

УДК 528.02

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ
ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ ЭТИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF RANGE MEASUREMENTS TO
ASSESS THE APPLICABILITY OF THESE METHODS FOR GEODETIC MONITORING OF
EXTENDED OBJECTS



Симонян В.В. / Simonian V.V.

Кандидат технических наук, доцент кафедры "Инженерная геодезия", руководитель сектора геодезии НИиППЛ «ПиК» МГСУ / Associate Professor of "Engineering geodesy", Candidate of Tech.Sci., Chief of Geodesy NIiPPL "PIC", Moscow State University of Civil Engineering.

e-mail: simonyan@korolev-net.ru

Лабузов А.В. / Labuznov A.V.

Кандидат технических наук, доцент кафедры "Инженерная геодезия" МГСУ / Candidate of Tech.Sci., Associate Professor of "Engineering geodesy", Moscow State University of Civil Engineering.

e-mail: labuznov@yandex.ru

Ангелова Н.В. / Angelova N.V.

Кандидат технических наук, профессор кафедры "Инженерная геодезия" МГСУ / Candidate of Tech.Sci., Professor of chair "Engineering geodesy"

Савин М.С. / Savin M.S.

аспирант кафедры "Инженерная геодезия" МГСУ Post-graduate student of chair "Engineering geodesy", Moscow State University of Civil Engineering.

e-mail: arhimail@list.ru

Аннотация. Данный анализ является вводным практическим материалом применимым для решения инженерных задач геодезического мониторинга протяженных объектов. Цель данной работы – сравнение существующих геодезических методов сторных измерений применительно к задачам строительного мониторинга.

Ключевые слова: сторные измерения, геодезический мониторинг, протяженный объект.

Abstract. This analysis is an introductory practical material applicable for the decision of engineering problems, while organizing geodetic monitoring of extended objects and will be used in research work. The purpose of this work consists of comparison of the existing geodetic methods of range measurements with reference to problems of building monitoring.

Keywords: range measurements, geodetic monitoring, extended object.

В последнее время все чаще ставится вопрос безопасности жизнедеятельности человека (БЖД). Одним из важнейших аспектов БЖД является безопасность строительных объектов. Наблюдения за строительными объектами (строительный мониторинг) – это сложная, многогранная задача и универсальных решений на сегодняшний день не существует. Однако правильно составленная индивидуальная программа строительного мониторинга позволяет прогнозировать поведение строительного объекта, и тем самым предупреждать о возможных чрезвычайных ситуациях техногенного характера.

Наблюдения за геометрическими параметрами строительного объекта называют в разных источниках деформационным или геодезическим мониторингом. В геодезии под термином «деформация» понимают изменение геометрических характеристик объекта относительно его первоначального состояния. Использование данных, полученных при измерениях деформаций строительных конструкций, позволяет оценить эксплуатационного качества зданий и сооружений и увеличить их срок службы по средствам организации ремонтно-восстановительных мероприятий.

Для определения деформаций в характерных точках сооружения устанавливают марки и путем геодезических измерений находят изменение их пространственного положения за выбранный промежуток времени.

Основной целью постановки систематических геодезических наблюдений (мониторинга) за состоянием строительного объекта, является получение максимально полной и наиболее достоверной информации о развитии деформационных процессов, как в пространстве, так и во времени. Достижение этого возможно только при условии выбора и осуществления в натуральных условиях соответствующих методов геодезических измерений.

В практике проведения геодезических измерений существует целый класс специфических задач, которые

условно можно назвать задачами наблюдением за геометрическими параметрами протяженного объекта. Далее в статье будем использовать следующее понятие.

Протяженный объект – строительный объект, на котором невозможна или нецелесообразна установка средств геодезических измерений на таком расстоянии от объекта, которое сравнимо с его линейными размерами. Таким образом, протяженными, с точки зрения условий контроля геометрических параметров, будем называть такие объекты, для которых линейные размеры контролируемой зоны много больше расстояний от объекта до измерительных компонент системы контроля. Специфика «протяженности» встречается на многих строительных объектах, организация геодезических наблюдений является неотъемлемой частью программы строительного мониторинга. К таким объектам можно, в частности, отнести:

- туннели
- прямолинейные стены в условиях плотной городской застройки
- высотные здания
- строительные конструкции (балки, колонны, фермы) в условиях затрудненной видимости
- подпорные стены котлована

В зависимости от возможности доступа к объекту наблюдений, частоты съема информации, количества геодезических марок, производства строительного-монтажных работ и т.д. выбирается метод геодезических измерений. Для решения задач на протяженных объектах применяются створные методы геодезических измерений, так как они не требуют значительного расстояния до объекта наблюдений.

Створные измерения – область геодезических измерений, связанная с определением отклонений положения пунктов (точек, мишеней, марок) от плоскости (заданного створа).

В современной инженерно-геодезической практике для проведения

створных измерений используют следующие инструментальные методы:

- Боковое нивелирование с использованием оптического теодолита
- Боковое нивелирование с применением лазерного построителя плоскостей.
- Дистанционно-угловой метод (способ полярных координат) с использованием электронного тахеометра

Геодезических методы измерений имеют ограничения с точки зрения наблюдений за протяженными объектами, описанные ниже.

Для анализа методов геодезических измерений, с точки зрения процесса производства наблюдений, рассмотрим протяженный объект со следующими параметрами:

- строительный объект – стена протяженностью более 50м
- возможность установки прибора только с одной стороны створа
- форма объекта «горизонтально протяжённая»

- возможность производства наблюдений в коридоре шириной не более 4 метров от стены
- необходимая частота съема информации не менее цикла в неделю
- марки устанавливаются с шагом не менее 5м
- требуется измерение одной координаты (по оси Y) с максимальным смещением не более 20мм.
- высота установки марок от 0,5 до 1,5 м от уровня земли (возможность установки геодезической рейки)
- точность измерений не менее ± 2 мм

При сравнении методов геодезических измерений, в дополнении к анализу технической литературы, был произведен натурный эксперимент. Измерения проводились на реальной строительной конструкции – юго-восточной стене крупнопанельного здания ($L=53,67$ м) административного корпуса Мытищинского филиала МГСУ, к которой крепились геодезические марки (рис.1). Покрытие стены – декоративная кафельная плитка.

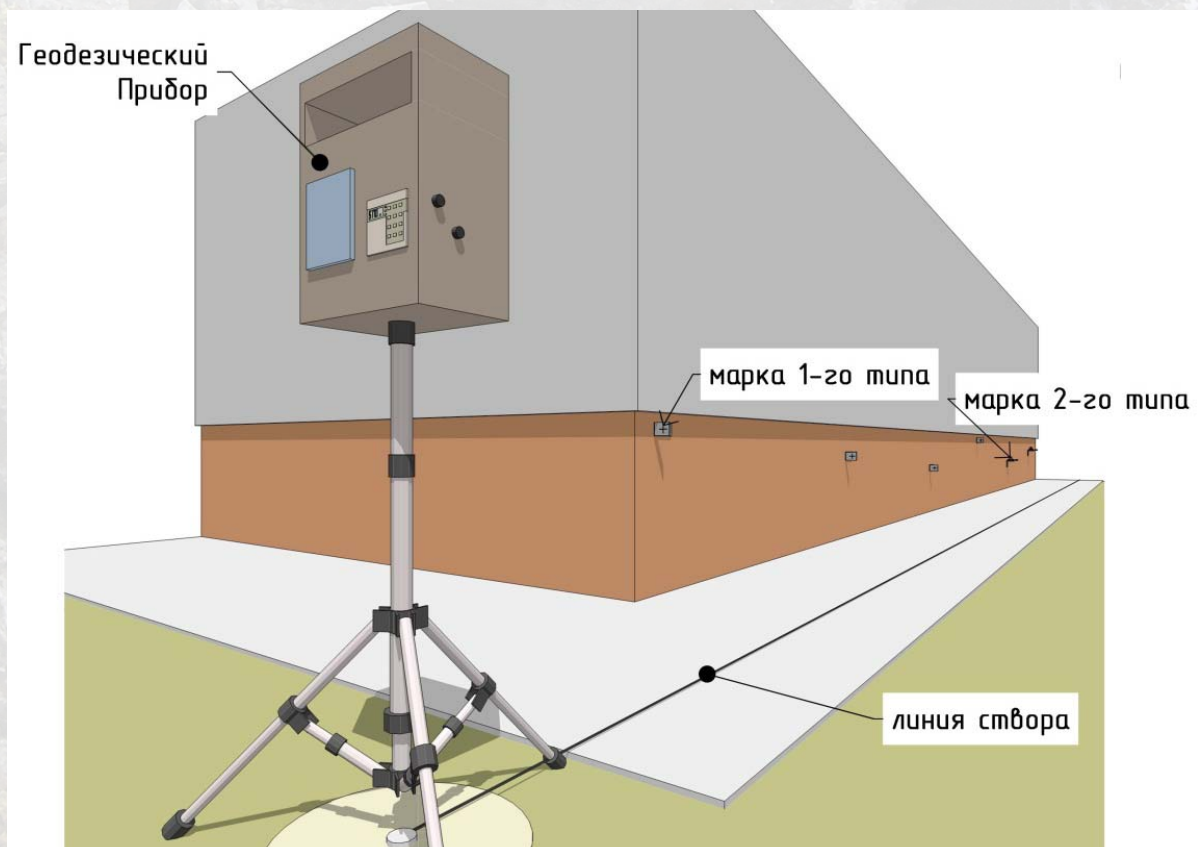


Рис.1

Первый тип – это условно неподвижные марки, в количестве 9 шт. Марки представляли собой металлические уголки, с наклеенными на них геодезическими светоотражающими марками (рис.2).

Второй тип – это подвижные марки, в количестве 5 шт. Конструктивно марки выполнены в виде металлических уголков – платформ с установленными устройствами микроперемещений по оси Y. На устройства микроперемещений крепятся металлические уголки с наклеенными на них геодезическими светоотражающими марками (рис. 3).

Уголки крепились на высоте от 0,5 до 1м от уровня земли, с учетом зрительной досягаемости точки измерений (метод с использованием электронного тахеометра), а также возможности перпендикулярного приложения миллиметровой рейки (метод бокового нивелирования). Установка марок по высоте производилась в произвольном порядке, но с учетом условий, указанных

выше. Поскольку весь эксперимент проводился в течение ограниченного промежутка времени, крепление металлических уголков к декоративной отделке стены было выполнено на клеевое соединение, позволяющее экономить время подготовительных работ, а также не нарушать эстетический образ объекта наблюдений после проведения эксперимента. Для долгосрочных наблюдений крепление марок производится в соответствии с выбранным методом геодезических измерений.

Для проведения эксперимента были вынесены проектные оси объекта и построен базис, перпендикулярный оси протяженного объекта (створ). Фактическое расстояние створа до объекта наблюдений не превышало 0,5м., расстояние подбиралось из условий площадки наблюдений, а также удобства работы с рейкой. Расстояние от репера №1 до репера №2 с промежуточно установленными марками приведены в табл.1.

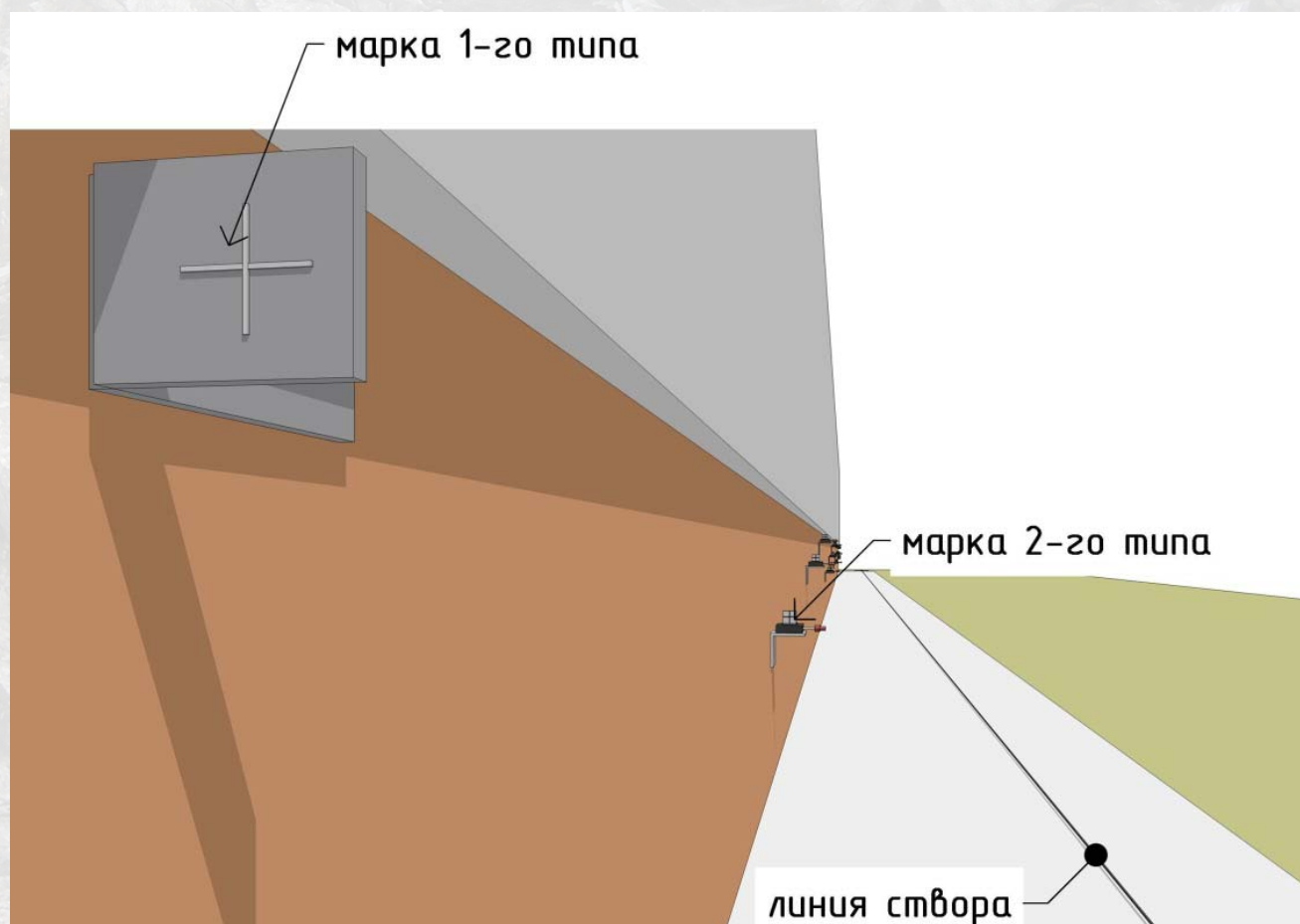


Рис.2

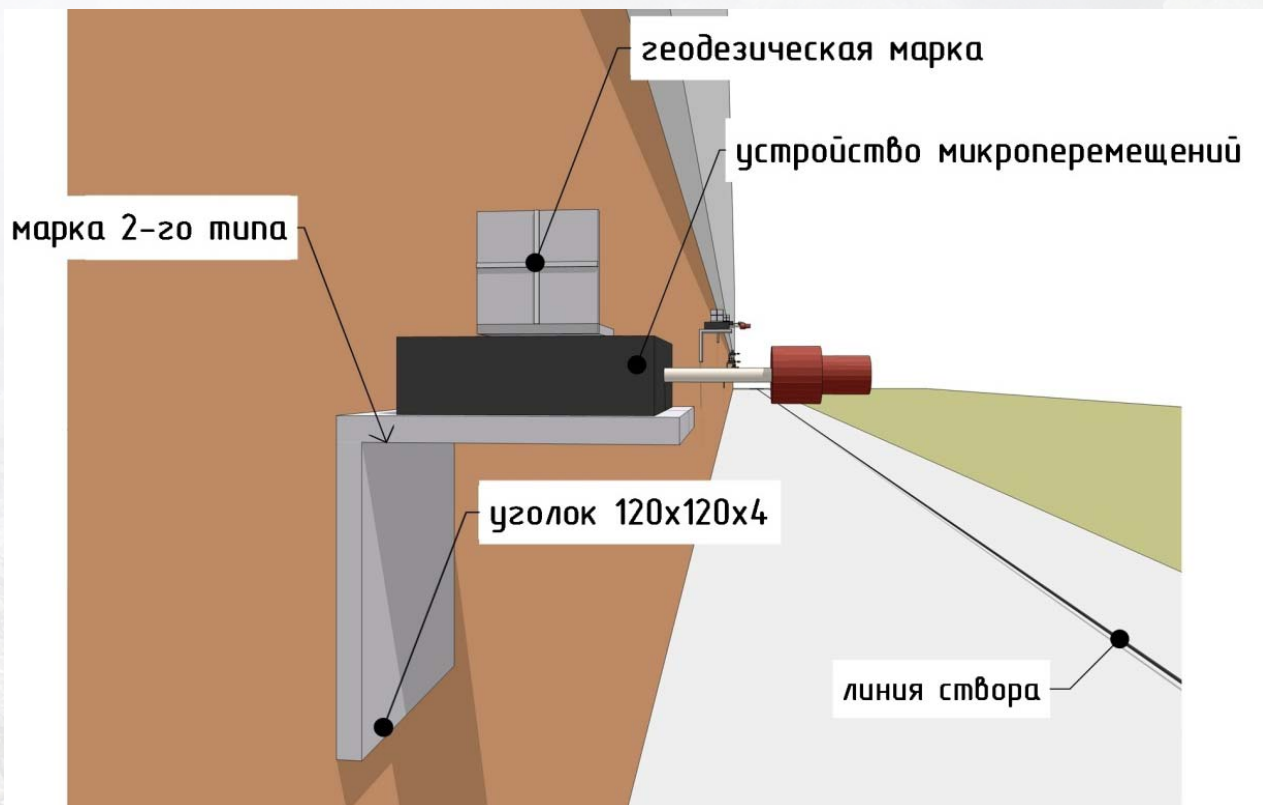


Рис.3

Таблица 1.

№п/п	Акт/пас	L(мм)	№п/п	Акт/пас	L(мм)
№1	Репер	0	8	Акт	30847
1	Пас	2675	9	Пас	34049
2	Пас	7037	10	Акт	38189
3	Пас	10315	11	Акт	41465
4	Пас	13850	12	Пас	45492
5	Акт	17211	13	Пас	49144
6	Акт	20820	15	Пас	56350
7	Пас	27581	№2	Репер	58608

Нами были использованы разные типы марок, необходимые для имитации деформаций объекта, что позволяет ускорить процесс наблюдений, а так же сравнить фактическую точность определения смещения с теоретическими значениями.

Одной из особенностей производимых измерений в эксперименте являлись наблюдения за протяженным объектом с одной стороны створа, что не всегда неправильно с точки зрения использования методов и ухудшает точность измерений, но обусловлено поставленной

задачей дальнейших изысканий, направленной на сбор и анализ результатов для работы над методом створных измерений с использованием систем видеорегистрации.

Метод бокового нивелирования с использованием оптического теодолита

При выполнении измерений методом бокового нивелирования особое внимание уделяется уменьшению погрешностей центрирования и визирования на точку створа. Метод подробно рассмотрен в работах [1], [2], в которых отмечено, что

существенным источником погрешностей является также неперпендикулярность рейки опорному створу.

Для сравнения теоретической точности с практической проводились измерения неподвижных марок, а для оценки точности определения смещения использовались подвижные марки. В эксперименте использовался электронный теодолит GeoboxTE-05 и геодезическая рейка шашечного типа НР-3. Было произведено 5 циклов измерений.

Для сравнения теоретической точности с практической проводились измерения неподвижных марок, а для оценки точности определения смещения использовались подвижные марки. В эксперименте использовался электронный теодолит GeoboxTE-05 и геодезическая рейка шашечного типа НР-3. Было произведено 5 циклов измерений.

Рассчитаем СКП смещения точки от створа без учета погрешностей за неперпендикулярность рейки створу, центрирования и редукции.

$$m_L^2 = m_{отс.}^2 + m_{ор.}^2, \quad (1)$$

где $m_{отс.}$ - СКП отсчета по рейке; $m_{ор.}$ - СКП ориентирования теодолита по створу. Согласно [3] СКП отсчета по рейке [в мм], определяется по формуле:

$$m_{отс.} = 0,03t + 0,2dv^x, \quad (2)$$

где t - цена деления рейки [мм]; d - расстояние от теодолита до рейки [м]; v^x - увеличение зрительной трубы.

СКП ориентирования теодолита по створу [в мм], определяется по формуле:

$$m_{ор.} = \tau \cdot dv^x \rho, \quad (3)$$

где τ - разрешающий угол зрения, величину которого, при специальном подборе визирных целей, можно принять равным 30", ρ - значение радиана в угловых секундах, равное 206265.

На основании формул (1), (2) и (3) для электронного теодолита GeoboxTE-05, вычислены значения m_L (табл.2).

Оценку точности полученных результатов m_S выполним по внутренней сходимости по формуле Бесселя:

$$m_S = \sqrt{\frac{V^2}{n-1}}, \quad (4)$$

где, V - уклонения от среднеарифметического значения, n - число измерений.

Результаты оценки точности m_S для 5 циклов приведены в табл.3.

Оценка теоретической точности определения смещений подвижных марок $m_{\Delta L}$ определяется по формуле:

$$m_{\Delta L} = m_L \sqrt{2}. \quad (5)$$

Оценка фактической точности определения смещений подвижных марок $m_{\Delta S}$ определяется по формуле:

$$m_{\Delta S} = m_S \sqrt{2}. \quad (6)$$

Результаты оценки точности определения смещений подвижных марок для 5 циклов приведены в табл. 4.

Таблица 2.

№ марки	1	2	3	4	7	9	12	13	14
m_L , мм	0,36	0,42	0,46	0,48	0,54	0,61	0,72	0,79	0,82

Таблица 3.

№ марки	1	2	3	4	7	9	12	13	14
m_S , мм	0,95	1,22	1,45	1,64	1,86	1,95	2,07	2,58	2,87

Таблица 4.

№ марки	5	6	8	10	11
$m_{\Delta L}$, мм	0,74	0,75	0,83	0,9	0,97
$m_{\Delta S}$, мм	2,43	2,51	2,71	2,84	2,90

Теоретическая точность определения смещения не учитывает погрешности, вызванные конструкцией и точностью установки подвижной марки.

Проанализируем достоинства и недостатки указанного метода, с точки зрения процесса производства наблюдений.

Достоинства метода:

- высокая точность измерений
- отсутствие необходимости установки марок на строительном объекте
- дешёвое геодезическое оборудование

Недостатки метода:

- сложность в обеспечении перпендикулярности рейки к створу
- значительные трудозатраты в проведении измерений
- обязательный доступ к строительному объекту
- рабочая высота проведения измерений на строительном объекте 0,5 - 1,5 м
- для обеспечения точности на расстояниях более 40 м обязательна постановка прибора с обратной стороны створа.
- метод предполагает измерения смещений по одной координате (ось Y)

В последнее время активно развивается рынок оптико-электронных геодезических приборов. Одной из перспективных разработок является лазерный построитель плоскостей, который приходит на смену классическому оптическому нивелиру, но в современной инженерной практике приборы используются при решении ограниченного числа строительных задач. Это обусловлено низкой точностью измерений на значительных расстояниях.

Анализ паспортных данных в части точности приборов представленных на рынке показал, что современные построители плоскостей дают точность отчета по отражательной призме 1 мм на 10 м, и на расстоянии 50 м паспортная точность составляет 5 мм, что не удовлетворяет поставленным требованиям. Применение этих приборов в задачах по

наблюдению за протяженными объектами нецелесообразно.

Дистанционно-угловой метод определения смещения с использованием электронного тахеометра

В дистанционно-угловом методе плано-высотное положение деформационных точек определяется непосредственно с опорных пунктов путем измерения горизонтальных и вертикальных углов и длин линий, что исключает накопление погрешностей измерений.

Универсальность метода позволяет применять его практически в любых условиях с минимальными затратами труда. Соответствующими расчетами, а затем экспериментальной проверкой установлено, что в данном методе необходимо применение высокоточных и точных теодолитов и светодальномеров [4] или электронных тахеометров.

В натурном эксперименте использовался модифицированный метод малых углов. Ось «X» была совмещена со створом и в полученной условной системе координат смещения точек определялись по разностям координат (способ полярных координат). Измерения проводились электронным тахеометром Sokkia SET3X.

В этом методе положение маркированной точки определяется относительно исходного пункта полярным способом и приращения координат составляют:

$$\begin{aligned} \Delta x &= S \cos \alpha, \\ \Delta y &= S \sin \alpha, \end{aligned} \quad (7)$$

где S - горизонтальное положение измеренной линии D ; α - дирекционный угол.

Общая среднеквадратическая погрешность планового положения точки m_l определяется по формуле:

$$m_l = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{m_t^2 + \frac{S^2 m_\alpha^2}{\rho^2}}. \quad (8)$$

Так как среднеквадратическая погрешность m_α характеризуется среднеквадратической

погрешностью m_β угла β , то формула (6) примет вид:

$$m_t = \sqrt{m_t^2 + \frac{S^2 m_\beta^2}{\rho^2}}. \quad (9)$$

Так как смещение деформационной точки определяется по разности ее координат между циклами наблюдений, то теоретическая среднеквадратическая погрешность смещения точки $m_{\Delta t}$ между циклами наблюдений находится по формуле:

$$m_{\Delta t} = \sqrt{2} \sqrt{m_t^2 + S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}. \quad (10)$$

Оценку точности полученных результатов m_s выполним по внутренней сходимости формулой Бесселя (4), но поскольку смещение деформационной точки определяется по разности ее координат между циклами наблюдений, то фактическая среднеквадратическая погрешность смещения точки $m_{\Delta s}$ между циклами наблюдений находится формулой (6).

Расчетные и фактические значения погрешностей определения точности условно неподвижных марок приведены в табл.5.

Таблица 5.

№ марки	1	2	3	4	7	9	12	13	14
$m_{\Delta t}$, мм	2,83	2,83	2,84	2,84	2,88	2,91	2,98	3,00	3,06
$m_{\Delta s}$, мм	0,47	1,35	1,47	1,41	2,47	2,35	2,91	2,90	2,95

Проанализируем достоинства и недостатки указанного метода, с точки зрения процесса производства наблюдений.

Достоинства метода:

- уменьшение трудозатрат на проведение измерений
- возможность более частого съема информации в виду уменьшения трудозатрат на проведение измерений
- получение результатов измерений в цифровом формате
- съем информации с одной станции створа

Недостатки метода:

- необходимость крепления капитальных марок на строительный объект
- необходимость в дорогостоящем высокоточном геодезическом оборудовании (электронный тахеометр)
- точность измерений уступает методу бокового нивелирования с использованием оптического теодолита

Анализ методов геодезических измерений при заданных параметрах

протяженного объекта показывает целесообразность использования следующих методов:

- Боковое нивелирование с использованием оптического теодолита. При возможности свободного доступа к объекту наблюдений, и значительном промежутке между циклами измерений, а также при возможности установки прибора с двух сторон створа целесообразно использование более трудоемкого, но более точного метода.
- Дистанционно-угловой метод (способ полярных координат) с использованием электронного тахеометра. Если возможно использование дорогих электронно-оптических приборов (электронный тахеометр) с учетом допустимых расчетных точностей, рациональней использовать комбинированный метод дистанционно-угловых измерений, позволяющий производить измерения с большей частотой съема информации и значительным снижением трудозатрат.

Метод бокового нивелирования с применением лазерного построителя плоскостей не подходит для решения инженерных задач на протяженном объекте для выбранных параметров объекта.

Стоит отметить перспективу автоматизации наблюдений за смещениями на протяженном объекте, при использовании роботизированных электронно-оптических систем (роботизированный тахеометр).

Литература

1. Ямбаев Х.К. «Высокоточные створные измерения», М. Недра 1978г. -224с.
2. Донских И.Е. «Створный метод измерения смещения сооружения», М. Недра 1974г. - 192с.
3. Большаков Г.П., Левчук В.Д. «Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам», М.Недра, 1980г.-781с.
4. Куштин И.Ф., Куштин В.И. «Инженерная геодезия», Ростов-на-Дону Феникс 2002г. - 416с.

© Симонян В.В., Лабузнов А.В., Ангелова Н.В., Савин М.С., 2011