

УДК 528.482

**Желтко Чеслав Николаевич**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры кадастра и геоинженерии  
Кубанского государственного  
технологического университета  
set@id-yug.com

**Шевченко Гриттель Геннадьевна**

ассистент кафедры кадастра и геоинженерии  
Кубанского государственного  
технологического университета

**Бердзенишвили Сергей Георгиевич**

доцент кафедры кадастра и геоинженерии  
Кубанского государственного  
технологического университета

**Пастухов Максим Андреевич**

ассистент кафедры кадастра и геоинженерии  
Кубанского государственного  
технологического университета

**Аннотация.** Рассматривается метод определения смещений и осадок сооружений, основанный на выполнении геодезического мониторинга без закрепления точек наблюдения. Предлагается способ обработки измерений с использованием поискового метода уравнивания.

**Ключевые слова:** мониторинг, смещение и осадка зданий, сооружений, поисковый метод уравнивания.

**Zheltko Cheslav Nikolaevich**

Ph.D., Associate Professor of  
the Department of Cadastre  
and Geo-engineering  
Kuban State University of Technology  
set@id-yug.com

**Shevchenko Grittel Gennadyevna**

Lecturer of the Department of cadastre  
and Geo-engineering  
Kuban State University of Technology

**Berdzenishvili Sergey Georgievich**

Associate Professor of the Department of  
Cadastre and Geo-engineering  
Kuban State University of Technology

**Pastuhov Maccsim Andreevich**

Lecturer of the Department of Cadastre  
and Geo-engineering  
Kuban State University of Technology

**Annotation.** Justified the ability to perform measurements of displacements and settlements of structures in not ability to stabilize station. Observing the way to treatment measurements, using the search method equation.

**Keywords:** monitoring, displacement, settlements, equation

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ СМЕЩЕНИЙ И ОСАДОК СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ



## FEATURES DEFINITIONS OF DISPLACEMENT AND SEDIMENT STRUCTURES OF ELECTRONS TOTAL STATIONS

Современные электронные тахеометры, позволяющие измерять расстояния с точностью до нескольких миллиметров, дают возможность применить другие, нетрадиционные методы точных определений координат точек.

Во время возведения любого инженерного сооружения, к какой бы категории объектов оно не относилось, иногда полезно контролировать в течение всего процесса строительства, а иногда и в процессе его эксплуатации, возможные смещения, осадки и деформации сооружения.

К геодезическим методам их определения относятся: разные виды нивелирования, створные методы, триангуляция, трилатерация, засечки, спутниковые методы. Способы, предусматривающие определение кроме осадок и плановых смещений деталей сооружений, требуют использования закрепленных на местности точек, с которых выполняются измерения от цикла к циклу [1].

Однако, нередко из-за постоянных строительных работ на строительной площадке данные станции теряются или деформируются, и проводить необходимые измерения с них уже становится невозможным. Между тем современные тахеометры, которыми можно измерять точные расстояния в безотражательном режиме, могут скомпенсировать этот недостаток. В связи с этим, предлагается применять иной способ определения смещений и осадок инженерных сооружений, который будет основываться на выполнении геодезического мониторинга без закрепления точек наблюдений [2].

Для наблюдения за смещениями и осадками сооружения необходимо выполнить измерения осадочных марок, которые размещаются по периметру данного сооружения (рис. 1). Марки закрепляются на определенной высоте.

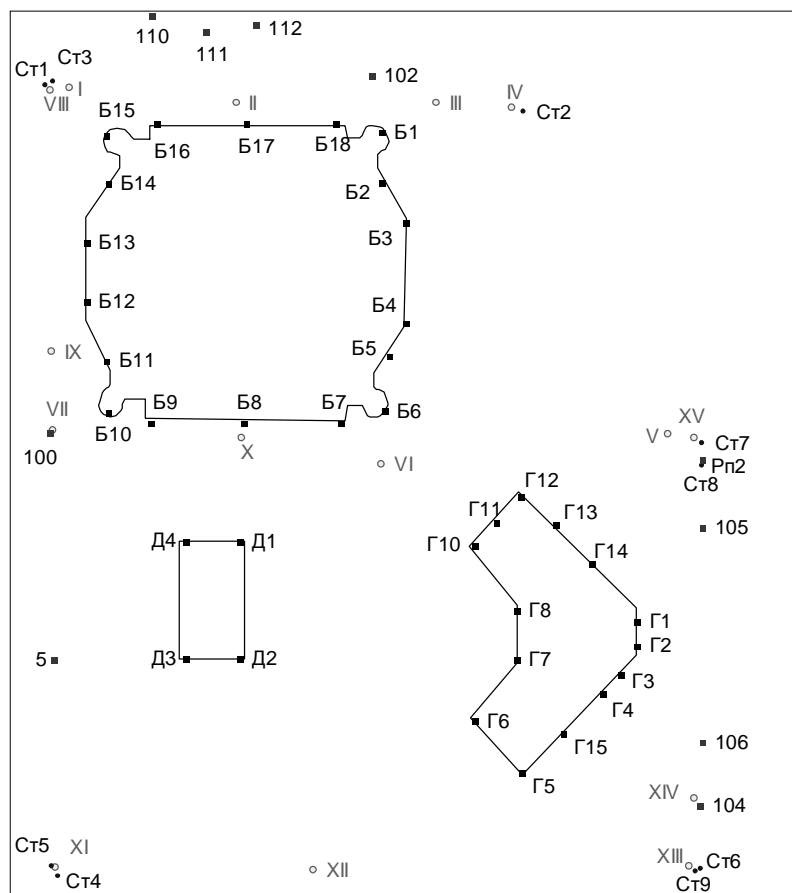


Рис. 1. Схема размещения точек на зданиях и строительной площадке

В качестве опорных точек, предлагается использовать точки и марки, закрепленные на имеющихся поблизости сооружениях, например давно построенных зданиях, столбах ограждения, опорах линий электропередачи, связи и др. На рисунке 1 такие марки показаны точками 100-112, Рп2, Ст1-Ст9. Теоретически опорные марки будут служить для определения местоположения точек стояния тахеометра (станций) линейно-угловой засечкой. При этом желательно выбирать станции приблизительно в створе одной пары опорных марок для того, чтобы плоскости определяемых марок были перпендикулярны линии визирования. Однако практически измерения и их обработку производят одинаково как для опорных, так и для определяемых марок.

С каждой станции измерения выполняют на все видимые с данной станции марки. Измерения выполняют с использованием электронного тахеометра. На каждую осадочную марку необходимо выполнять измерения с двух и более станций, хотя координаты марки могут быть вычислены по измерениям только с одной станции. Вследствие этого, в схеме измерений появляется много избыточных измерений, которые в свою очередь повышают точность конечного результата.

Для того чтобы провести геодезический мониторинг, то есть определить величину смещения и осадки сооружения, безусловно, необходимо измерения выполнять в несколько этапов (циклов), на каждом из которых производят вычисление трехмерных координат наблюдаемых точек (марок). Впоследствии по разностям координат X и Y выявляют возможные смещения элементов, а по разностям отметок H – осадки сооружения. Определение таких координат, выполняют, опираясь на измеренные значения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний для каждой определяемой марки. То есть, для каждой определяемой точки при полевой работе измеряют горизонтальный и вертикальный углы, а также расстояния при двух положениях прибора «круг лево» и «круг право».

Уравнивание неизвестных традиционными способами [3] в этом случае затруднительно: учесть веса координат опорных марок совместно с весами измерений – непростая задача. Определение координат измеренных осадочных марок можно производить с использованием поискового метода уравнивания с использованием программы Excel Microsoft Office следующим образом.

Вначале в электронные таблицы Excel заносят измеренные значения углов и расстояний. Затем вводят координаты опорных марок и приближенные координаты всех искомых точек. Обработка всего массива полученных данных (измерений) осуществляется в Excel Microsoft Office по специально разработанному для этих целей алгоритму. Программа последовательно изменяет предварительно введенные в компьютер координаты всех точек на небольшую величину  $\Delta$  и по формулам обратной геодезической задачи определяет «вычисленные» значения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний (рис. 2).

Обозначения точек		Измеренные значения			Вычисленные значения				Уклонения			
стояния	визирования	ГК среднее, рад	ВК среднее, рад	наклон. расстоян., м	дирекц. углы, рад	зенитн. расст, рад	наклон. расстоян., м	ориент. углы, рад	гориз. углов, $v^*41000$	зенит. расст, $v^*41000$	наклон. расст., $v^*5000$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I	Ст2	5,5586	1,5644	143,264	1,6196	1,5644	143,267	-3,93903	-0,38	1,54	-0,11	
I	Б16	5,8750	1,4985	29,306	1,9360	1,4985	29,307	-3,93902	0,05	-0,14	-0,25	
I	Б15	0,1060	1,4007	18,529	2,4501	1,4007	18,530	-3,93902	0,19	-0,63	-0,29	
I	Б14	0,3912	1,4624	30,856	2,7353	1,4624	30,855	-3,93903	-0,04	-0,28	0,10	
I	Б13	0,6848	1,5231	45,832	3,0290	1,5231	45,823	-3,93902	0,37	0,50	1,02	
I	Б12	0,7157	1,5365	62,879	3,0599	1,5365	62,880	-3,93903	-0,11	-1,31	-0,10	
I	Ст1	2,4545	1,4256	7,530	4,7986	1,4255	7,530	-3,93902	0,08	0,34	-0,04	
I	Ст4	0,8130	1,5625	230,715	3,1571	1,5625	230,723	-3,93903	-0,17	0,32	-0,18	
II	Ст1	0,1657	1,5431	60,246	4,8009	1,5431	60,247	4,63524	0,06	-0,13	-0,15	
II	111	1,2177	1,2264	24,686	5,8529	1,2264	24,686	4,63524	0,01	0,00	-0,01	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
XVII	Г2	3,5222	0,8558	26,491	4,5371	0,8558	26,487	-5,26833	0,05	-0,12	0,84	
XVII	Г1	3,8860	0,8632	26,608	4,9008	0,8632	26,606	-5,26833	-0,01	0,09	0,29	
XVIII	Ст5	4,0770	1,5623	145,056	4,7180	1,5623	145,058	0,64093	0,09	0,29	-0,07	
XVIII	Ст6	0,9259	1,5494	59,433	1,5668	1,5494	59,435	0,64093	0,00	-0,18	-0,16	
XVIII	Д3	4,6126	1,5386		5,2536	1,5386	120,384	0,64093	-0,09	-0,29		
XVIII	Д2	4,6955	1,5343		5,3364	1,5343	106,161	0,64093	0,00	0,38		
									Сумма квадратов	13,862	54,319	12,078
									Сумма квадратов всех 4-х	80,833		

Рис. 2. Пример обработки результатов измерений

При этом следует отметить, что по координатам нельзя сразу вычислить горизонтальные углы. Вначале вычисляют дирекционные углы, затем находят ориентирующие углы как разности измеренных и дирекционных углов. Затем, суммируя средний ориентирующий угол с вычисленными дирекционными углами, получают вычисленные горизонтальные углы.

Для каждой марки вычисляют по 3 разности (уклонения) вычисленных значений от измеренных: по горизонтальному, вертикальному углам и расстоянию. В некоторых случаях расстояние измерить невозможно. Для этой марки берут только 2 измерения. Иногда, если угол между линией визирования и плоскостью марки мал (менее  $45^\circ$ ), измеренное расстояние в обработку лучше не включать, или можно уменьшить его вес.

Для расстояний вычисляют относительные уклонения и учитывают вес измерения расстояний относительно веса измерения углов по известным формулам.

Для координат опорных марок тоже полезно ввести веса и считать их как определяемые точки с той лишь разницей, что для них тоже находят уклонения вычисленных координат от первоначально принятых. При этом можно манипулировать весами этих уклонений. Чем лучше предполагаемая стабильность опорной марки, тем больше вес её координат. Полезно также использовать вспомогательные марки, координаты которых известны, но их вычисляют, как и для определяемых марок.

При обработке измерений компьютер последовательно от точки к точке (и станции) изменяет их координаты до тех пор, пока сумма квадратов уклонений с учётом весов не будет минимальной. При этом в зависимости от числа неизвестных делается от 5–10 до нескольких тысяч приближений. Анализ решения подобных задач показывает, что затрачиваемое время на поиск минимума пропорционально кубу от числа неизвестных. Полученные координаты сравнивают затем с координатами других циклов. По разностям вычисленных уравненных координат делают вывод о наличии смещений и осадок зданий и сооружений.

Таким образом, в разработанной методике не требуется закреплять станции наблюдения. В разных циклах в зависимости от наличия видимостей на марки могут использоваться разные схемы измерений с разных станций.

Методика была испытана на конкретном объекте в 2009 году. Было выполнено 4 цикла измерений смещений и осадок трех строящихся зданий, представленных на рисунке 1, На рисунке 2 приведена часть таблицы вычислений. В полной таблице 159 строк для 1-го цикла измерений. Это 469 измерений тахеометром (здесь 8 неизмеренных расстояний). Неизвестными являются 18 станций, 9 опорных, 9 вспомогательных и 36 осадочных марок. Это 216 неизвестных координат. В результате имеем 117% избыточных измерений, что значительно превышает принятые нормы. В таблице 1 приведена часть определяемых точек. Из таблицы видно, что здание получило осадку около 10 мм за 1,5 месяца вследствие утяжеления здания при строительстве. Был выявлен также небольшой крен здания.

Была выполнена оценка точности разными способами. Средние квадратические погрешности определения двух плановых координат марок составили около 4 мм, высот – менее 2 мм.

Таблица 1 – Таблица координат марок на зданиях

Номер марки	Координаты в 1-м цикле			Координаты во 2-м цикле			Разности: 2-й цикл минус 1-й		
	X, м	Y, м	H, м	X, м	Y, м	H, м	dX, мм	dY, мм	dH, мм
Б1	224,865	116,994	6,912	224,867	116,998	6,912	2	4	0
Б2	210,080	116,792	6,954	210,083	116,798	6,953	3	6	-1
Б3	198,162	124,295	6,580	198,165	124,299	6,579	3	4	-1
Б4	168,899	124,303	6,602	168,902	124,304	6,602	3	1	-1
Б5	159,528	119,410	7,520	159,530	119,415	7,520	2	5	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Г1	81,695	197,146	20,102	81,696	197,145	20,092	1	-1	-10
Г2	74,423	197,314	20,171	74,418	197,309	20,163	-5	-5	-8
Г3	66,177	192,302	20,132	66,172	192,299	20,120	-5	-3	-12
Г4	60,477	186,640	20,137	60,473	186,638	20,124	-4	-2	-13
Г5	37,491	160,854	20,204	37,486	160,856	20,193	-5	2	-11
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Д1	105,101	72,153	6,383	105,101	72,156	6,383	0	3	-1
Д2	70,941	72,169	6,382	70,940	72,174	6,381	-1	5	-1
Д3	70,930	55,137	6,386	70,933	55,144	6,388	3	7	2
Д4	105,109	55,209	6,311	105,108	55,215	6,312	-1	6	1

### Литература

1. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М. : Недра, 1981. – 446 с.
2. Шевченко Г.Г., Желтко Ч.Н., Гура Д.А., Пастухов М.А. Метод определения смещений и осадок сооружений с учётом особенностей работ на строительной площадке // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 11. Труды ассоциации инженерные изыскания в строительстве. – С. 29, 30.
3. Маркузе Ю.М. Основы уравнильных вычислений : учебное пособие для вузов. – М. : Недра, 1990. – 240 с.

### References

1. Levchuk G.P., Novak V.Eu., Konusov V.G. Applied geodesy. The basic methods and principles of engineering and geodetic jobs. – M. : Nedra (mineral resources), 1981. – 446 p.
2. Shevchenko G.G., Zheltko Ch.N., Gura D.A., Pastuhov M.A. Shepherds Method The definition of displacement and sediment structures, taking into account the features of the construction site // Industrial and civil construction. – 2012. – № 11. Proceedings of the Association of Engineering survey for construction. – P. 29, 30.
3. Marcuse Y.M. Fundamentals of equalization calculations : Textbook for high schools. – M. : Nedra, 1990. – 240 p.