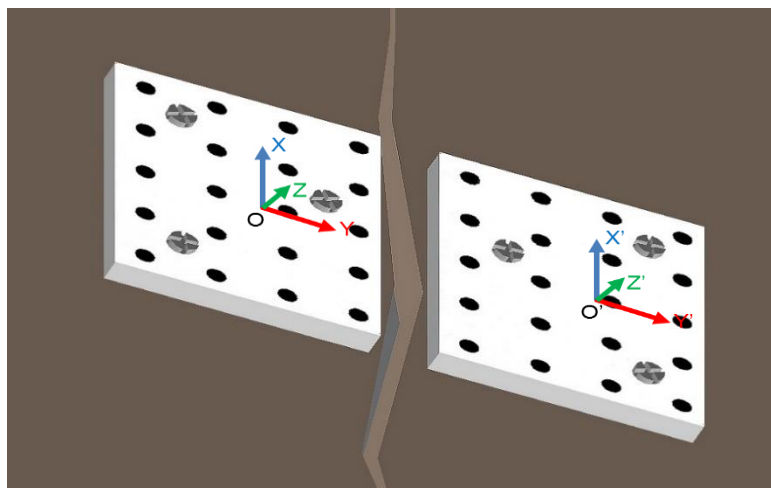


Рис.13. Системы координат двух блоков марок

После решения двух ОФЗ мы получаем два набора ЭВО. Это очень важно, поскольку, получив две точки фотографирования, мы можем найти расстояния между ними, что и является искомыми сдвигами. Так как мы имеем две СК, то необходимо привести их в одну. Поскольку нам известны ЭВО ориентирования каждой пластины, мы можем применить ортогональные преобразования, чтобы привести обе СК в СК левой пластины и, т.к. центры проекций теперь находятся в одной СК, найти искомое расстояние.

Таким образом, нахождение деформаций можно разделить на 2 этапа:

1. Определение ЭВО относительно каждой пластины. 2 пластины с своих СК, 2 ОФЗ, следовательно, 2 центра проекций, а расстояние между ними – смещение.
2. Ортогональные преобразования с помощью угловых ЭВО и нахождение разности между координатами точек фотографирования.

Конечно, эту задачу можно решить и стандартными фотограмметрическими методами. Но в случае, если пластины сдвинулись, то мы меряем только их движение, а для выявления деформации необходимо иметь результаты предыдущих наблюдений. Предложенный метод позволяет определить положение правой пластины относительно левой, что даёт возможность определять деформации, не имея предварительных значений.

2.3 Исследования

В данном параграфе приведены основные исследования точности и возможностей фотограмметрического щелемера, а также выдержки из таблиц, составляющих отчёты о соответствующих исследованиях. Целиком таблицы приведены в приложении.

2.3.1 Общее исследование точности работы фотограмметрического щелемера при моделировании разных и одинаковых ракурсов съёмки

В первую очередь, стояла задача проверить стабильность (повторяемость) результатов наблюдений при использовании разных снимков. Для этого было необходимо имитировать реальные условия съёмки. С этой целью маяк крепился на тахеометр, которому придавались разные углы поворота и наклона (α и ω). Таким образом получалось моделирование реальных условий съёмки. Например, чем больше высота положения маяка относительно камеры, тем выше угол ω .

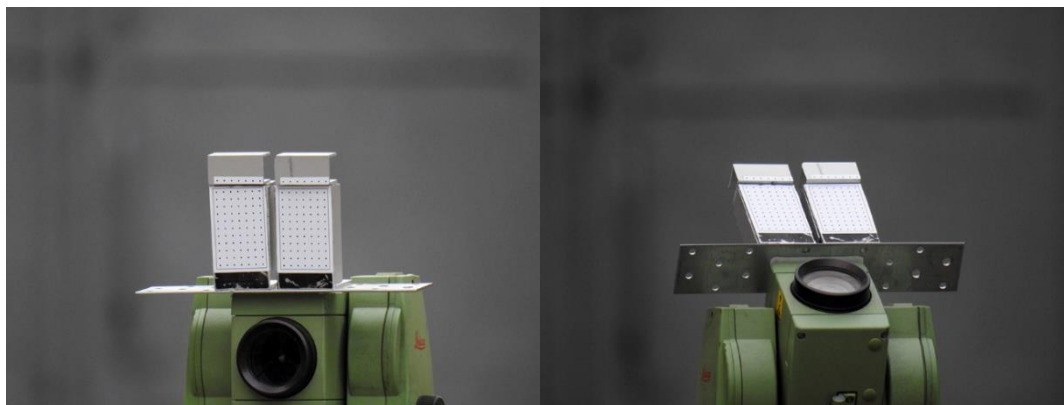


Рис.14. Моделирование разных ракурсов съёмки

Чтобы сделать однозначный вывод о точности и стабильности работы фотограмметрического щелемера, необходимо было проверить внутреннюю сходимость результатов при наблюдении деформаций с одинаковых и разных ракурсов.

При исследовании стабильности результата при разных ракурсах съёмки была составлена следующая программа наблюдений: угол α менялся от -60° до $+60^\circ$ с шагом 20° , т.е. $\alpha = -60^\circ, -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$. Угол ω изменялся от 0° до 60° с таким же шагом. Программа наблюдений была составлена таким образом, что получались все возможные комбинации углов α и ω . При каждом положении маяка делалось несколько снимков, из которых потом выбирались наиболее четкие и отвечающие требованиям наблюдений. Наблюдения проводились с разных дистанций: с 3-х метров, с 10-ти метров, с 20-ти метров.

Из полученных снимков в программе PhotoMicrometer формировались проекты. В предыдущей главе описывался стандартный цикл наблюдений, результатом которого являются 3 снимка, формирующие проект. Но на этапе исследований проекты формировались не только из 3 последовательных снимков (слева, напротив, справа), но и из 2 снимков, и из непоследовательных снимков. Это было сделано с целью проверить, насколько точным и стабильным будет результат, если условия эксперимента не будут приближены к идеальным, а наоборот, будут смоделированы плохие условия.

В таблице ниже приведены результаты определения взаимного положения центров блоков марок при разных ракурсах съёмки. Так же, указаны ракурсы съёмки и положения, в которых делались снимки. Проекты сгруппированы по дистанциям.

Таблица 1. Результаты определения взаимного положения центров блоков марок маяка при разных ракурсах съёмки

Расстояние	Проекты/углы	dX	dY	dZ
3 метра	альфа +-20 (омега 0)	46.5015	-0.4295	-1.8612
	альфа +-20 0 (омега 0) (3 снимка)	46.5023	-0.4295	-1.8625
	альфа +-60 (омега 0)	46.5259	-0.3772	-1.8774
	альфа +-60 0 (омега 0) (3 снимка)	46.5104	-0.3770	-1.8748
	альфа -20 0 (омега 0)	46.5035	-0.4249	-1.8648
	омега 20 40 (альфа 0)	46.5156	-0.3858	-1.8770
	омега 20 60 (альфа 0)	46.5034	-0.4176	-1.8854
	омега 20 альфа -60, омега 60 альфа +40	46.4865	-0.4240	-1.8985
10 метров	альфа 0. омега 0 60	46.4855	-0.4552	-1.8689
	альфа +-20 (омега 0)	46.5076	-0.3470	-1.8825
	альфа +-20 0 (омега) (3 снимка)	46.4981	-0.3467	-1.8811
	альфа +-60 (омега 0)	46.5351	-0.3479	-1.8945
	альфа +-60 0 (омега 0) (3 снимка)	46.4986	-0.3468	-1.8887
	альфа -20 0 (омега 0)	46.4808	-0.3937	-1.8730
	омега 20 40 (альфа 0)	46.4988	-0.3670	-1.8805
	омега 20 60 (альфа 0)	46.4949	-0.4841	-1.9122
20 метров	альфа 20 омега 0, альфа -20 омега 40	46.4867	-0.4090	-1.8645
	альфа 20 омега 0, альфа -40 омега 0	46.4785	-0.4420	-1.8775
	альфа 0 омега 0, альфа 0 омега 20, альфа 0 омега 40	46.4895	-0.3710	-1.8739
	альфа 0 омега 40, альфа -20 омега 40	46.4707	-0.3693	-1.8603
	альфа -40 омега 0, альфа 0, омега 40	46.4636	-0.4163	-1.9044
	альфа 40 омега 20, альфа 0 омега 20, альфа -40 омега 20	46.5471	-0.4099	-1.8927
		m_{dx}	m_{dy}	m_{dz}
3 метра		0.0115	0.0238	0.0127
10 метров		0.0165	0.0546	0.0136
20 метров		0.0299	0.0281	0.0169
Общие		0.0199	0.0384	0.0142

Из приведённых результатов можно сделать вывод, что щелемер обеспечивает точность 0.02-0.04 мм, при плохих условиях съёмки.

Данный эксперимент выполнялся камерой Canon EOS 600D с объективом, который имеет небольшое фокусное расстояние, следовательно, на больших расстояниях съёмка была затруднена. Камера устанавливалась в «ручной» режим, автофокус и стабилизатор отключались, что обеспечивало неизменность главной точки снимка и фокуса на всех снимках.

Следующим этапом эксперимента было определение стабильности результата при одинаковых ракурсах съёмки, но разных снимках. Для проведения этого этапа программа

наблюдений была изменена: угол $\alpha = -15^\circ, 0^\circ, +15^\circ$; угол ω принимал значения: $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$.

Таблица 2. Результаты определения взаимного положения центров блоков марок маяка при одинаковых ракурсах съёмки

по 3 снимка на разных расстояниях и углах омега				
Проекты		dX	dY	dZ
3 метра омега 20	1	45.6432	-1.3818	-1.8715
	2	45.6356	-1.3651	-1.8689
	3	45.6397	-1.3606	-1.8655
	4	45.6367	-1.3673	-1.8686
	5	45.6372	-1.3781	-1.8718
10 метров омега 40	1	45.6325	-1.3904	-1.8755
	2	45.6324	-1.3967	-1.8771
	3	45.6302	-1.3750	-1.8662
	4	45.6316	-1.3764	-1.8646
	5	45.6312	-1.3748	-1.8623
20 метров омега 60	1	45.6373	-1.3927	-1.8831
	2	45.6356	-1.4431	-1.9417
	3	45.6267	-1.4577	-1.9659
	4	45.6350	-1.4023	-1.8933
	5	45.6287	-1.4197	-1.9107
		m_{dX}	m_{dY}	m_{dZ}
3 метра		0.0030	0.0090	0.0026
10 метров		0.0010	0.0102	0.0067
20 метров		0.0047	0.0272	0.0344
Общие		0.0044	0.0284	0.0307

С каждого ракурса было сделано по 5 одинаковых снимков, из которых потом формировалось 5 проектов на каждое расстояние, в каждом по 3 снимка. Съёмка так же велась с 3-х, с 10-ти и с 20-ти метров. Всего в этот этап исследования вошло 15 проектов.

Как видно из таблицы 2, при одинаковых ракурсах съёмки точность определения расстояний по оси X доходит до нескольких микрон, по Y до 0.01 - 0.03 мм, по Z 0.003 – 0.03 мм.

2.3.2 Исследование рельефного маяка, необходимость использования марок, лежащих в разных плоскостях

Как было сказано в Главе 1, маяк видоизменялся с течением времени. Тип-3 отличается от типа-4 наличием блока марок, который лежит в плоскости отличной от

плоскости основного блока (рис. 9 и 10). Теоретически, использование разноплоскостных блоков марок должно повысить точность, т.к. они позволяют «увидеть» перспективу, но, с другой стороны, наличие таких марок усложняет изготовление маяков, что, в свою очередь, увеличивает стоимость производства. Возникла задача определить, рентабельно ли изготовление рельефных маяков или нет.

Взаимное положение центров пластин в программе определяется по МНК, следовательно, расчёт происходит итеративно. В идеальных условиях первое приближение должно быть максимально точным, но такое решение не является универсальным и создаёт неудобства для конечного пользователя. Поэтому было решено проверить варианты задания начального приближения, при обработке наблюдений плоского и неплоского маяка, с целью поиска универсального решения.

Поскольку предстояли большие объёмы работы, было принято решение сократить программу наблюдений. Таким образом на 3-х и 10-ти метрах, съёмка проводилась при значениях угла $\alpha = 0^\circ, -20^\circ, -40^\circ$. С точки зрения поставленной задачи, наличие углов $\alpha = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$ не повлияло бы на результат, т.к. по сути отличия только в знаке, но увеличило бы количество вычислений. Значения угла ω остались без изменений. Так же, в целях оптимизации процесса, было принято решение использовать проекты с одиночными снимками (программа позволяет производить наблюдения по одиночным снимкам), поскольку в рамках данного эксперимента, нам важна не точность результата, а отсутствие грубой ошибки. В случае с 20-ти метрами, α принимал значения от 40° до -40° с шагом в 20° , а угол ω от 0° до 40° с таким же шагом. После того, как были отсняты снимки и созданы проекты, снимкам задавалось 9 точек фотографирования по очереди:

1. $\alpha = 45^\circ, \omega = 45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
2. $\alpha = 0^\circ, \omega = 45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
3. $\alpha = -45^\circ, \omega = 45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
4. $\alpha = -45^\circ, \omega = 0^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
5. $\alpha = -45^\circ, \omega = -45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
6. $\alpha = 0^\circ, \omega = -45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
7. $\alpha = 45^\circ, \omega = -45^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
8. $\alpha = 45^\circ, \omega = 0^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр;
9. $\alpha = 0^\circ, \omega = 0^\circ$, расстояние от маяка до камеры – 1 метр.

Таким образом, снимкам задавалось 8 неверных и 1 верная точка фотографирования, которая нам была известна. Далее производился расчёт положения пластин. Сначала наблюдения обрабатывались с использованием марок, лежащих в другой плоскости, затем без их использования. Программа находила некоторые решения даже при неверно заданной точке фотографирования, но возникала т.н. двойственность решений, то есть полученные результаты отличались друг от друга. Встала необходимость определять правильные. В ходе исследования было установлено, что в некоторых случаях программа неверно (зеркально) вычисляла точку фотографирования и, соответственно, давала ложный результат. Помимо зеркальной точки фотографирования, ложные решения можно было определить по большой общей невязке, которые записывались в отдельный файл с невязками вычисленных координат марок. Это и было ключевым моментом исследования, поскольку, как было отмечено в Главе 1, программа должна быть понятна и удобна в использовании неспециалистами в области фотограмметрии. Таким образом, если возможно фильтровать неверные решения по невязкам, то можно застраховать конечного пользователя от получения неверного результата в том случае, если начальное приближение недостаточно точное. Оставалось только проверить, действительно ли во всех случаях наибольшая невязка соответствует неверному решению.

Ниже приведены фрагменты таблицы с результатами данного исследования. Чтобы ознакомиться с полной таблицей см. Приложение.

Таблица 3. Исследование рельефного маяка

3 метра	С выпуклыми точками			Без выпуклых точек		
	Общее количество решений	Количество правильных решений	Минимальная невязка при правильном решении	Общее количество решений	Количество правильных решений	Минимальная невязка при правильном решении
альфа 0						
омега 0	9	9	да	9	5	да
20	9	8	да	9	4	да
40	6	5	да	6	3	да
60	4	3	да	6	3	да
альфа -20						
омега 0	9	8	да	9	5	да
20	8	7	да	9	5	да
40	7	7	да	6	3	да
60	3	2	да	4	2	да
альфа -40						
омега 0	7	6	да	6	3	да
20	6	6	да	7	5	да
40	5	5	да	6	3	да
60	3	3	да	5	3	да
10 метров						
альфа 0						
омега 0	9	9	да	9	5	да, но разница в тысячных
20	8	7	да	9	5	да, но разница в сотых
40	4	4	да	6	3	да
60	3	3	да	4	3	да
альфа -20						
омега 0	8	8	да	9	5	да, но разница в сотых
20	7	7	да	9	5	да
40	4	4	да	7	3	да, но разница в тысячных
60	3	3	да	7	5	да
альфа -40						
омега 0	5	4	да	8	5	да
20	5	5	да	9	5	да
40	6	6	да	6	3	да

Как видно из таблицы, рельефный маяк даёт большее количество верных решений, а также во всех случаях невязка при верном решении ощутимо меньше невязки при ложном. Плоский же маяк зачастую не даёт надежного решения. С увеличением углов и расстояния разница между невязками при противоположных решениях становится меньше, к тому же, имел место прецедент, когда минимальная невязка соответствовала ложному решению.

Таблица 4. Минимальная невязка при ложном решении

омега 20						
альфа 0	7	7	да	8	5	да, но разница в тысячных
20	6	6	да	9	4	нет
-20	8	8	да	9	4	да, разница в 1 10тысячную
40	4	4	да	7	2	да, но разница в тысячных
-40	5	5	да	7	5	да, но разница в сотых

Подобные результаты иллюстрируют ненадежность плоского маяка на расстояниях более 3-х метров. На основании этого исследования маяк было решено производить рельефным.

2.3.3 Исследование влияния фокуса и положения главной точки снимка на точность работы щелемера на расстояниях более 3-х метров

Во всех предыдущих случаях съёмка производилась при отключенных в камере стабилизаторе и автофокусе, что, в свою очередь, является желательным требованием. Но в иногда может возникнуть ситуация, когда пользователю будет удобнее использовать эти функции или он может забыть отключить их. Поэтому необходимо было проверить, возможно ли обеспечить высокую точность результата даже при съёмке со включенными автофокусом и/или стабилизатором.

Для обработки была выбрана уже отснятая в предыдущем эксперименте серия снимков. Из этих снимков формировались проекты, которые были поделены на 2 блока. В первом блоке проекты формировались из 3 трёх снимков маяка в следующих положениях: $\alpha = 0^\circ$ на всех снимках, а угол $\omega = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$. Во втором блоке маяк находился в положениях: $\alpha = 0^\circ$ на всех снимках, а угол $\omega = 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$. Проекты были поделены таким образом, поскольку еще на ранних этапах исследований была замечена систематика изменения результатов обработки, при использовании снимков, на которых угол наклона маяка $\omega = 60^\circ$ и более. Это стало дополнительной целью исследования.

Данная серия была обработана заново и принята за эталон.

Таблица 5. Эталонная серия

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
ФОКУС 1,0		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6429	-1,3911	-1,8724	45,6407	-1,4114	-1,8812
	2	45,6391	-1,3945	-1,8717	45,6383	-1,4088	-1,8785
	3	45,6392	-1,3886	-1,8706	45,6395	-1,4144	-1,8816
	4	45,6374	-1,3890	-1,8722	45,6376	-1,4161	-1,8843
	5	45,6388	-1,3868	-1,8705	45,6390	-1,4147	-1,8825
10м	1	45,6353	-1,3819	-1,8756	45,6242	-1,4518	-1,9050
	2	45,6333	-1,3953	-1,8775	45,6250	-1,4459	-1,9018
	3	45,6326	-1,3791	-1,8758	45,6265	-1,4496	-1,9028
	4	45,6305	-1,3827	-1,8756	45,6282	-1,4567	-1,9057
	5	45,6335	-1,3924	-1,8787	45,6325	-1,4680	-1,9110
20м	1	45,6378	-1,4010	-1,8791	45,6402	-1,4534	-1,8998
	2	45,6328	-1,3972	-1,8835	45,6270	-1,4767	-1,9198
	3	45,6363	-1,3865	-1,8762	45,6363	-1,4617	-1,9085
	4	45,6385	-1,4222	-1,8846	45,6434	-1,4647	-1,9042
	5	45,6383	-1,3990	-1,8827	45,6283	-1,4601	-1,9089
	3м	0,0020	0,0029	0,0009	0,0012	0,0030	0,0021
	10м	0,0017	0,0071	0,0014	0,0033	0,0085	0,0036
	20м	0,0024	0,0130	0,0035	0,0072	0,0085	0,0074
	среднее	45,6364	-1,3925	-1,8764	45,6338	-1,4436	-1,8984

Поскольку пересъёмка всей серии задача трудоёмкая и затратная по времени, было принято решение имитировать работу автофокуса и компенсатора программными способами. Для имитации работы автофокуса фокус снимков, который прописан в EXIF-файлах, был искажён коэффициентом 0,8, а затем присвоен каждому снимку на этапе добавления в проект. Затем снимки были заново обработаны.

Таблица 6. Результаты обработки снимков при фокусе 0.8 от истинного

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
ФОКУС 0,8		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6416	-1,3879	-1,8726	45,6375	-1,4133	-1,8849
	2	45,6378	-1,3913	-1,8718	45,6351	-1,4108	-1,8822
	3	45,6379	-1,3854	-1,8707	45,6362	-1,4163	-1,8853
	4	45,6361	-1,3857	-1,8723	45,6344	-1,4181	-1,8880
	5	45,6376	-1,3836	-1,8706	45,6359	-1,4167	-1,8862
10м	1	45,6360	-1,3786	-1,8752	45,6262	-1,4519	-1,9061
	2	45,6339	-1,3919	-1,8772	45,6269	-1,4461	-1,9030
	3	45,6333	-1,3757	-1,8755	45,6285	-1,4497	-1,9040
	4	45,6313	-1,3792	-1,8753	45,6303	-1,4568	-1,9069
	5	45,6342	-1,3890	-1,8783	45,6346	-1,4681	-1,9122
20м	1	45,6366	-1,3995	-1,8789	45,6385	-1,4536	-1,9003
	2	45,6315	-1,3956	-1,8833	45,6253	-1,4768	-1,9203
	3	45,6350	-1,3850	-1,8760	45,6346	-1,4618	-1,9091
	4	45,6373	-1,4205	-1,8845	45,6417	-1,4648	-1,9049
	5	-	-	-	-	-	-
	3м	0,0020	0,0030	0,0009	0,0012	0,0030	0,0021
	10м	0,0017	0,0071	0,0014	0,0033	0,0085	0,0036
	20м	0,0026	0,0149	0,0039	0,0071	0,0096	0,0086
	среднее	45,6357	-1,3892	-1,8759	45,6333	-1,4432	-1,8995

Известно, что стабилизатор может смещать главную точку снимка от нескольких пикселей, до нескольких десятков пикселей. Поскольку смещение главной точки снимка тождественно смещению фотограмметрических координат марок, то к данным координатам было прибавлено 100 пикселей по оси X с целью имитировать смещение главной точки снимка.

Таблица 7. Результаты обработки снимков при смещении фотограмметрических координат марок на 100 пикселей по оси X

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
X +100		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6529	-1,3949	-1,8739	45,6499	-1,4114	-1,8807
	2	45,6496	-1,3983	-1,8732	45,6478	-1,4090	-1,8781
	3	45,6490	-1,3921	-1,8720	45,6477	-1,4145	-1,8812
	4	45,6478	-1,3928	-1,8737	45,6469	-1,4161	-1,8838
	5	45,6484	-1,3904	-1,8720	45,6477	-1,4148	-1,8820
10м	1	45,6366	-1,3819	-1,8758	45,6242	-1,4532	-1,9061
	2	45,6348	-1,3959	-1,8777	45,6257	-1,4470	-1,9025
	3	45,6343	-1,3791	-1,8762	45,6259	-1,4507	-1,9037
	4	45,6313	-1,3830	-1,8760	45,6272	-1,4582	-1,9069
	5	45,6346	-1,3925	-1,8790	45,6314	-1,4691	-1,9120
20м	1	45,6416	-1,4056	-1,8811	45,6497	-1,4551	-1,9003
	2	45,6386	-1,4005	-1,8842	45,6408	-1,4787	-1,9201
	3	45,6373	-1,3891	-1,8773	45,6432	-1,4629	-1,9089
	4	45,6443	-1,4282	-1,8873	45,6488	-1,4652	-1,9040
	5	45,6412	-1,4035	-1,8844	45,6373	-1,4620	-1,9095
	3м	0,0020	0,0030	0,0009	0,0011	0,0029	0,0021
	10м	0,0019	0,0073	0,0014	0,0028	0,0086	0,0037
	20м	0,0027	0,0143	0,0038	0,0053	0,0086	0,0075
	среднее	45,6415	-1,3952	-1,8776	45,6396	-1,4445	-1,8986

Для каждой таблицы с результатами были посчитаны среднеквадратические отклонения результатов, все разности с эталонными наблюдениями, средние значения и средние разности. Чтобы ознакомиться с полным отчётом о данном исследовании см. Приложение.

Таблица 8. Средние значения и средние разности с эталоном

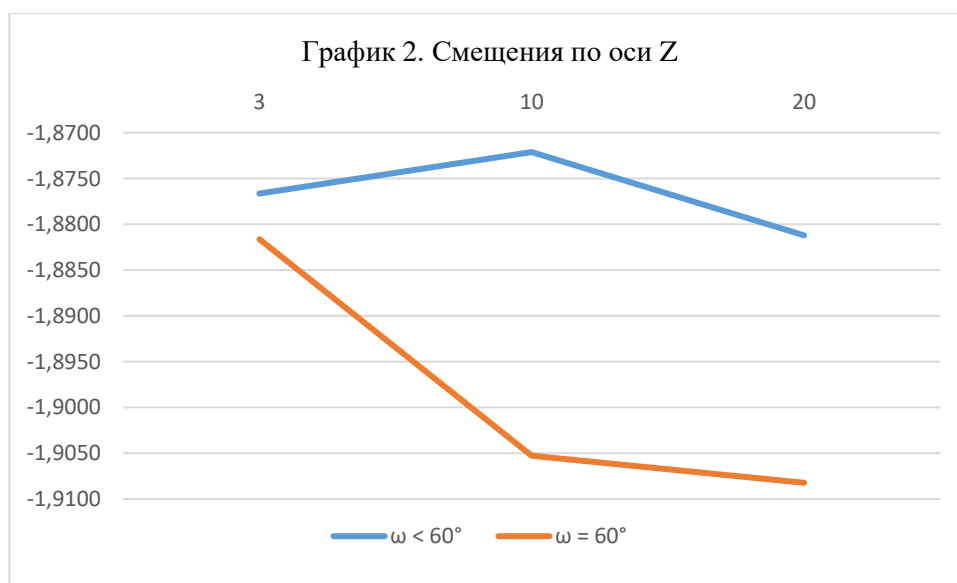
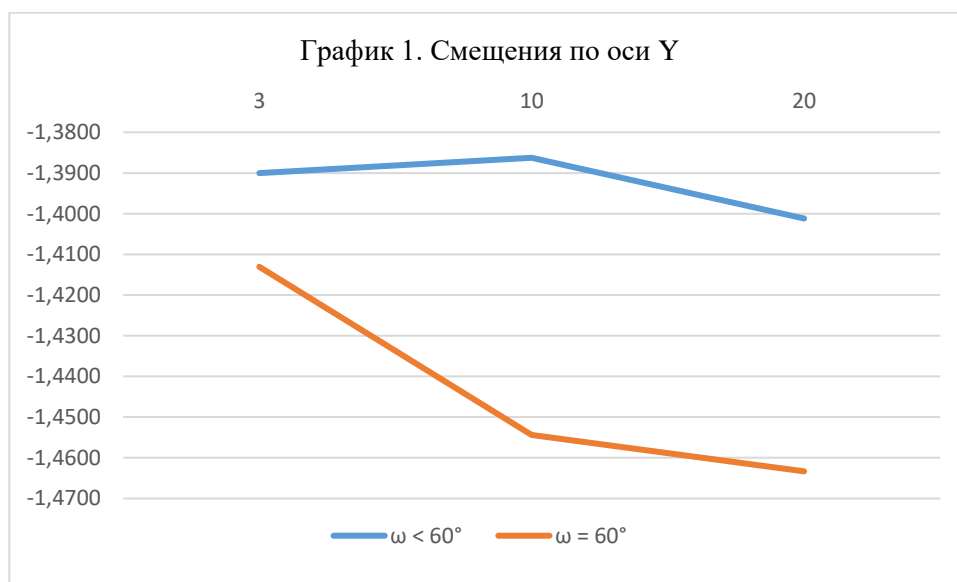
	X	Y	Z	X	Y	Z
Эталон	45,6364	-1,3925	-1,8764	45,6338	-1,4436	-1,8984
Фокус 0.8	45,6357	-1,3892	-1,8759	45,6333	-1,4432	-1,8995
X +100	45,6415	-1,3952	-1,8776	45,6396	-1,4445	-1,8986
Разности с эталоном	X	Y	Z	X	Y	Z
Фокус 0.8	0,0006	-0,0027	-0,0001	0,0009	0,0007	0,0018
X +100	-0,0051	0,0027	0,0011	-0,0058	0,0009	0,0002

Как видно из таблиц, внутренняя сходимость результатов, т.е. повторяемость результата на разных снимках одних положений, не меняется ни в зависимости от смещения главной точки снимка, ни в зависимости от изменения фокуса и колеблется от 0.001 мм до

0.009 мм. Более того, максимальная разность измерений с эталоном - 5 микрон. Из таблицы 8 видно, что наибольшее влияние оказывает смещение главной точки снимка, но разность результатов всё так же остаётся незначительной, поэтому, ею можно пренебречь.

По результатам исследований видно, что автофокус и стабилизатор не сильно влияют на результат при съёмке с 3-ёх и более метров. Но в случае, если снимки сделаны с более близкого расстояния, фокус и главную точку снимка необходимо уточнять.

Помимо основной цели исследования, была достигнута дополнительная. Из таблиц видно, что с добавлением в проект снимков, на которых угол наклона маяка $\omega = 60^\circ$, появляется систематика результатов, которая сохраняется и при смещении главной точки, и при изменении фокуса. Наиболее сильно систематика проявляется в значениях Y и Z. Для наглядного представления были построены графики.



На графике 1 показаны смещения по оси Y, а на графике 2 – по оси Z. Во вертикальной оси отложены средние смещения по заданной оси в миллиметрах, а по горизонтальной – расстояния, с которых проводилась съёмка (в метрах). Синие линии иллюстрируют изменение результатов при использовании снимков на которых угол наклона маяка $\omega < 60^\circ$, а оранжевые – при использовании снимков с углом $\omega = 60^\circ$. Линии трендов позволяют наглядно оценить проявление систематики в результатах. Из графиков видно, что в случае использования снимков с углом $\omega < 60^\circ$, значения по осям Y и Z колеблются в пределах 0.01 мм, а при добавлении снимков, на которых маяк в положении $\omega = 60^\circ$, разности между максимальными и минимальными значениями доходят по оси Y до 0.06 мм, а по оси Z до 0.03 мм. Поэтому, с целью увеличить точность наблюдений и уменьшить систематическое влияние на результат, было введено ограничение на съёмку при угле ω не более 40° - 50° .

2.3.4 Исследование точности при наблюдении трещин углов

Фотограмметрический метод, положенный в основу работы щелемера, позволяет наблюдать не только трещины на стене, но также трещины в углах. Опять же, необходимо проверить надёжность и точность алгоритма вычисления при наблюдении за такими трещинами.

Цикл наблюдений был изменён для обеспечения удобства съёмки, поэтому маяк фотографировался «вертикально». Угол $\alpha \sim 0^\circ$, а угол $\omega \sim -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ$. Значения углов приблизительные, поскольку в данном исследовании не использовался тахеометр и значения определялись «на глаз». Съёмка проводилась с расстояний 0.5 м, 1 м и 2 м.

Обработка происходила в два этапа. Дело в том, что когда мы хотим измерить трещину угла и крепим пластины с двух сторон от него, реальное положение систем координат пластин меняется. Поскольку программа находит смещения относительно центра левого блока марок, то СК правой пластины оказывается повернутой по отношению к ней на угол, близкий к 90° . В этом случае опять встаёт вопрос точности задания первого приближения. Алгоритм уравнивания таков, что даже если используются опорные точки, где марки лежат в одной плоскости, то программа «повернёт» СК правой пластины к левой, но необходимо выяснить пределы задания первого приближения и точность конечного результата. Поэтому, в первую очередь, снимки обрабатывались при стандартных опорных точках. Цель – проверить, удастся ли вычислить и уравнять смещения без дополнительного вмешательства. Вторым этапом координаты марок правой пластины в начальном

приближении задавались повёрнутыми на 90°. Решение провести второй этап основывалось на анализе результатов первого.

Таблица 9. Результаты первого этапа

0,5 метра				
X	Y	Z		
1	48,9602	-48,8730	-1,9173	
2	48,9623	-48,8638	-1,9150	
3	48,9715	-48,8614	-1,9126	
4	48,9572	-48,8814	-1,9170	
5	48,9655	-48,8650	-1,9124	
	0,0055	0,0082	0,0023	0,0101

1 метр				
X	Y	Z		
1	24,9089	-22,7341	2,0303	
2	24,9129	-22,7303	2,0310	
3	24,9178	-22,7285	2,0309	
4	24,9136	-22,7345	2,0302	
5	24,9104	-22,7357	2,0291	
	0,0034	0,0031	0,0008	0,0046

2 метра				
X	Y	Z		
1	48,9709	-48,8064	-1,8429	
2	48,9893	-48,7761	-1,8651	
3	48,9043	-48,8635	-1,8631	
4	49,0134	-48,7297	-1,8407	
5	49,0056	-48,7816	-1,8619	
	0,0437	0,0489	0,0119	0,0666

Таблица 10. Результаты второго этапа

1 метр				
X	Y	Z		
1	24,8937	-22,6970	2,0259	
2	24,8912	-22,7046	2,0236	
3	24,8934	-22,7010	2,0226	
4	24,8921	-22,7071	2,0236	
5	24,8881	-22,7040	2,0240	
	0,0022	0,0039	0,0012	0,0046

2 метра				
X	Y	Z		
1	48,9829	-48,6963	-1,8524	
2	48,9843	-48,7319	-1,8657	
3	48,9403	-48,7220	-1,8944	
4	49,0488	-48,6336	-1,8779	
5	49,0174	-48,6759	-1,8843	
	0,0408	0,0393	0,0163	0,0589

После анализа результатов обоих этапов обработки были сделаны следующие выводы:

1. При измерении трещин углов высокая точность результатов сохраняется;

2. В первом приближении допустимо задавать координаты марок обеих пластин в одной плоскости, при условии, что съёмка проводилась с расстояния 1 метр и более.
3. В случае, если съёмка проводилась с расстояния менее 1-го метра, опорные точки правой пластины необходимо повернуть.
4. Не рекомендуется снимать с расстояния более 1-го метра, в противном случае, точность измерений падает.

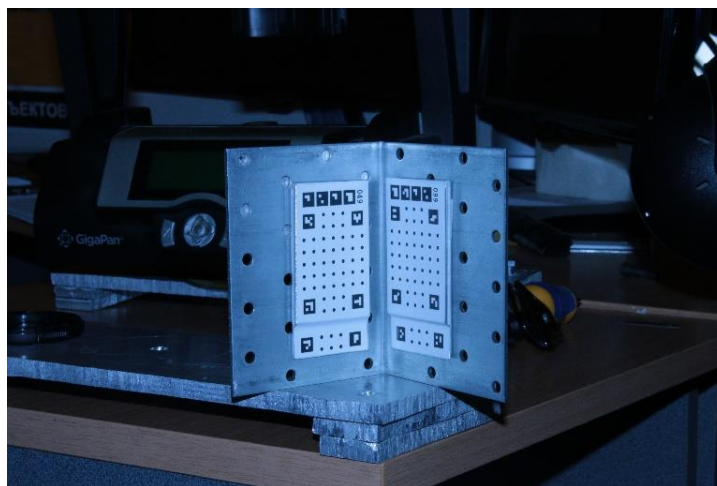


Рис.15. Пример снимка угла

2.3.5 Исследование предельного отступления пластин от общей плоскости

Одним из преимуществ фотограмметрического щелемера является возможность измерения деформаций по трём осям (X , Y , Z), в отличие от конкурентов, которые, как правило, измеряют смещения в одном направлении. Не требуется устанавливать дополнительные датчики и проводить дополнительную съёмку. Все расстояния считаются в программе PhotoMicrometer автоматически.

Из предыдущих исследований было видно, что неплоскостность пластин (отступление от общей плоскости) щелемер определяет с достаточной точностью, но для полной характеристики технологии необходимо установить предел, до которого возможно определять смещения по третьей оси (Y), без потери точности. С этой целью был выполнен ещё один цикл наблюдений. Пластины устанавливались на расстояниях 1, 3, 5 см друг от друга по оси Y , затем проводилась съёмка при следующих углах $\alpha \sim -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ$, а угол $\omega \sim 10^\circ$. В каждом положении камеры было сделано по 3 снимка, из них сформированы проекты, а затем обработаны.



Рис.16. Пример снимка при определении предельного отступления по оси Y

Таблица 11. Определение предельного отступления по оси Y

1 см	X	Y	Z	
1	46,7135	-9,0691	4,7932	
2	46,7121	-9,0596	4,7982	
3	46,7179	-9,0492	4,8010	
	0,0030	0,0100	0,0040	0,0111
2-3 см	X	Y	Z	
1	50,2522	-23,1185	5,9295	
2	50,2499	-23,1443	5,9453	
3	50,2452	-23,1446	5,9382	
	0,0036	0,0150	0,0079	0,0173
5 см	X	Y	Z	
1	64,9805	-51,2823	7,8917	
2	64,9331	-51,4551	7,8239	
3	64,9290	-51,3609	7,8484	
	0,0286	0,0866	0,0343	0,0974

Как видно из исследования, щелемер обеспечивает высокую точность результата при отступлении пластин от общей плоскости до 3 см. Это даёт возможность решать подавляющее большинство производственных задач, поскольку отступление на такую величину по оси Y говорит об аварийном состоянии сооружения. В этом случае целесообразнее проводить мероприятия, направленные на устранение дефектов такого рода.

Глава 3. Методика проведения наблюдений

Описанные в предыдущей главе исследования – необходимый этап разработки новой технологии, поскольку являются экспериментальным подтверждением теоретических предположений. Они позволили определить точность работы фотограмметрического щелемера, а также сделать выводы, которые легли в основу методики наблюдения деформаций с помощью данного устройства.

3.1 Методика калибровки маяка

Прежде чем выполнять наблюдения с помощью щелемера, его необходимо откалибровать. В ходе калибровки мы получаем уточненные координаты марок на маяке. Делается это в первую очередь из-за возможных погрешностей печати марок и погрешностей изготовления самого маяка.

С помощью поворотного столика маяк снимается в 4 положениях (при 4 различных значения угла κ : 0° , $+90^\circ$, -90° , 180°)



Рис.17. Калибровка блока марок с помощью поворотного столика

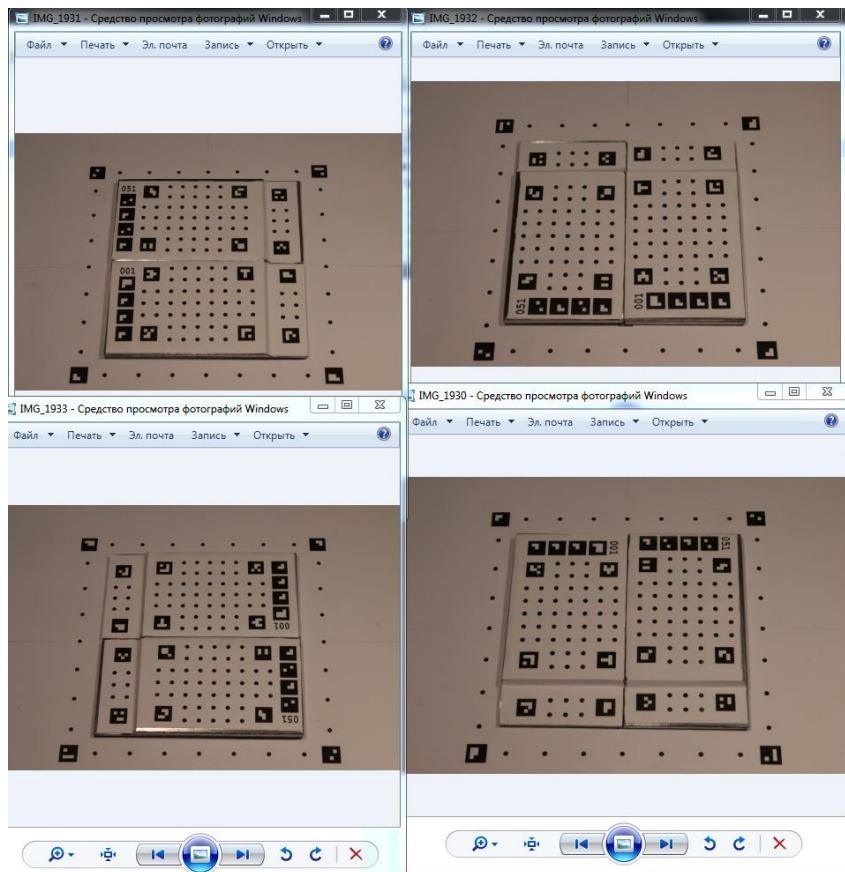


Рис.18. Полученные снимки

С помощью программы Parallax (разработка НПП «Фотограмметрия») измеряются марки на всех фотоснимках, а затем совместно уравниваются по методу наименьших квадратов.

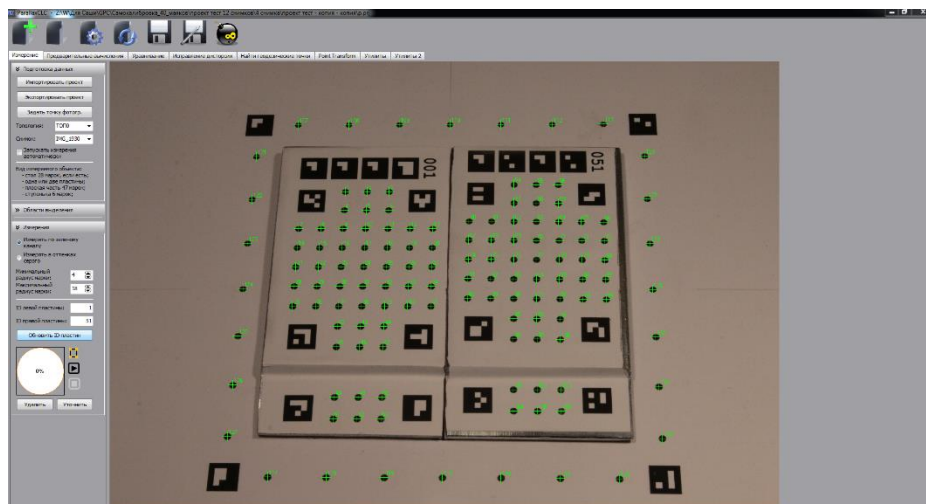


Рис.19. Измерение марок в программе Parallax

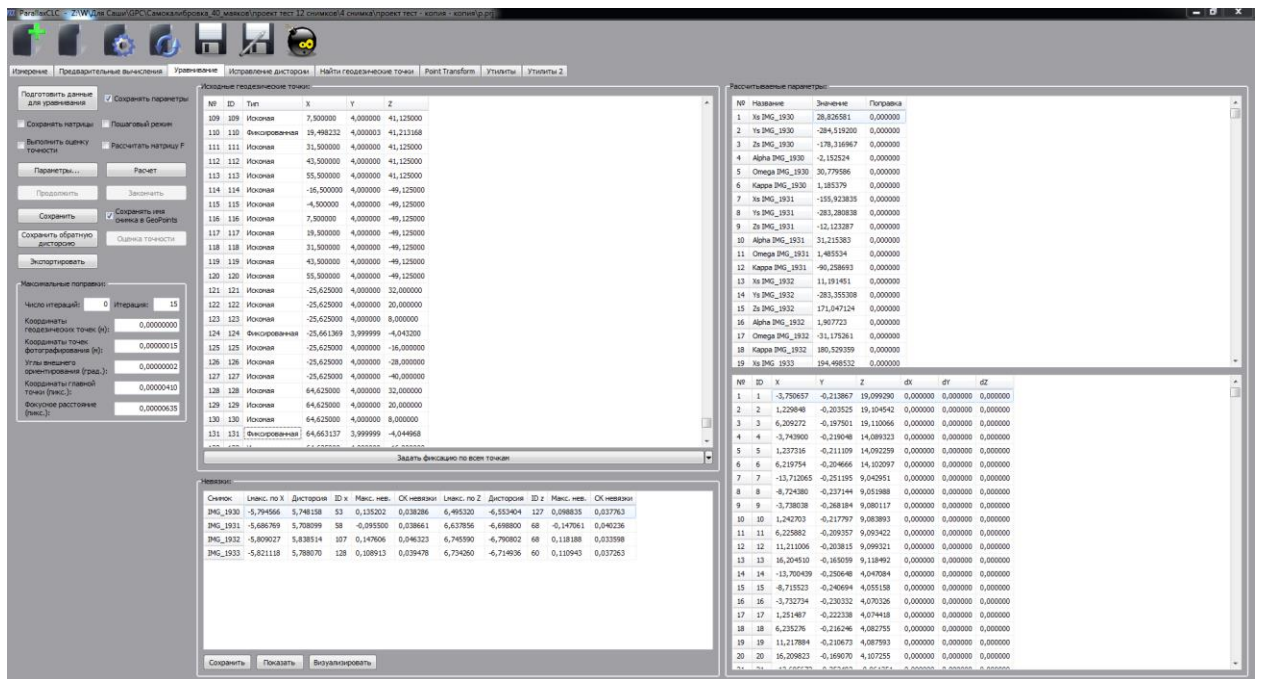


Рис.20. Уравнивание в программе Parallax

В результате уравнивания мы получаем уточненные координаты марок на конкретных маяках. Поскольку каждый маяк имеет свой номер (см. Гл. 2, маяк тип-5), каждый набор координат нумеруется в соответствии с номером маяка. Далее, уточненные координаты марок «зашиваются» в программу, и в таком виде программа поставляется пользователю. Когда пользователь проведёт наблюдения и загрузит снимки в программу, программа автоматически определит номер маяка и подставит необходимый набор координат опорных точек в соответствии с номером.

3.2 Установка маяка

Пластины маяка закрепляются по обе стороны от измеряемой трещины или деформационного шва таким образом, чтобы, по возможности, их вертикальные оси были максимально параллельны и близки друг другу.

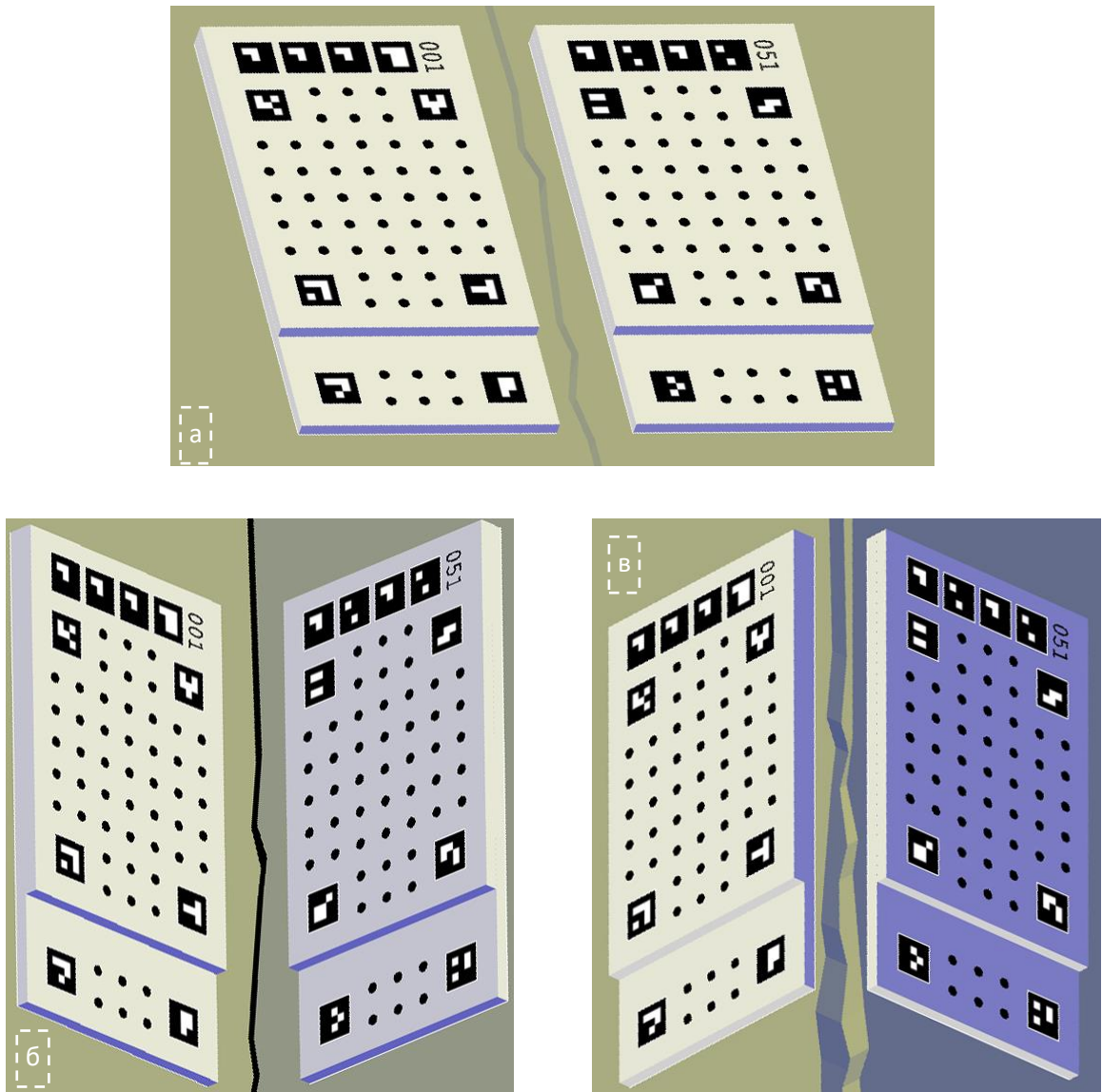


Рис.21. Варианты расположения пластин: а – на стене, б – на внутреннем углу, в - на внешнем углу

3.3 Методика проведения съёмки

Общие правила:

1. Маяк должен занимать, по возможности, большую часть снимка;
2. Изображение должно быть чётким, контрастным, на нём должны быть хорошо различимы все квадратные и круглые марки;
3. Стандартный цикл наблюдений включает в себя стереосъёмку маяка как правило с 3 положений: находясь слева, напротив и справа по отношению к маяку.

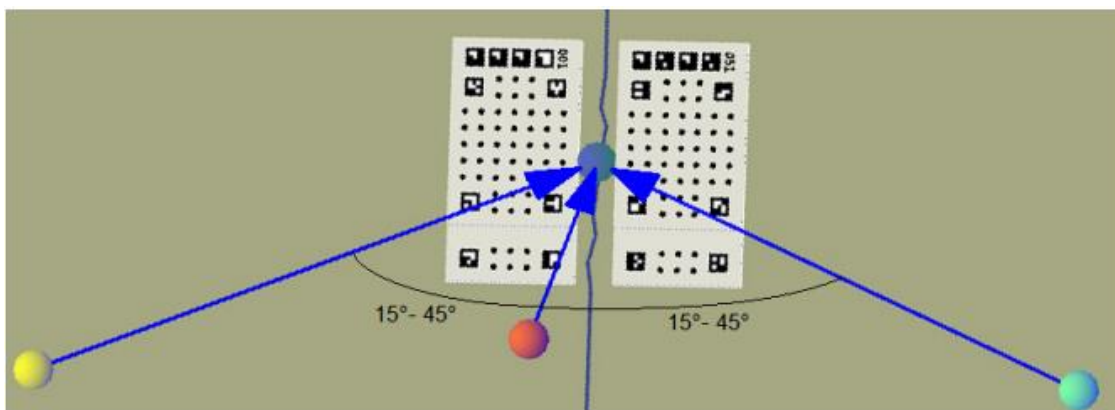


Рис.22. Стандартный цикл съёмки

На рисунке 22 показан стандартный цикл съёмки маяка. Здесь жёлтая, красная и голубая сферы – точки, с которых ведётся съёмка, синие стрелки – направления съёмки. Как видно из рисунка, необходимо снимать так, чтобы синяя сфера (геометрический центр маяка) была в центре снимка. Во время съёмки желательно соблюдать одинаковые расстояния от камеры до маяка, а углы засечек должны находиться в диапазоне от 15° до 45° . Максимально допустимый вертикальный угол (угол ω) – 45° , в противном случае возникает систематическое влияние на результат. Также при съёмке необходимо, чтобы угол между оптической осью камеры (направлением съёмки) и плоскостью маяка был не менее 45° в противном случае надёжность результатов не гарантируется.

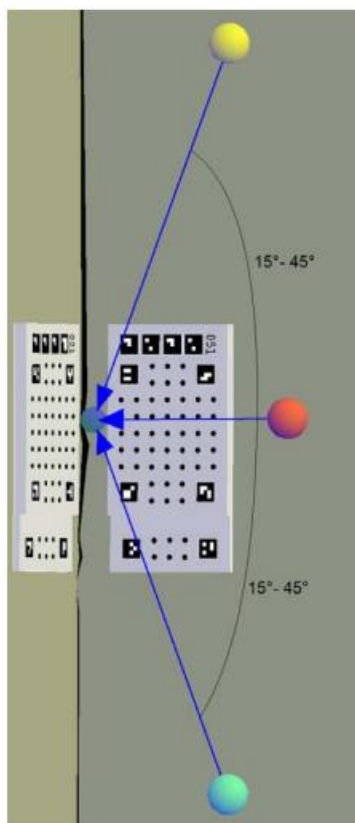


Рис.23. Точки фотографирования маяка на углу

В отдельных случаях возможно отклонение от вышеописанной программы наблюдений, например при съёмке внутреннего угла, который удобнее снимать сверху, напротив и снизу (рис. 23).

Технология наблюдений предполагает возможность выполнения съёмки с разных расстояний. В случае стереосъёмки технология показала надежные результаты на расстояниях съёмки от 0.2 до 20 метров (т.е. с земли можно снимать маяки установленные и на первом и на пятом этажах фасада здания). При этом, чем дальше находятся маяк и камера друг от друга, тем большее фокусное расстояние должно быть установлено на объективе, чтобы обеспечить требуемую детальность изображения. Более того, существует возможность проводить наблюдения и по одиночным снимкам, но в таком случае расстояние от маяка до камеры не должно превышать 50 см, а оптическая ось камеры должна быть по возможности перпендикулярна плоскости маяка.

Следует отметить, что точность определений зависит, в том числе, от числа снимков и позиций съёмки. Поэтому увеличение числа снимков и числа положений съёмки является одним из способов повышения точности и надежности результатов.

Для определения деформаций необходимо проводить наблюдения в разное время. Повторные наблюдения следует проводить при аналогичных условиях, что и предыдущие.

Для получения качественных, пригодных для обработки фотоизображений съёмку нужно выполнять в моменты, когда маяк равномерно освещен, – лучше всего в пасмурную погоду при рассеянном освещении. Не допускается наличие на изображении маяка неравномерно освещенных участков и бликов. В случае, если освещение недостаточно для проведения съёмки, можно использовать вспышку, но нельзя снимать под прямым углом к маяку во избежание бликов на снимке.

При соблюдении всех рекомендаций, фотограмметрический щелемер позволяет обеспечивать точность абсолютных определений порядка 0.01 – 0.02 мм, а деформации и перемещения находить с точностью до 0.005 мм и выше.

Заключение

Разработка высокоточной измерительной системы – сложная и трудоемкая задача, требующая выполнения как теоретических, так и экспериментальных исследований. Часть этих исследований (главным образом экспериментальных) была выполнена в ходе данной дипломной работы. Среди них:

1. Общее исследование точности при моделировании разных и одинаковых ракурсов съёмки;
2. Исследование рельефного маяка, необходимость использования марок, лежащих в разных плоскостях;
3. Исследование влияния фокуса и положения главной точки снимка на точность результатов на расстояниях более 3-х метров;
4. Исследование точности при наблюдении трещин углов;
5. Исследование предельного отступления пластин от общей плоскости.

В результате исследований были определены:

1. Оптимальная форма маяка, для обеспечения универсального решения;
2. Степень влияния стабилизатора и автофокуса на результат;
3. Предельные отступления пластин и углы съёмки маяка;
4. Точность абсолютных определений при наблюдении трещин разного рода.

На основании результатов вышеперечисленных исследований можно заключить, что фотограмметрический щелемер – надежная технология, которая позволяет решать практически все задачи, связанные с наблюдением трещин в зданиях и строительных сооружениях, и обеспечивать высокую точность измерений.

Таким образом, задачи работы выполнены, а цель работы достигнута.

Список литературы

1. Лобанов А. Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов (2-е издание, переработанное и дополненное). М., Недра, 1984, 552 с.
2. Стандарт организации СТО СРО-С 60542960 00043-2015 «Геодезический мониторинг зданий и сооружений в период строительства и эксплуатации». СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», 2015
3. ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений, 2012
4. А. В. Безродных Способы наблюдения за трещинами в несущих конструкциях здания // СтройПРОФИ, 2012. №6
5. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. ЦНИИпромзданий, 2004

Интернет ресурсы

1. <http://здание-инфо.рф/> - мониторинг трещин и производство собственных щелемеров
2. <http://www.nsd52.ru/> - ООО «Нижегородстройдиагностика», материалы раздела «ЩЕЛЕМЕРЫ»
3. <http://cracktest.it/> - Geosec, Италия
4. <http://www.weltwave.com/> - материалы страницы товара Dico Smartphone Crack Gauge

Приложение

Отчёт 1. Результаты определения взаимного положения центров блоков марок маяка при разных ракурсах съёмки

Расстояние	Проекты/углы	X	Y	Z	
3 метра	+ -20 (омега 0)	46,501490814	-0,429481276	-1,861157120	
	+ -20 0 (3 снимка)	46,5022887544	-0,4294965114	-1,8625402280	
	+ -60	46,5258651505	-0,3772401506	-1,8774321698	
	+ -60 0 (3 снимка)	46,5103894930	-0,3769649243	-1,8747793279	
	-20 0 (3 снимка)	46,5035467365	-0,4249376642	-1,8647734740	
	20 40 (альфа 0)	46,5156046679	-0,3857607703	-1,8770075478	
	20 60 (альфа 0)	46,5034304858	-0,4176422558	-1,8853905829	
	омега 20 альфа -60, омега 60 альфа +40	46,4865076096	-0,4239961668	-1,8984964584	
10 метров	альфа 0. омега 0 60	46,4854692968	-0,4551803395	-1,8689109763	
	+ -20 (омега 0)	46,507631275	-0,346970611	-1,882504570	
	+ -20 0 (3 снимка)	46,4980582461	-0,3467228278	-1,8810940286	
	+ -60	46,5350767439	-0,3479048850	-1,8945358087	
	+ -60 0 (3 снимка)	46,4986144558	-0,3467582328	-1,8887229260	
	-20 0 (3 снимка)	46,4807852169	-0,3936763772	-1,8730493944	
	20 40 (альфа 0)	46,4988445585	-0,3669919740	-1,8805325417	
	20 60	46,4949234291	-0,4840960455	-1,9122062878	
	3 метра	0,011542864	0,023793514	0,012655797	0,029317882
	10 метров	0,016482527	0,05462354	0,013563537	0,058646179
	общая	0,014115919	0,042278391	0,013683975	0,04662588

20 метров				
Углы	Проекты	X	Y	Z
альфа 20 омега 0, альфа -20 омега 40	1	46,486673891	-0,409010771	-1,864477395
альфа 20 омега 0, альфа -40 омега 0	2	46,4784903314	-0,4420196868	-1,8774988768
альфа 0 омега 0, альфа 0 омега 20, альфа 0 омега 40	3	46,4894966590	-0,3709971645	-1,8738875826
альфа 0 омега 40, альфа -20 омега 40	4	46,4706627062	-0,3692927927	-1,8603128890
альфа -40 омега 0, альфа 0, омега 40	5	46,4636267550	-0,4163425191	-1,9044171083
альфа 40 омега 20, альфа 0 омега 20, альфа -40 омега 20	6	46,5471105035	-0,4099203588	-1,8927480485

0,0299074949 0,0280888158 0,0168728800 0,044363655

Отчёт 2. Результаты определения взаимного положения центров блоков марок маяка при одинаковых ракурсах съёмки

3 снимка на разных расстояниях и углах омега				
Проекты		X	Y	Z
3 метра омега 20	1	45,64324491	-1,381803575	-1,87149849
	2	45,6356404251	-1,3650539074	-1,8689085863
	3	45,6396532495	-1,3605528066	-1,8654798414
	4	45,6366827082	-1,3672522002	-1,8686442148
	5	45,6371908970	-1,3781082056	-1,8717570631
10 метров омега 40	1	45,6325288667	-1,3903721945	-1,8754723466
	2	45,6324125025	-1,3967474957	-1,8770777100
	3	45,6301838640	-1,3750333017	-1,8661685905
	4	45,6316220487	-1,3763853042	-1,8646430454
	5	45,6311721196	-1,3747895960	-1,8623400537
20 метров омега 60	1	45,6373128746	-1,4326546582	-1,8830558053
	2	45,6356163298	-1,4831256781	-1,9417145605
	3	45,6266686436	-1,4976677875	-1,9658775735
	4	45,6349893319	-1,4422830035	-1,8932530150
	5	45,6287117529	-1,4596807272	-1,9107068398

3 метра	0,003042865	0,009011045	0,002551393	0,009847211
10 метров	0,000963154	0,010215392	0,006678267	0,012242595
20 метров	0,004671721	0,02723929	0,034413283	0,044137036
Общее	0,004357246	0,045514386	0,030685824	0,055065095

Проекты		X	Y	Z
омега 0	3м	45,63721213	-1,354231257	-1,87253253
	10м	45,6314298929	-1,3522861677	-1,8789340934
	20м	45,6401172775	-1,3880456403	-1,8801549194
омега 20	3м	45,64324491	-1,381803575	-1,87149849
	10м	45,6409856771	-1,3507838060	-1,8696687972
	20м	45,6418540816	-1,3419493037	-1,8711840551
омега 40	3	45,63783945	-1,397731073	-1,876866628
	10м	45,63252887	-1,390372195	-1,875472347
	20	45,6330595095	-1,4812269488	-1,9378064768
омега 60	3м	45,63588742	-1,416927203	-1,87981092
	10м	45,6331141709	-1,4892438538	-1,9502409121
	20м	45,63731287	-1,432654658	-1,883055805

омега 0	0,004422383	0,020107775	0,004094127	0,020991474
омега 20	0,001139641	0,020930988	0,000978319	0,020984807
омега 40	0,002924944	0,050465006	0,035592961	0,061823385
омега 60	0,002135101	0,03803373	0,039759174	0,05506283
Общее	0,003952734	0,049181847	0,026959041	0,056225155

Отчёт 3. Исследование рельефного маяка

	С выпуклыми точками			Без выпуклых точек		
3 метра	Общее количество решений	Количество правильных решений	Мин. невязка при правильном решении	Общее количество решений	Количество правильных решений	Минимальная невязка при правильном решении
альфа 0						
омега 0	9	9	невязки совпадают до ~13 знака	9	5	да
20	9	8	да	9	4	да
40	6	5	да	6	3	да
60	4	3	да	6	3	да
альфа -20						
омега 0	9	8	да	9	5	да
20	8	7	да	9	5	да
40	7	7	да	6	3	да
60	3	2	да	4	2	да
альфа -40						
омега 0	7	6	да	6	3	да
20	6	6	да	7	5	да
40	5	5	да	6	3	да
60	3	3	да	5	3	да
10 метров	Общее количество решений	Количество правильных решений	Мин. невязка при правильном решении	Общее количество решений	Количество правильных решений	Минимальная невязка при правильном решении
альфа 0						

Приложение

омега 0	9	9	да	9	5	да, но разница в тысячных
20	8	7	да	9	5	да, но разница в сотых
40	4	4	да	6	3	да
60	3	3	да	4	3	да
альфа -20						
омега 0	8	8	да	9	5	да, но разница в сотых
20	7	7	да	9	5	да
40	4	4	да	7	3	да, но разница в тысячных
60	3	3	да	7	5	да
альфа -40						
омега 0	5	4	да	8	5	да
20	5	5	да	9	5	да
40	6	6	да	6	3	да
20 метров	Общее количество решений	Количество правильных решений	Мин. невязка при правильном решении	Общее количество решений	Количество правильных решений	Минимальная невязка при правильном решении
омега 0						
альфа 0	9	9	да	8	3	да, разница в 1 10тысячную
20	6	6	да	7	4	да, но разница в тысячных
-20	7	7	да	8	5	да, но разница в сотых
-40	5	5	да	4	3	да, но разница в сотых
омега 20						

альфа 0	7	7	да	8	5	да, но разница в тысячных
20	6	6	да	9	4	нет
-20	8	8	да	9	4	да, разница в 1 10тысячную
40	4	4	да	7	2	да, но разница в тысячных
-40	5	5	да	7	5	да, но разница в сотых
омега 40						
0	3	3	да	7	3	да, но разница в тысячных
-20	4	4	да	7	3	да, но разница в тысячных

Отчёт 4. Исследование влияния фокуса и положения главной точки снимка на точность работы щелемера на расстояниях более 3-х метров

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
ФОКУС 1,0		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6429	-1,3911	-1,8724	45,6407	-1,4114	-1,8812
	2	45,6391	-1,3945	-1,8717	45,6383	-1,4088	-1,8785
	3	45,6392	-1,3886	-1,8706	45,6395	-1,4144	-1,8816
	4	45,6374	-1,3890	-1,8722	45,6376	-1,4161	-1,8843
	5	45,6388	-1,3868	-1,8705	45,6390	-1,4147	-1,8825
10м	1	45,6353	-1,3819	-1,8756	45,6242	-1,4518	-1,9050
	2	45,6333	-1,3953	-1,8775	45,6250	-1,4459	-1,9018
	3	45,6326	-1,3791	-1,8758	45,6265	-1,4496	-1,9028

	4	45,6305	-1,3827	-1,8756	45,6282	-1,4567	-1,9057
	5	45,6335	-1,3924	-1,8787	45,6325	-1,4680	-1,9110
20м	1	45,6378	-1,4010	-1,8791	45,6402	-1,4534	-1,8998
	2	45,6328	-1,3972	-1,8835	45,6270	-1,4767	-1,9198
	3	45,6363	-1,3865	-1,8762	45,6363	-1,4617	-1,9085
	4	45,6385	-1,4222	-1,8846	45,6434	-1,4647	-1,9042
	5	45,6383	-1,3990	-1,8827	45,6283	-1,4601	-1,9089
3м		0,0020	0,0029	0,0009	0,0012	0,0030	0,0021
10м		0,0017	0,0071	0,0014	0,0033	0,0085	0,0036
20м		0,0024	0,0130	0,0035	0,0072	0,0085	0,0074
среднее		45,6364	-1,3925	-1,8764	45,6338	-1,4436	-1,8984

ФОКУС 0,8

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
ФОКУС 0,8		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6416	-1,3879	-1,8726	45,6375	-1,4133	-1,8849
	2	45,6378	-1,3913	-1,8718	45,6351	-1,4108	-1,8822
	3	45,6379	-1,3854	-1,8707	45,6362	-1,4163	-1,8853
	4	45,6361	-1,3857	-1,8723	45,6344	-1,4181	-1,8880
	5	45,6376	-1,3836	-1,8706	45,6359	-1,4167	-1,8862
10м	1	45,6360	-1,3786	-1,8752	45,6262	-1,4519	-1,9061
	2	45,6339	-1,3919	-1,8772	45,6269	-1,4461	-1,9030
	3	45,6333	-1,3757	-1,8755	45,6285	-1,4497	-1,9040
	4	45,6313	-1,3792	-1,8753	45,6303	-1,4568	-1,9069
	5	45,6342	-1,3890	-1,8783	45,6346	-1,4681	-1,9122
20м	1	45,6366	-1,3995	-1,8789	45,6385	-1,4536	-1,9003
	2	45,6315	-1,3956	-1,8833	45,6253	-1,4768	-1,9203

	3	45,6350	-1,3850	-1,8760	45,6346	-1,4618	-1,9091
	4	45,6373	-1,4205	-1,8845	45,6417	-1,4648	-1,9049
	5	-	-	-	-	-	-
	3м	0,0020	0,0030	0,0009	0,0012	0,0030	0,0021
	10м	0,0017	0,0071	0,0014	0,0033	0,0085	0,0036
	20м	0,0026	0,0149	0,0039	0,0071	0,0096	0,0086
	среднее	45,6357	-1,3892	-1,8759	45,6333	-1,4432	-1,8995

РАЗНОСТИ

		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
3		0,0013	-0,0032	0,0002	0,0032	0,0020	0,0037
		0,0013	-0,0032	0,0002	0,0032	0,0020	0,0037
		0,0013	-0,0032	0,0001	0,0032	0,0019	0,0036
		0,0013	-0,0033	0,0001	0,0032	0,0020	0,0037
		0,0012	-0,0033	0,0001	0,0031	0,0021	0,0037
10		-0,0007	-0,0033	-0,0003	-0,0020	0,0001	0,0011
		-0,0006	-0,0034	-0,0003	-0,0019	0,0001	0,0011
		-0,0007	-0,0034	-0,0003	-0,0020	0,0001	0,0012
		-0,0007	-0,0035	-0,0003	-0,0020	0,0001	0,0012
		-0,0007	-0,0034	-0,0003	-0,0021	0,0001	0,0011
20		0,0012	-0,0015	-0,0002	0,0016	0,0001	0,0005
		0,0013	-0,0015	-0,0002	0,0017	0,0001	0,0006
		0,0012	-0,0016	-0,0002	0,0016	0,0001	0,0006
		0,0013	-0,0017	-0,0002	0,0016	0,0001	0,0006
		#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!

СРЕДНЕЕ	3	0,0013	-0,0032	0,0001	0,0032	0,0020	0,0037
	10	-0,0007	-0,0034	-0,0003	-0,0020	0,0001	0,0011
	20	0,0012	-0,0016	-0,0002	0,0016	0,0001	0,0006
средние разности		0,0006	-0,0027	-0,0001	0,0009	0,0007	0,0018

СМЕЩЕНИЕ ГЛАВНОЙ ТОЧКИ СНИМКА НА 100 ПО ОСИ X

По 3 снимка		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
X +100		X	Y	Z	X	Y	Z
3м	1	45,6529	-1,3949	-1,8739	45,6499	-1,4114	-1,8807
	2	45,6496	-1,3983	-1,8732	45,6478	-1,4090	-1,8781
	3	45,6490	-1,3921	-1,8720	45,6477	-1,4145	-1,8812
	4	45,6478	-1,3928	-1,8737	45,6469	-1,4161	-1,8838
	5	45,6484	-1,3904	-1,8720	45,6477	-1,4148	-1,8820
10м	1	45,6366	-1,3819	-1,8758	45,6242	-1,4532	-1,9061
	2	45,6348	-1,3959	-1,8777	45,6257	-1,4470	-1,9025
	3	45,6343	-1,3791	-1,8762	45,6259	-1,4507	-1,9037
	4	45,6313	-1,3830	-1,8760	45,6272	-1,4582	-1,9069
	5	45,6346	-1,3925	-1,8790	45,6314	-1,4691	-1,9120
20м	1	45,6416	-1,4056	-1,8811	45,6497	-1,4551	-1,9003
	2	45,6386	-1,4005	-1,8842	45,6408	-1,4787	-1,9201
	3	45,6373	-1,3891	-1,8773	45,6432	-1,4629	-1,9089
	4	45,6443	-1,4282	-1,8873	45,6488	-1,4652	-1,9040
	5	45,6412	-1,4035	-1,8844	45,6373	-1,4620	-1,9095
	3м	0,0020	0,0030	0,0009	0,0011	0,0029	0,0021
	10м	0,0019	0,0073	0,0014	0,0028	0,0086	0,0037
	20м	0,0027	0,0143	0,0038	0,0053	0,0086	0,0075
	среднее	45,6415	-1,3952	-1,8776	45,6396	-1,4445	-1,8986

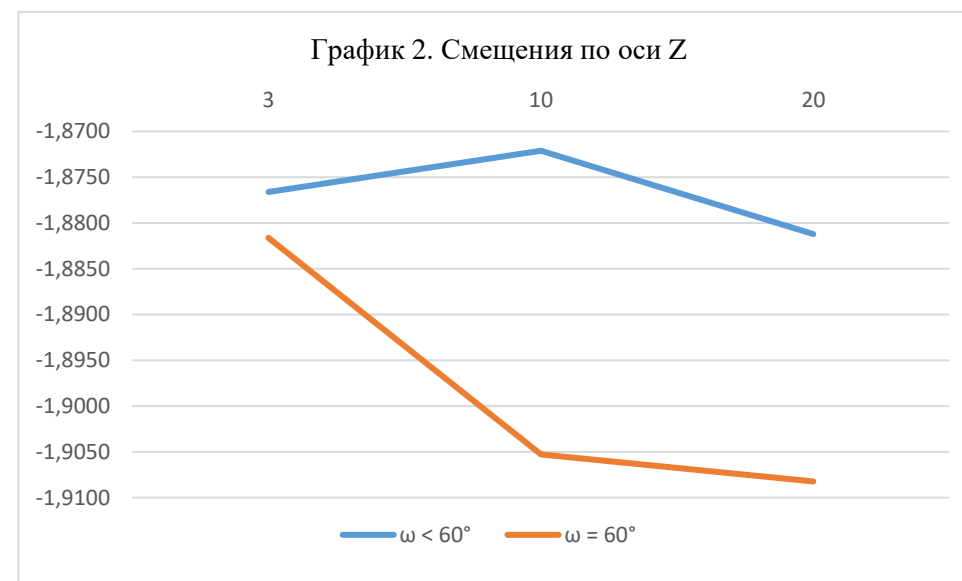
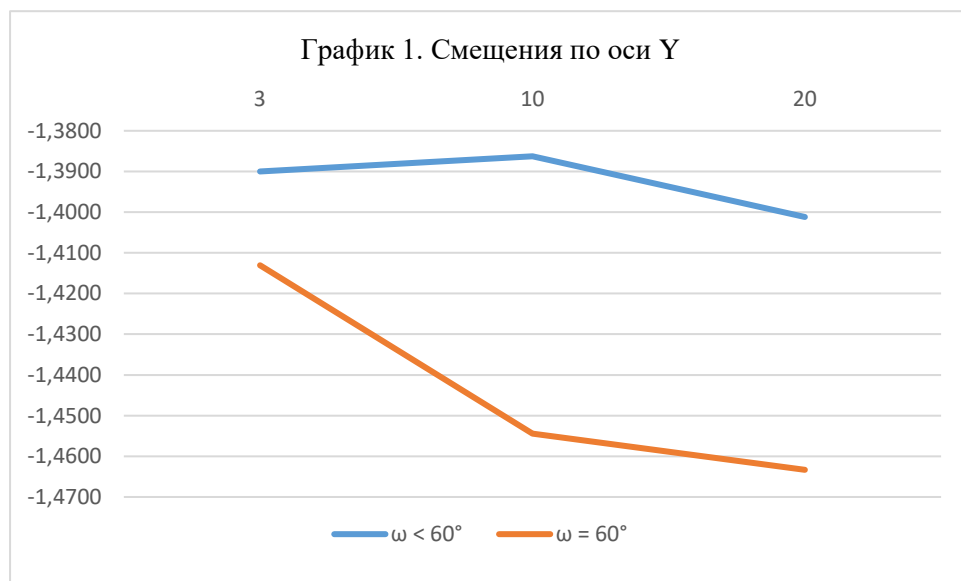
РАЗНОСТИ

		альфа 0. омега 0 20 40.			альфа 0. омега 20 40 60.		
3		-0,0101	0,0038	0,0015	-0,0091	0,0001	-0,0005
		-0,0105	0,0038	0,0015	-0,0096	0,0003	-0,0004
		-0,0097	0,0035	0,0014	-0,0082	0,0001	-0,0005
		-0,0104	0,0038	0,0015	-0,0093	0,0000	-0,0005
		-0,0096	0,0036	0,0014	-0,0087	0,0001	-0,0004
10		-0,0013	-0,0001	0,0003	0,0000	0,0014	0,0011
		-0,0015	0,0007	0,0002	-0,0007	0,0010	0,0006
		-0,0016	0,0001	0,0004	0,0006	0,0011	0,0009
		-0,0008	0,0003	0,0004	0,0011	0,0015	0,0012
		-0,0011	0,0001	0,0003	0,0011	0,0012	0,0010
20		-0,0038	0,0046	0,0020	-0,0095	0,0016	0,0005
		-0,0058	0,0033	0,0008	-0,0139	0,0020	0,0004
		-0,0011	0,0026	0,0011	-0,0069	0,0012	0,0004
		-0,0057	0,0060	0,0027	-0,0054	0,0005	-0,0002
		-0,0030	0,0045	0,0017	-0,0090	0,0019	0,0006

СРЕДНЕЕ	3	-0,0101	0,0037	0,0015	-0,0090	0,0001	-0,0005
	10	-0,0013	0,0002	0,0003	0,0004	0,0012	0,0010
	20	-0,0041	0,0041	0,0016	-0,0089	0,0013	0,0003
средние разности		-0,0051	0,0027	0,0011	-0,0058	0,0009	0,0002

	X	Y	Z	X	Y	Z
Эталон	45,6364	-1,3925	-1,8764	45,6338	-1,4436	-1,8984
Фокус 0.8	45,6357	-1,3892	-1,8759	45,6333	-1,4432	-1,8995
X +100	45,6415	-1,3952	-1,8776	45,6396	-1,4445	-1,8986

Разности с эталоном	X	Y	Z	X	Y	Z
Фокус 0.8	0,0006	-0,0027	-0,0001	0,0009	0,0007	0,0018
X +100	-0,0051	0,0027	0,0011	-0,0058	0,0009	0,0002



Отчёт 5. Наблюдения углов

0,5 м, небольшое расстояние от пластин до угла (узко) повёрнутая геодезия				Дельты минус среднее			
1	24,92015709	-22,72949588	2,030739711		0,0017267980	-0,0020961826	0,0002786037
2	24,91490868	-22,72909201	2,03025807		-0,0035216048	-0,0016923139	-0,0002030375
3	24,9202251	-22,7236112	2,030385542		0,0017948069	0,0037884965	-0,0000755661
	0,003049989	0,003287143	0,000249554	0,004491			
f	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,9103910309	-22,7358585224	2,0308227698		0,0007381341	-0,0031270254	-0,0001229028
2	24,9055498492	-22,7374377277	2,0300539255		-0,0041030476	-0,0047062307	-0,0008917471
3	24,9130178104	-22,7248982408	2,0319603225		0,0033649136	0,0078332562	0,0010146499
	0,003788303	0,006829597	0,000959123	0,007869			
c	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,8486003261	-23,0305156039	2,0654470688		0,1241488390	-0,0312253337	0,0386899582
2	24,7239514397	-22,8109515203	1,9961814948		-0,0005000474	0,1883387499	-0,0305756158
3	24,6008026954	-23,1564036863	2,0186427682		-0,1236487917	-0,1571134161	-0,0081143424
	0,123899572	0,174830106	0,035338532				
fc	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,7552845258	-22,9469858232	1,9970227022		-0,0226348010	-0,0675281833	-0,0091442560
2	24,6717918346	-22,9524530077	1,9918151314		-0,1061274922	-0,0729953678	-0,0143518268
3	24,9066816199	-22,7389340889	2,0296630410		0,1287622931	0,1405235510	0,0234960828
	0,119069532	0,121727663	0,02051412				

среднее	X	Y	Z
-	24,9184302890	-22,7273996986	2,0304611077
f	24,9096528968	-22,7327314970	2,0309456726
c	24,7244514871	-22,9992902702	2,0267571106
fc	24,7779193268	-22,8794576399	2,0061669582

0,5 м, расстояние от пластин до угла большое (широко) повёрнутая геодезия				Дельты минус среднее			
1	49,0163212395	-48,7830744378	-1,8777206309		0,0037085080	-0,0059283314	-0,0029682950
2	48,9978813309	-48,7938830770	-1,8695126124		-0,0147314006	-0,0167369706	0,0052397235
3	49,0269755491	-48,7572686416	-1,8784426195		0,0143628176	0,0198774648	-0,0036902836
4	49,0011333909	-48,7947586144	-1,8808557823		-0,0114793406	-0,0176125080	-0,0061034464
5	49,0207521472	-48,7567457613	-1,8672300344		0,0081394157	0,0204003451	0,0075223015
	0,0126004273	0,0189523048	0,0059941794	0,023535			
f	X	Y	Z		X	Y	Z
1	48,9775373250	-48,8478386322	-1,8879331098		0,0053430588	0,0048233567	-0,0007014808
2	48,9644724162	-48,8589465075	-1,8878460514		-0,0077218500	-0,0062845186	-0,0006144224
3	48,9780766683	-48,8486625346	-1,8894122653		0,0058824021	0,0039994543	-0,0021806363
4	48,9787038776	-48,8479523769	-1,8909963676		0,0065096114	0,0047096120	-0,0037647386
5	48,9621810438	-48,8599098933	-1,8799703508		-0,0100132224	-0,0072479044	0,0072612782
	0,0081458204	0,0061941130	0,0042580566	0,011084			

c	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	48,6457983866	-49,0919742333	-1,9436415485		-0,0188877375	0,0071123782	-0,0199394820	
2	48,6988631251	-49,1048271501	-1,8994209916		0,0341770010	-0,0057405386	0,0242810749	
3	48,6158158048	-49,0315721789	-1,9310884880		-0,0488703193	0,0675144326	-0,0073864215	
4	48,7849975813	-49,0425934386	-1,9271034002		0,1203114572	0,0564931729	-0,0034013337	
5	48,5779557229	-49,2244660566	-1,9172559041		-0,0867304012	-0,1253794451	0,0064461624	
	0,0804831215	0,0767352953	0,0165441443					
fc	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	48,9601948818	-48,8729676634	-1,9172617546		-0,0031426229	-0,0040591051	-0,0024214169	
2	48,9622996143	-48,8637503401	-1,9149897033		-0,0010378904	0,0051582182	-0,0001493656	
3	48,9715467076	-48,8614368744	-1,9125618442		0,0082092029	0,0074716839	0,0022784935	
4	48,9571587151	-48,8813699237	-1,9169837212		-0,0061787896	-0,0124613654	-0,0021433835	
5	48,9654876047	-48,8650179898	-1,9124046653		0,0021501000	0,0038905685	0,0024356724	
	0,0055032872	0,0082056651	0,0023239888	0,01015				
среднее	X	Y	Z					
-	49,0126127315	-48,7771461064	-1,8747523359					
f	48,9721942662	-48,8526619889	-1,8872316290					
c	48,6646861241	-49,0990866115	-1,9237020665					
fc	48,9633375047	-48,8689085583	-1,9148403377					
1 метр, небольшое расстояние от пластин до угла (узко)					Дельты минус среднее			узко
1	24,89369003	-22,69704419	2,025930942		0,0019667710	0,0057105147	0,0019853437	обычная геодезия
2	24,89124681	-22,70463995	2,023615566		-0,0004764412	-0,0018852463	-0,0003300320	
3	24,89342081	-22,70100996	2,022644355		0,0016975583	0,0017447451	-0,0013012429	
4	24,89213192	-22,70710245	2,023584279		0,0004086677	-0,0043477520	-0,0003613189	
5	24,8881267	-22,70397696	2,023952849		-0,0035965560	-0,0012222614	0,0000072503	
	0,002240486	0,003860218	0,001211853	0,004625				

f	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,8821226653	-22,7026653259	2,0261670056		-0,0071113004	-0,0024061524	-0,0008544762
2	24,8903424875	-22,7013854821	2,0272257023		0,0011085218	-0,0011263086	0,0002042205
3	24,8920777078	-22,6963981315	2,0269125528		0,0028437421	0,0038610420	-0,0001089290
4	24,8931805964	-22,7013701891	2,0277436262		0,0039466307	-0,0011110156	0,0007221444
5	24,8884463717	-22,6994767387	2,0270585223		-0,0007875940	0,0007824348	0,0000370405
	0,004361264	0,002439895	0,000571526	0,00503			
c	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,8114226995	-22,7352303136	2,0102334209		-0,0140852433	-0,0077482564	-0,0045483807
2	24,8265888645	-22,7289834709	2,0095868695		0,0010809217	-0,0015014137	-0,0051949321
3	24,8331833560	-22,7158352589	2,0170922945		0,0076754132	0,0116467983	0,0023104929
4	24,8246214502	-22,7361003372	2,0160477470		-0,0008864926	-0,0086182800	0,0012659454
5	24,8317233440	-22,7212609054	2,0209486761		0,0062154012	0,0062211518	0,0061668745
	0,008629767	0,008816393	0,004812651	0,013242			

fc	X	Y	Z		X	Y	Z
1	24,8509154926	-22,6998229284	2,0225795008		0,0243103177	0,0328777362	0,0041260307
2	24,8486469237	-22,7076521617	2,0165248292		0,0220417488	0,0250485029	-0,0019286409
3	24,8151738772	-22,7318256451	2,0172565228		-0,0114312977	0,0008750195	-0,0011969473
4	24,7665817269	-22,8207671225	2,0104274309		-0,0600234480	-0,0880664579	-0,0080260392
5	24,8517078539	-22,7034354651	2,0254790669		0,0251026790	0,0292651995	0,0070255968
	0,036879749	0,050796879	0,00582994	0,063043			
среднее	X	Y	Z				
-	24,8917232558	-22,7027547014	2,0239455982				
f	24,8892339657	-22,7002591735	2,0270214818				
c	24,8255079428	-22,7274820572	2,0147818016				
fc	24,8266051749	-22,7327006646	2,0184534701				

1 метр, расстояние от пластин до угла большое (широко)				Дельты минус среднее			широко
							обычная геодезия
1	49,0252258577	-48,6642634866	-1,8747679358		0,0098971947	0,0246407524	0,0016135497
2	49,0325284979	-48,6754957368	-1,8830441159		0,0171998349	0,0134085022	-0,0066626304
3	49,0191155082	-48,6889422621	-1,8751070130		0,0037868452	-0,0000380231	0,0012744725
4	49,0205745678	-48,6783307054	-1,8758090092		0,0052459048	0,0105735336	0,0005724763
5	48,9791988836	-48,7374890039	-1,8731793534		-0,0361297794	-0,0485847649	0,0032021321
	0,0208627027	0,0285448553	0,0038470718	0,035565			
f	X	Y	Z		X	Y	Z
1	48,9823997629	-48,7322050700	-1,8862073672		0,0116844566	0,0275401126	-0,0018622447
2	48,9828605224	-48,7426500001	-1,8905108259		0,0121452161	0,0170951825	-0,0061657034
3	48,9738750760	-48,7640741273	-1,8823263907		0,0031597697	-0,0043289447	0,0020187318
4	48,9679063890	-48,7597082639	-1,8825447864		-0,0028089173	0,0000369187	0,0018003361
5	48,9465347810	-48,8000884516	-1,8801362423		-0,0241805253	-0,0403432690	0,0042088802
	0,0148879546	0,0259664377	0,0040778369	0,030208			
c	X	Y	Z		X	Y	Z
1	49,0056166679	-48,6395146295	-1,9007024476		0,1003604274	0,0800774922	-0,0007794850
2	48,9951792916	-48,6564482226	-1,9224987512		0,0899230511	0,0631438991	-0,0225757886
3	48,9877018133	-48,6332472415	-1,9286542938		0,0824455728	0,0863448802	-0,0287313312
4	48,5971280084	-48,9372519786	-1,8648567749		-0,3081282321	-0,2176598569	0,0350661877
5	48,9406554215	-48,7314985363	-1,8829025454		0,0353991810	-0,0119064146	0,0170204172
	0,1740343015	0,1278403018	0,0267165461	0,217589			

fc	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	48,8861393297	-48,7630898217	-1,8746476496		-0,0226217540	-0,0127303314	0,0191880020	
2	48,9166395417	-48,7685923593	-1,9383876625		0,0078784580	-0,0182328690	-0,0445520109	
3	48,9044696525	-48,7642605123	-1,8798764628		-0,0042914312	-0,0139010220	0,0139591888	
4	48,9410156275	-48,6914592343	-1,8868017921		0,0322545438	0,0589002560	0,0070338595	
5	48,8955412669	-48,7643955241	-1,8894646910		-0,0132198168	-0,0140360338	0,0043709606	
	0,0212564660	0,0329923766	0,0255758701	0,046845				
среднее	X	Y	Z					
-	49,0153286630	-48,6889042390	-1,8763814855					
f	48,9707153063	-48,7597451826	-1,8843451225					
c	48,9052562405	-48,7195921217	-1,8999229626					
fc	48,9087610837	-48,7503594903	-1,8938356516					
1 метр, небольшое расстояние от пластин до угла (узко)					Дельты минус среднее			узко
								повернутая геодезия
1	24,9089465	-22,73412383	2,030316438		-0,0037840975	-0,0014818527	0,0000068816	
2	24,91288115	-22,73033521	2,031033814		0,0001505533	0,0023067655	0,0007242575	
3	24,91779736	-22,72853968	2,030884074		0,0050667693	0,0041022923	0,0005745167	
4	24,91361836	-22,73449249	2,030249859		0,0008877649	-0,0018505122	-0,0000596975	
5	24,9104096	-22,73571867	2,029063599		-0,0023209900	-0,0030766930	-0,0012459581	
	0,003398137	0,003051077	0,000776312	0,004632				
f	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	24,8993857639	-22,7338817823	2,0309912600		-0,0035204094	-0,0006520449	-0,0001053809	
2	24,9043896068	-22,7299138392	2,0320578910		0,0014834335	0,0033158982	0,0009612501	
3	24,9075677629	-22,7270849999	2,0319143983		0,0046615896	0,0061447375	0,0008177574	

4	24,9037799101	-22,7355525119	2,0312058117		0,0008737368	-0,0023227745	0,0001091708
5	24,8994078229	-22,7397155538	2,0293138433		-0,0034983504	-0,0064858164	-0,0017827976
	0,003511629	0,004915263	0,001094774	0,006139			

c	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	24,1178001137	-23,5922109920	1,9174676369		-0,4759544298	-0,3744879480	-0,1203291937	
2	24,7500492016	-23,0994251965	2,0836925050		0,1562946581	0,1182978475	0,0458956744	
3	24,5572690556	-23,2807154130	2,0524568468		-0,0364854879	-0,0629923690	0,0146600162	
4	24,7457311396	-23,1330272420	2,0586253181		0,1519765961	0,0846958020	0,0208284875	
5	24,7979232071	-22,9832363763	2,0767418462		0,2041686636	0,2344866677	0,0389450156	
	0,281546426	0,234713133	0,068467116	0,372889				
fc	X	Y	Z		X	Y	Z	
1	24,8081692789	-23,0069561712	1,9964820638		0,0364096650	-0,0791527536	-0,0164629809	
2	24,8875456766	-22,7812453439	2,0113220881		0,1157860627	0,1465580737	-0,0016229566	
3	24,6730505780	-22,9171435317	2,0166560500		-0,0987090359	0,0106598859	0,0037110053	
4	24,8045629525	-23,1253084113	2,0146374491		0,0328033386	-0,1975049937	0,0016924044	
5	24,6854695834	-22,8083636298	2,0256275726		-0,0862900305	0,1194397878	0,0126825279	
	0,090826178	0,142418526	0,010620099	0,169249				
среднее	X	Y	Z					
-	24,9127305939	-22,7326419736	2,0303095568					
f	24,9029061733	-22,7332297374	2,0310966409					
c	24,5937545435	-23,2177230440	2,0377968306					
fc	24,7717596139	-22,9278034176	2,0129450447					
1 метр, большое расстояние от пластин до угла (широко)					Дельты минус среднее			широко
								повернутая геодезия
1	48,9875838	-48,84055369	-1,881608799		0,0179938977	0,0213425855	-0,0050312020	
2	48,94868833	-48,88366276	-1,878504743		-0,0209015751	-0,0217664787	-0,0019271458	

3	48,97703446	-48,86025578	-1,87879146		0,0074445608	0,0016404967	-0,0022138630
4	48,96701426	-48,8584773	-1,868509716		-0,0025756454	0,0034189743	0,0080678805
5	48,96762866	-48,86653185	-1,875473267		-0,0019612381	-0,0046355777	0,0011043302
	0,014374962	0,01553347	0,005005954	0,021748			

f	X	Y	Z		X	Y	Z
1	48,9785476225	-48,8481743646	-1,8785500266		0,0213712034	0,0277383375	-0,0039725174
2	48,9423407300	-48,8947376247	-1,8764043165		-0,0148356891	-0,0188249226	-0,0018268073
3	48,9653816917	-48,8718518740	-1,8781065487		0,0082052726	0,0040608281	-0,0035290395
4	48,9504372479	-48,8796122802	-1,8650562410		-0,0067391712	-0,0036995781	0,0095212682
5	48,9491748033	-48,8851873669	-1,8747704134		-0,0080016158	-0,0092746648	-0,0001929042
	0,014608172	0,017606744	0,005528653	0,023536			
c	X	Y	Z		X	Y	Z
1	48,8209041467	-49,0323798279	-1,9336775712		0,4432898858	0,2522835350	-0,2580976956
2	48,2278375025	-49,5969844543	-1,5727603866		-0,1497767584	-0,3123210914	0,1028194890
3	48,3293486737	-49,1951153386	-1,6426826211		-0,0482655872	0,0895480243	0,0328972545
4	48,1751188779	-49,5642757564	-1,4936751416		-0,2024953830	-0,2796123935	0,1819047340
5	48,3348621035	-49,0345614375	-1,7351036576		-0,0427521574	0,2501019254	-0,0595237820
	0,256953641	0,278363233	0,169485184	0,415014			
fc	X	Y	Z		X	Y	Z
1	48,8088039164	-48,9952422791	-1,9179554675		0,1414165465	0,2142937879	0,0226491236
2	48,8665931461	-48,9282369155	-1,9391408939		0,1992057762	0,2812991515	0,0014636972
3	48,9131290959	-48,9703040051	-1,9252915028		0,2457417260	0,2392320619	0,0153130883
4	48,1603812691	-49,8419334229	-1,9701212843		-0,5070061008	-0,6323973559	-0,0295166932
5	48,5880294220	-49,3119637123	-1,9505138069		-0,0793579479	-0,1024276453	-0,0099092158
	0,309605978	0,384935338	0,020730675	0,49443			
среднее	X	Y	Z				
-	48,9695899005	-48,8618962770	-1,8765775969				

f	48,9571764191	-48,8759127021	-1,8745775092				
c	48,3776142609	-49,2846633629	-1,6755798756				
fc	48,6673873699	-49,2095360670	-1,9406045911				

2 метра, пластины широко				Дельты минус среднее			широко
	X	Y	Z				обычная геодезия
1	48,9829048356	-48,6962851611	-1,8523501935		-0,0118375396	-0,0043536087	0,0225735240
2	48,9842564520	-48,7319066524	-1,8657067605		-0,0104859232	-0,0399751000	0,0092169570
3	48,9403443178	-48,7219500497	-1,8943693565		-0,0543980574	-0,0300184973	-0,0194456390
4	49,0488259609	-48,6335998884	-1,8779372017		0,0540835857	0,0583316640	-0,0030134842
5	49,0173803099	-48,6759160103	-1,8842550752		0,0226379347	0,0160155421	-0,0093313577
	0,0407637735	0,0392974341	0,0163462877	0,058934			
f	X	Y	Z				
1	48,9761427658	-48,6978968073	-1,8606578554		-0,0123475019	-0,0116970305	0,0147496800
2	48,9721384688	-48,7119595839	-1,8647112327		-0,0163517989	-0,0257598071	0,0106963027
3	48,9258945404	-48,7310933905	-1,8941091337		-0,0625957273	-0,0448936137	-0,0187015983
4	49,0715856183	-48,5984303904	-1,8755639108		0,0830953506	0,0877693864	-0,0001563754
5	48,9966899450	-48,6916187119	-1,8819955446		0,0081996773	-0,0054189351	-0,0065880092
	0,0531745691	0,0513533221	0,0134642123	0,07514			
c	X	Y	Z				
1	49,2185955578	-48,2504762406	-2,2795228012		-0,2830254429	-0,2180969176	-0,2880928679
2	48,5375487466	-49,2515843125	-1,8384045577		-0,9640722541	-1,2192049895	0,1530253756
3	49,0813712732	-48,5227891603	-2,1376391431		-0,4202497275	-0,4904098373	-0,1462092098
4	51,3226634663	-45,7340271630	-1,7184638536		1,8210424656	2,2983521600	0,2729660797
5	49,3479259598	-48,4030197385	-1,9831193109		-0,1536950409	-0,3706404155	0,0083106224
	1,0637159364	1,3411120245	0,2249282920	1,72646			

fc	X	Y	Z					
1	49,3907076116	-48,5154650053	-1,9767343237		0,2660863209	0,1293598697	-0,0439076414	
2	48,6223274473	-49,2886544492	-1,9358197470		-0,5022938434	-0,6438295742	-0,0029930647	
3	48,8124793580	-48,8905183764	-2,1055952367		-0,3121419327	-0,2456935014	-0,1727685544	
4	49,3394792238	-48,2252687810	-1,6591156758		0,2148579331	0,4195560940	0,2737110065	
5	49,4581128127	-48,3042177630	-1,9868684282		0,3334915220	0,3406071120	-0,0540417459	
	0,3801033241	0,4426218233	0,1655476051	0,606464				
среднее								
-	48,9947423752	-48,6919315524	-1,8749237175					
f	48,9884902677	-48,6861997768	-1,8754075354					
c	49,5016210007	-48,0323793230	-1,9914299333					
fc	49,1246212907	-48,6448248750	-1,9328266823					
2 метра, пластины широко					Дельты минус среднее			широко
	X	Y	Z				повернутая геодезия	
1	48,9709023410	-48,8064455510	-1,8429091889		-0,0057954083	-0,0149841372	0,0118481475	
2	48,9892858703	-48,7761114586	-1,8651279822		0,0125881210	0,0153499552	-0,0103706458	
3	48,9042729544	-48,8634971840	-1,8630800478		-0,0724247949	-0,0720357702	-0,0083227114	
4	49,0134121004	-48,7296573796	-1,8407198545		0,0367143511	0,0618040342	0,0140374819	
5	49,0056154804	-48,7815954958	-1,8619496087		0,0289177311	0,0098659180	-0,0071922723	
	0,0436508225	0,0489039177	0,0118951261	0,066622				
f	X	Y	Z					
1	48,9813418835	-48,7954456130	-1,8413221505		-0,0009944687	-0,0079571741	0,0118313486	

2	48,9840051987	-48,7821937833	-1,8618438233		0,0016688465	0,0052946556	-0,0086903242
3	48,9118049226	-48,8572238842	-1,8621947346		-0,0705314296	-0,0697354453	-0,0090412355
4	49,0307620953	-48,7184521831	-1,8397612028		0,0484257431	0,0690362558	0,0133922963
5	49,0037676607	-48,7841267311	-1,8606455842		0,0214313085	0,0033617078	-0,0074920851
	0,0441101183	0,0493246592	0,0115404877	0,06717			
c	X	Y	Z				
1	49,7372567546	-48,5508711511	-2,0076366554		0,7777202689	0,5255061957	-0,0401827505
2	49,4421863045	-48,4156922378	-1,8190321082		0,4826498188	0,6606851090	0,1484217967
3	48,9607753356	-49,2223700781	-2,1918840875		0,0012388499	-0,1459927313	-0,2244301826
4	48,4974524153	-49,2877463977	-1,9446056218		-0,4620840704	-0,2113690509	0,0228482831
5	48,1600116184	-49,9052068691	-1,8741110514		-0,7995248673	-0,8288295223	0,0933428535
	0,6501082411	0,6053120487	0,1442632337	0,89992			
fc	X	Y	Z				
1	48,4787517544	-52,4169323544	-2,1596390953		-0,0781685697	-2,4394257394	-0,0857476143
2	-	-	-		#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!	#ЗНАЧ!
3	49,0191191091	-48,9089422132	-2,2108843516		0,4621987850	1,0685644018	-0,1369928706
4	48,2159214137	-49,5298483703	-1,9883181873		-0,3409989104	0,4476582447	0,0855732938
5	48,5138890191	-49,0543035222	-1,9367242900		-0,0430313050	0,9232030928	0,1371671911
	0,3355939969	1,6477590513	0,1319814720	1,686758			
среднее							
-	48,9766977493	-48,7914614138	-1,8547573364				
f	48,9823363522	-48,7874884389	-1,8531534991				
c	48,9595364857	-49,0763773468	-1,9674539049				
fc	48,5569203241	-49,9775066150	-2,0738914811				

Отчёт 6. Исследование оси Y

1 см				
	X	Y	Z	
1	46,7145891037	-9,0380946973	4,7998392629	
2	46,7167512517	-9,0236866856	4,8068321624	
3	46,7187613656	-9,0183246871	4,8065387226	
станд отклон.	0,0020865926	0,0102241147	0,0039553658	0,01115936
f	X	Y	Z	
1	46,7135397254	-9,0691374439	4,7931606283	
2	46,7121218000	-9,0595939965	4,7982268166	
3	46,7178553111	-9,0492371866	4,8010256775	
станд отклон.	0,0029863004	0,0099528986	0,0039866211	0,01112975
c	X	Y	Z	
1	46,7090524908	-9,0733827911	4,7984171798	
2	46,7094892554	-9,0178234170	4,7962727873	
3	46,7173612841	-9,0361861549	4,8011851035	
станд отклон.	0,0046761032	0,0283067246	0,0024627448	0,028795863
fc	X	Y	Z	
1	46,7768623670	-9,3625467001	4,6948198341	
2	46,7593622388	-9,2851898925	4,7275178373	
3	46,7383265777	-9,0094718583	4,7911458074	

станд отклон.	0,0192949068	0,1855920050	0,0489836216	0,192914699
2-3 см				
	X	Y	Z	
1	50,2521731987	-23,1185053971	5,9294813961	
2	50,2499273070	-23,1442742166	5,9452932719	
3	50,2452054965	-23,1446135134	5,9382412088	
станд отклон.	0,0035564120	0,0149765423	0,0079212933	0,017311608
f	X	Y	Z	
1	50,2439015513	-23,1602979972	5,9107909114	
2	50,2343671496	-23,2016604112	5,9273079263	
3	50,2304546515	-23,1873369132	5,9292817462	
станд отклон.	0,0069165450	0,0210044236	0,0101539706	0,024333671
c	X	Y	Z	
1	50,2489781930	-23,2229322388	5,8947808336	
2	50,2691033111	-23,1786797065	5,9202244443	
3	50,2455917307	-23,2514400552	5,9023389330	
станд отклон.	0,0127101201	0,0366629935	0,0130664565	0,04094453
fc	X	Y	Z	
1	50,2674548358	-23,2059991567	5,8834243851	
2	50,2587556966	-23,2178881693	5,9186903302	
3	50,2613876049	-23,2324765535	5,8965044880	
станд отклон.	0,0044611892	0,0132616120	0,0178278227	0,022662829

5 см				
	X	Y	Z	
1	64,9804898827	-51,2822558849	7,8916738227	
2	64,9330763616	-51,4551385484	7,8239252651	
3	64,9290252741	-51,3609449521	7,8484027203	
станд отклон.	0,0286154365	0,0865571278	0,0343059790	0,097405748
f	X	Y	Z	
1	64,9900937264	-51,1509676159	7,9222942584	
2	64,9321479826	-51,3479894255	7,8523222759	
3	64,9165259521	-51,2983506658	7,8651130423	
станд отклон.	0,0387598901	0,1024722428	0,0372589441	0,115720001
c	X	Y	Z	
1	65,0151656940	-51,2760447282	7,8730848664	
2	65,0521431675	-51,0945957216	7,8873008411	
3	64,9624012603	-51,3017765549	7,8120279557	
станд отклон.	0,0451017903	0,1129231055	0,0399917649	0,128004455
fc	X	Y	Z	
1	64,5152055800	-53,4936976302	7,5162192663	
2	65,0953797047	-51,3649262261	7,7953504054	
3	64,9582357750	-51,5462719284	7,6842252552	
станд отклон.	0,3032287987	1,1801850716	0,1405281728	1,226593932
1 см	X	Y	Z	
1	46,7135	-9,0691	4,7932	
2	46,7121	-9,0596	4,7982	

3	46,7179	-9,0492	4,8010	
	0,0030	0,0100	0,0040	0,0111
2-3 см	X	Y	Z	
1	50,2522	-23,1185	5,9295	
2	50,2499	-23,1443	5,9453	
3	50,2452	-23,1446	5,9382	
	0,0036	0,0150	0,0079	0,0173
5 см	X	Y	Z	
1	64,9805	-51,2823	7,8917	
2	64,9331	-51,4551	7,8239	
3	64,9290	-51,3609	7,8484	
	0,0286	0,0866	0,0343	0,0974
10 см				
	X	Y	Z	
1	76,2229561686	-94,21722263001	20,9599811873	
2	77,8745296350	-94,1299703420	20,9035105789	
3	77,9250953260	-94,2166992238	20,8297952914	
станд отклон.	0,9684635181	0,0502257885	0,0652830258	0,971959922
f	X	Y	Z	
1	76,1664125913	-94,3416501799	20,9080212199	
2	77,7420181342	-93,9003154944	20,8968739575	
3	77,7237953053	-94,4199557184	20,7222175135	
станд отклон.	0,9044617014	0,2801588907	0,1042050480	0,952574756
c	X	Y	Z	

1	76,4239086144	-94,2248219403	20,7757445551	
2	77,9192198601	-94,1287335571	20,7332280496	
3	77,9495522225	-94,5068001256	20,5905925679	
станд отклон.	0,8722064160	0,1965023344	0,0969826378	0,899312422
fc	X	Y	Z	
1	76,2693977502	-94,4909552069	20,6236764401	
2	77,7479398614	-93,6459964526	20,8391856900	
3	77,9606662336	-93,3670521804	20,9778607332	
станд отклон.	0,9212064885	0,5852240620	0,1784757303	1,105876206
15 см				
	X	Y	Z	
1	110,6656446233	-161,7357849411	16,6460533318	
2	110,7367949995	-162,1047029744	16,4817377791	
3	110,6409556805	-162,2973037632	16,3043189671	
станд отклон.	0,0497612550	0,2853357574	0,1709090459	0,336307269
f	X	Y	Z	
1	110,2265024845	-162,1353605900	16,5069438649	
2	110,7326871018	-161,6195521103	16,5538026706	
3	110,4573474219	-161,4368568611	16,4491258750	
станд отклон.	0,2534180312	0,3622483957	0,0524339253	0,445189752
c	X	Y	Z	
1	110,6592840278	-162,1464643688	16,1440787411	
2	110,9587917168	-161,6988150764	16,1425419003	

3	110,9179054034	-162,1156251324	16,2871048217	
станд отклон.	0,1624097505	0,2500238556	0,0830233500	0,309486239
fc	X	Y	Z	
1	109,9529224952	-163,9481129458	15,7926080825	
2	111,1593783449	-161,0156689377	16,4083434989	
3	110,6297472589	-163,1933312255	16,0280342244	
станд отклон.	0,6047226038	1,5226696044	0,3106956484	1,667556277