Содержание

Содержание	1
Введение	2
Установка маяка на объекте	3
Методика проведения съемки маяка	4
Съемка и обработка нескольких снимков (стереофотограмметрический метод)	5
Съемка и обработка одиночных снимков	7
Типы выпускаемых маяков	7
Факторы, влияющие на точность и надежность результатов	8
Работа в программе PhotoMicrometer	9
Настройка программы	10
Создание проекта	10
Открытие проекта	10
Сохранение проекта	10
Добавление снимков в проект	11
Удаление снимков из проекта	12
Автоматическое измерение марок	12
Уточнение измерений марок	13
Полуавтоматическое измерений марок	14
Расчет маяка	15
Анализ деформаций	16
Отчет	18

Введение

Фотограмметрический щелемер (фотощелемер) - это аппаратно-программный комплекс для высокоточного трехмерного мониторинга трещин, технологических зазоров или деформационных швов. Комплекс состоит из:

- → набора специальных маяков (фотомаяков). Каждый маяк состоит из 2-х пластин (маркеров), с нанесенным на них специальным рисунком с уникальным номером. Пластины закрепляются по обе стороны от трещины или деформационного шва (см. рис. 1);
- → любой современной фотокамеры с оптическим увеличением достаточным для конкретных условий съемки.
- → программы PhotoMicrometer.

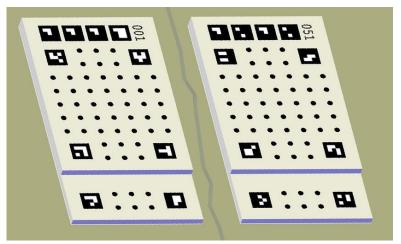


Рис. 1. Фотомаяк – два маркера, закрепленные по разные стороны от трещины.

Принцип наблюдений основан на съемке маяка цифровой фотокамерой. По результатам фотограмметрической обработки снимков в программе PhotoMicrometer определяется взаимное положение центров двух маркеров в трехмерной декартовой системе координат (положение точки R в системе OXYZ, см. рис. 2). Начало системы координат маяка (точка O) всегда располагается на маркере с меньшим номером и ориентируется таким образом, чтобы ось Z была направлена кверху пластины, ось X – вправо, а ось Y – внутрь пластины.

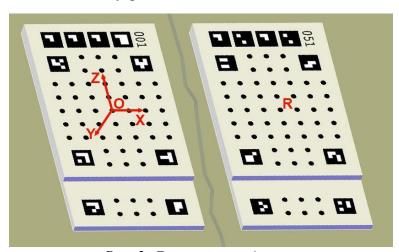


Рис. 2. Система координат.

Взаимные перемещения частей маяка в пространстве определяют из сравнения результатов обработки снимков, выполненных в разное время (в разные циклы наблюдений).

Данный подход позволяет выполнять наблюдения в разных условиях (в помещениях, на фасадах зданий, на мостовых конструкциях и промышленных объектах) и на разных расстояниях съемки (от 0.1 до 40 метров от камеры до объекта). Обработка снимков в программе PhotoMicrometer основана на методах фотограмметрии, стереофотограмметрии и высокоточном автоматическом измерении марок на рисунке маяка. Это позволяет достигать точности определений до 0.005 мм и выше.

Закрепленные маяки находятся на объекте исследований в течение всего периода мониторинга, поэтому проводить циклы наблюдений можно с любой периодичностью. Это позволяет исследовать динамику деформации объекта.

Установка маяка на объекте

По одной пластине маяка закрепляется по каждую сторону от измеряемой трещины, щели или деформационного шва. Слева устанавливается маркер с меньшим номером, а справа — с большим. Маркеры нужно размещать таким образом, чтобы, их вертикальные оси были максимально параллельны и близки друг к другу.

На рисунках ниже изображены способы расположения пластин маяка в местах где образовались трещины: на стене (рис.3.а), на внутреннем (рис.3.b) и на внешнем (рис.3.c) угле стыка стен.

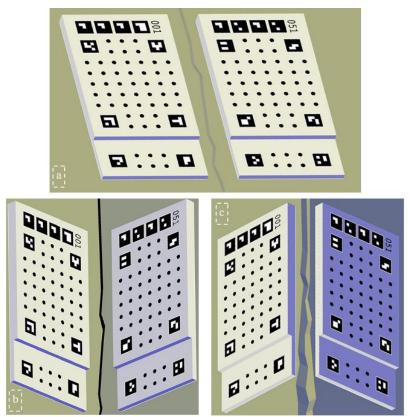


Рис. 3. Способы установки маяка.

Методика проведения съемки маяка

Общие правила съёмки:

1. Маяк следует фотографировать таким образом, чтобы он занимал как можно большую часть кадра:





Минимальная площадь маяка в кадре, позволяющая проводить мониторинг, имеет отношение 1/25 к площади снимка, что примерно соответствует изображению на схеме ниже:



Важно также, чтобы марки располагались в центре кадра (для этого при съемке с большого расстояния желательно использовать штатив):

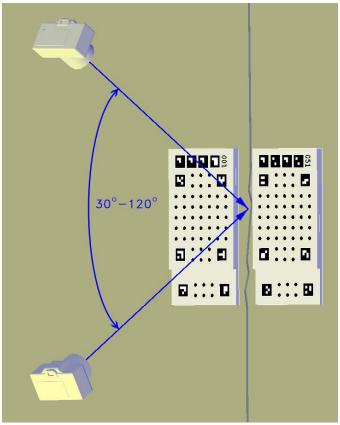




2. На снимке должны быть хорошо различимы все квадратные и круглые марки, изображение должно быть четким, не смазанным и контрастным.

Съемка и обработка нескольких снимков (стереофотограмметрический метод)

Стандартный цикл наблюдений выглядит следующим образом: сначала, делаем снимки маяков, затем, обрабатываем снимки в программе PhotoMicrometer. Метод стереосъемки предполагает выполнение 2-х и более снимков с разных мест установки камеры (Рис. 4а и 4б). Схема, показанная на Рис. 4а лучше работает на ближних расстояниях. При съемке с расстояний до 1-го метра до маяка желательно использовать именно ее.



Puc. 4a. Схема расположения точек фотографирования и маяка для ближних и дальних расстояний съемки.

На схеме фотокамерами обозначены точки фотографирования, а синие стрелки показывают направление съемки. Схема съемки, показанная на рис. 4а, является универсальной и подходит как для ближних, так и для дальних расстояний.

В случае, если по какой-то причине схема, показанная на рис. 4а, оказалась не удобной, при съемке с расстояний, превышающих 1 метр, можно использовать схему, показанную на рис. 4б:

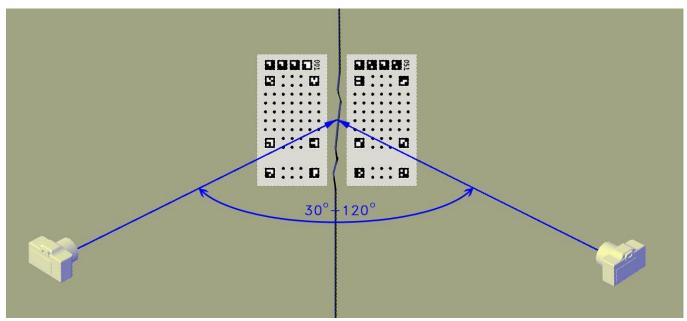


Рис. 4б. Схема расположения точек фотографирования и маяка для больших расстояний.

Способы съемки маяка, расположенного на углу, показан на рис. 4в.

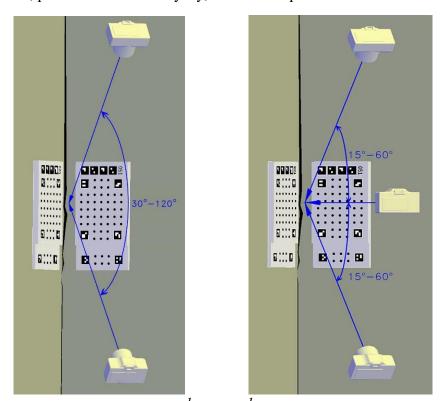


Рис. 4в. Схемы расположения точек фотографирования и маяка на углу.

Необходимо выполнять фотосъемку таким образом, чтобы геометрический центр маяка был примерно в центре каждого снимка. При этом точки фотографирования необходимо располагать примерно на одинаковом удалении от левой и правой пластин фотомаяка.

Увеличение числа снимков и ракурсов съемки повышает точность и надежность определений. Углы засечек между крайними снимками должны находиться в диапазоне от 30° до 120° (см. рис.4). Также необходимо, чтобы угол между оптической осью камеры (направлением съемки) и плоскостью маяка был не менее 30°, в противном случае точность результатов не гарантируется.

В случае использования метода стереосъемки наблюдения могут быть произведены на расстояниях от 0.1 до 40 метров (например, с земли можно одинаково успешно снимать маяки установленные и на первом, и на девятом этажах фасада здания). При этом, чтобы обеспечить требуемую детальность изображения, чем дальше находятся маяк и камера друг от друга, тем большее оптическое увеличение (фокусное расстояние) должно быть установлено на объективе камеры.

Съемка и обработка одиночных снимков

PhotoMicrometer позволяет выполнять расчеты по одиночным снимкам. В этом случае, для получения точных результатов по всем трем координатным осям, расстояние съемки не должно превышать 30 см., а оптическая ось камеры (направление съемки) должна идти перпендикулярно к плоскости стены, насколько это возможно (см. рис. 5).

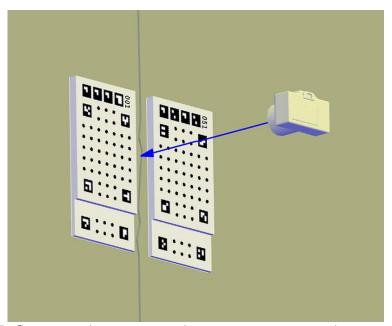


Рис. 5. Съемка с одной позиции для мониторинга по одному снимку.

Кроме того, для мониторинга необходимо использовать одну и ту же камеру, и при съемке в разных циклах наблюдений стараться выдерживать постоянным расстояние между камерой и маяком.

Тем не менее, результаты расчетов, выполненных по одиночным снимкам, по точности и надежности уступают результатам расчетов по нескольким снимкам. Поэтому мы рекомендуем всегда использовать стереофотограмметрический метод, если есть такая возможность.

Типы выпускаемых маяков

В настоящее время выпускаются три типа маяков, рассчитанные на разные показатели точности определений.

No॒	Тип маяка	Точность
1	M-0.1	0.1 мм
2	M-0.02	0.02 мм
3	M-0.005	0.005 мм

За меру точности взята величина среднеквадратической ошибки определения взаимного положения центров двух маркеров полученная из обработки пары снимков выполненных на

расстоянии 2 метра и с углом засечки 90° (Рис. 4а и 4б).

Внешне маркеры разных типов выглядят одинаково. Отличия заключаются в точности и, соответственно, сложности программы их калибровки, результаты которой записаны в файле калибровки и поставляются вместе с маяком.

Факторы, влияющие на точность и надежность результатов

Помимо типа маяка на точность и надежность получаемых результатов оказывает влияние целый ряд факторов, которые необходимо учитывать при выполнении съемки.

Точность и надежность получаемых результатов зависит от числа снимков и позиций съемки. Поэтому увеличение числа снимков и числа положений камеры является одним из способов повышения точности и надежности результатов.

При съемке нескольких снимков лучшим расположением камер будет такое, при котором угол засечки между левой и правой камерами (рис. 46) или верхней и нижней камерами (рис. 4a, 4b) будет находиться в интервале 90° - 110° .

При съемке с разных расстояний необходимо использовать камеры с объективами, обеспечивающими достаточное увеличение изображения, чтобы получались размеры изображений маяка как это показано на стр. 4. Зависимость расстояния съемки и требуемого фокусного расстояния камеры представим в виде таблицы:

Расстояние съемки (м.)	0.2	1	5	10	20	30	40
Эквивалентное фокусное	14 - 55	40 -	≥200	≥ 400	≥ 800	≥ 1200	≥ 1600
расстояние камеры (мм.)		200					

Эквивалентное фокусное расстояние камеры приводится в пересчете на формат кадра 36x24 мм. для матриц с разрешением 15-20 мегапикселей.

При расстояниях съемки, превышающих 2 метра, желательно использовать штатив.

Для получения качественных, пригодных для обработки изображений съемку 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.

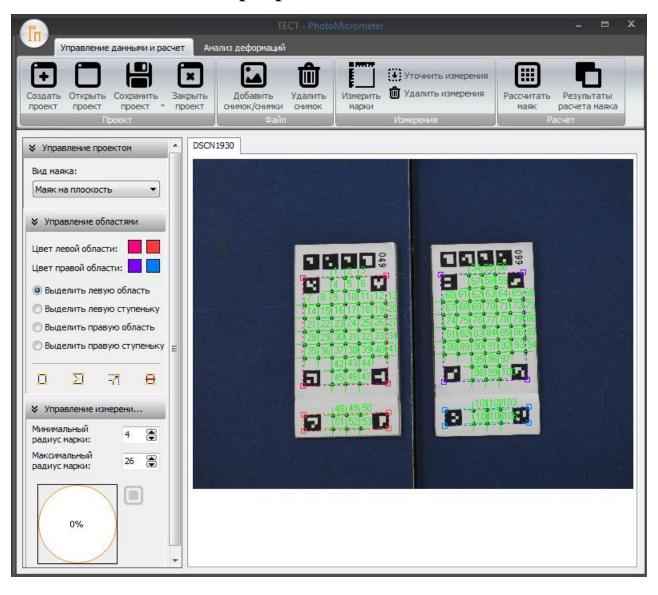
Программа PhotoMicrometer позволяет учитывать температурные расширения пластин маяка. Для этого необходимо знать и ввести в программу температуру на момент фотосъемки. При съемке в солнечную погоду следует помнить, что реальная температура маяка, находящегося на солнце, может существенно отличаться от температуры воздуха.

В местах с недостаточным освещением можно снимать маяк, используя вспышку. Но не следует выполнять съемку под прямым углом к маяку во избежание появления бликов на снимке.

Для обеспечения наиболее достоверных и точных результатов мониторинга, следует придерживаться некоторых несложных правил по организации наблюдений в каждом цикле:

- → проводить съемку одной и той же камерой;
- → снимать маяк примерно с одних и тех же точек фотографирования;
- → снимать и использовать в расчетах одинаковое количество кадров.

Работа в программе PhotoMicrometer



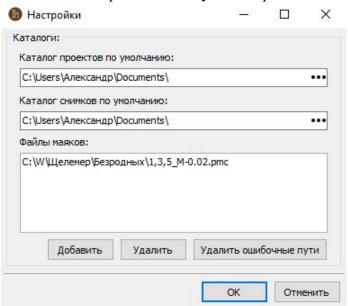
Настройка программы



При нажатии на значок программы появляется контекстное меню, в котором можно выбрать "Настройки", "Справка", "О программе", "Открытые проекты".

В настройках можно задать каталог, в котором будут храниться проекты программы и путь к каталогу со снимками маяков.

Кроме того, необходимо чтобы в окно "Файлы маяков" были загружены файлы калибровки соответствующих маркеров с расширением *.pmc. Загрузка новых файлов калибровки выполняется через нажатие кнопки "Добавить" и выбора соответствующего файла.



Создание проекта



В проекте хранятся данные одного наблюдения для одного маяка. Пользователю нужно будет задать имя проекта, после чего будет предложено добавить снимки в проект. Этот шаг можно пропустить и добавить снимки позднее.

Открытие проекта



Выбирается существующий файл проекта. Если в программе был открыт другой проект, то пользователю будет выведен запрос на сохранение несохраненных изменений, если они есть, после чего текущий проект будет закрыт.

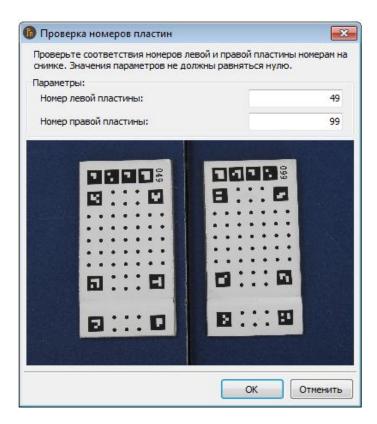
Сохранение проекта



Автоматическое сохранение в программе не предусмотрено. Все изменения данных проекта осуществляются в памяти программы и сохраняются на диск только при использовании Сохранить проект или Сохранить проект как. При выборе Сохранить проект как можно пересохранить проект под другим именем, при этом данные раннего сохранения не перезапишутся, а работа в программе будет продолжена в новом сохраненном проекте.

Добавление снимков в проект

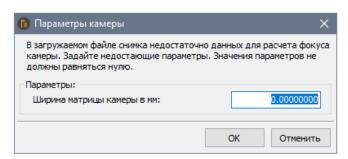




При добавлении снимков предлагается выбрать один или несколько Программа считывает номера снимков. загруженных пластин снимках автоматически. После загрузки первого снимка проект появляется окно, позволяющее проконтролировать загруженной фотографии правильность маяка — в одном проекте допускаются только фотографии одного и того же маяка (номера левой и правой пластины на фотографиях одного проекта должны быть одинаковыми). Это же окно будет выводиться также в случае, когда номера на фотографии не распознаны или распознаны отлично от первой фотографии проекта. Пользователь может скорректировать значение номеров вручную или отменить загрузку выбранной фотографии в проект.

Программа автоматически читает из файлов снимка необходимую информацию о камере (фокусное расстояние, физический размер матрицы) и осуществляет проверку, что снимки сделаны одной и той же камерой. Поэтому параметры последующих загруженных снимков должны быть идентичны первому загруженному снимку в проект или будет выведено сообщение об ошибке.

Некоторые камеры (как правило камеры телефонов) не пишут в файл снимка необходимую информацию для программы. В этом случае пользователю будет выведено окно, где будет предложено задать недостающие данные вручную. Это может быть ширина матрицы камеры в миллиметрах или фокусное расстояние камеры в миллиметрах.

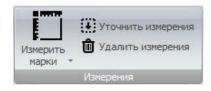


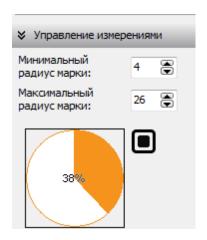
Удаление снимков из проекта



Удаляет текущий отображаемый снимок.

Автоматическое измерение марок





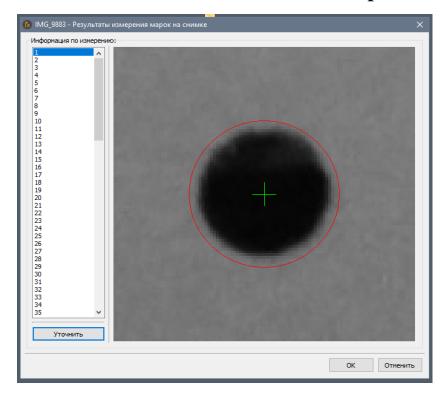
При запуске команды *Измерить марки* измерение проводится на текущем отображаемом снимке. При нажатии на стрелочку справа от надписи, появится команда *Измерить марки на всех снимках*. В процессе измерения на панели *Управление измерениями* отображается прогресс измерения и активна кнопка остановки процесса (чёрный квадрат). Как измерялись марки можно проконтролировать после завершения измерения в пункте меню *Уточнить измерения*.

Если качество измерения марок не удовлетворяет пользователя, то предусмотрены несколько механизмов ручной настройки поиска и измерения марок на снимке.

На панели *Управление измерениями* выводятся автоматически рассчитанные значения минимального и максимального радиуса марки на снимке в пикселях. Заданием радиусов марок можно скорректировать поиск.

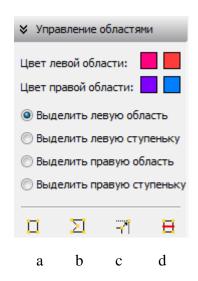
Пользователь также может Удалить измерения на текущем отображаемом снимке.

Уточнение измерений марок



В появившемся окне будут показаны результаты последних измерений: номер марки, увеличенное изображение марки снимке, на предварительный центр марки (желтый крест), найденный центр марки (зеленый крест) и рассчитанный радиус марки (красная окружность). Пользователь может колесиком мыши изменять радиус марки, изображение с перемещать зажатой средней кнопкой мыши и Уточнить измерение центра марки. В большинстве случаев автоматическое измерение работает хорошо и не требует ручной настройки от пользователя.

Полуавтоматическое измерений марок



На качество измерения марок также влияет определение регионов с марками на снимке. Как правило, они определяются автоматически, но иногда, при нестандартных условиях съемки, когда снимки не очень четкие или сделаны при недостаточном освещении, возможны сбои в автоматическом измерении. В таких случаях вручную указать или исправить Существует 4 региона с марками: левая область, левая ступенька, правая область и правая ступенька. В меню Управление областями настраивается цвет каждого региона. Для изменения региона необходимо выбрать его в списке, например, Выделить левую область, а затем выбрать одну из четырех команд работы с регионом. Добавить прямоугольник (а) задает прямоугольную область на снимке, все линии которой параллельны сторонам снимка. Добавить многоугольник (b) позволяет задать четырехугольник произвольной формы. Переместить вершину (с) позволяет изменить форму существующего региона. Удалить область (d) удаляет регион со снимка. Для запуска измерения марок нужно присутствие на снимке всех четыре регионов, являющихся четырехугольниками, вершины которых это внешние углы квадратных марок. На снимке допускается наличие только одного региона каждого вида, поэтому при попытке добавить регион, присутствующий на снимке, регион заменяется. Правильно измеренный маяк показан на рис. 6.

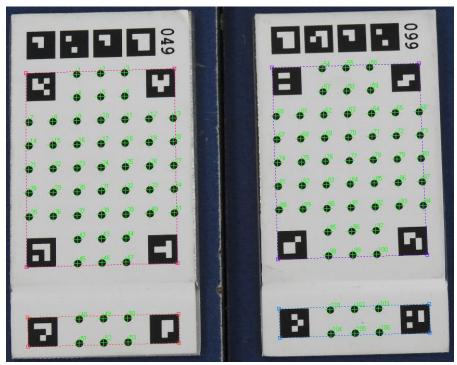


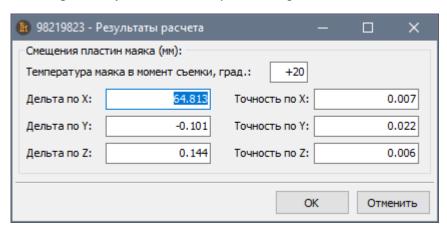
Рис. 6. Правильно измеренный маяк.

Расчет маяка

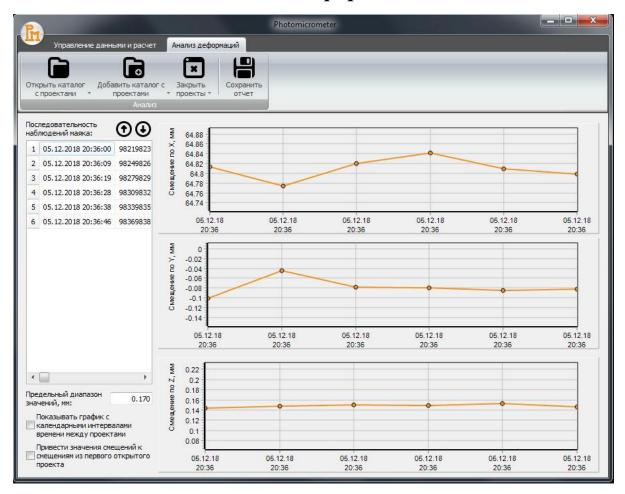




Расчет маяка доступен, когда измерены марки на всех снимках в проекте. Программа работает с 3 способами крепления маяков: закрепленный на плоскость, закрепленный на внутренний угол и закрепленный на внешний угол. До начала расчета на панели Управление проектом необходимо выбрать способ крепления маяка, а также его температуру на момент съемки. Если расчет успешен, то будет выведено окно с результатами расчета. В дальнейшем результаты расчета маяка можно посмотреть в пункте меню Результаты расчета маяка.



Анализ деформаций



Пользователь может открыть каталог с проектами или один проект, а также добавить другие проекты к открытым проектам. Список проектов будет показан слева в таблице Последовательность наблюдений маяка.



По-умолчанию, последовательность проектов соответствует дате и времени наблюдений (берутся из EXIF-данных снимков). Пользователь может сортировать последовательность отображения проектов в списке и на графиках. Можно закрыть выделенный в списке проект или все проекты сразу. проектов программу После загрузки графическом окне будут построены смещений.

На графиках выводятся все смещения пластин маяка из списка проектов по трем осям X, Y, Z. Масштаб по оси значений смещений вычисляется автоматически и выводится пользователю в окне *Предельный диапазон значений*. Это значение можно редактировать, меняя вид графиков, но не ниже рассчитанного минимума для заданного списка проектов. Масштаб отображения графиков можно менять, перемещая мышь с зажатой левой кнопкой по графику вниз-влево, и возвращая в исходный масштаб - вверх-вправо. Может быть выбрано 2 вида горизонтальной шкалы графиков - равномерная или соответствующая шкале времени (галочка *Показать график с календарным интервалом времени между проектами*). По-

умолчанию, на графиках будут представлены абсолютные значения центра правой пластины относительно центра левой в разных циклах наблюдений. При желании абсолютные значения можно заменить смещениями относительно первого цикла наблюдений или первого открытого проекта (галочка Привести значения смещений к смещениям из первого открытого проекта).



Пользователь может сохранить результаты расчетов в виде отчета в формате HTML или в текстовом формате.

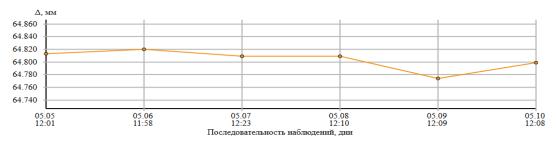
Отчет

Отчет Photomicrometer 21-03-2019.

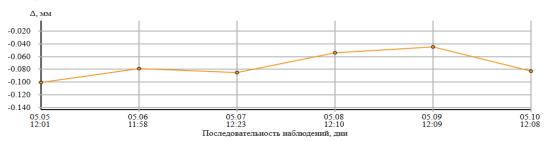
Таблица наблюдений.

№ п.п.	Дата	Проект	ID левый	ID правый	ť°	ΔX	ΔY	$\Delta \mathbf{Z}$	m _x	my	m _z
1	05.05.2018 12:01:56	98219823	41	91	20	64.813	-0.101	0.144	0.007	0.022	0.006
2	05.06.2018 11:58:32	98279829	41	91	20	64.820	-0.079	0.150	0.004	0.012	0.004
3	05.07.2018 12:23:14	98339835	41	91	20	64.809	-0.085	0.153	0.007	0.020	0.007
4	05.08.2018 12:10:02	98189820	41	91	20	64.809	-0.054	0.149	0.006	0.017	0.006
5	05.09.2018 12:09:19	98249826	41	91	20	64.774	-0.045	0.148	0.011	0.038	0.010
6	05.10.2018 12:08:31	98369838	41	91	20	64.799	-0.083	0.147	0.010	0.028	0.010

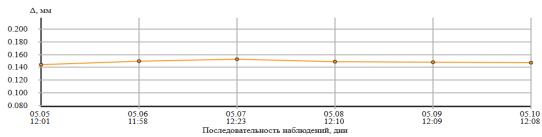
Смещения по Х.



Смещения по Ү.



Смещения по Z.



21-03-2019 Photomicrometer 1.3.0.0 x64 Copyright © HПП «Фотограмметрия»

В отчете в первом столбце таблицы записан номер проекта по порядку, во втором - дата и время съемки, в третьем столбце находится название проекта, в четвертом и пятом столбцах записаны номера соответственно левой и правой пластин маяка, в шестом столбце записана температура, которая была во время съемки, в седьмом, восьмом и девятом столбцах записаны координаты (X, Y, Z) центра правой пластины маяка относительно центра левой пластины или их изменения относительно первого цикла наблюдений в миллиметрах. В трех последних столбцах приводятся результаты оценки точности - средние квадратические ошибки соответствующих координат в миллиметрах. Данные оценки получены по результатам уравнивания фотограмметрических измерений и являются показателями их внутренней сходимости. Данные из таблицы также могут быть сохранены в виде текстового файла.