

УДК 528.482

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОИСКОВОГО МЕТОДА УРАВНИВАНИЯ

THE ALGORITHM OF DEFINITION COORDINATES OF MONITORING FACILITIES USING THE SEARCH METHOD OF ADJUSTMENT

Желтко Чеслав Николаевич

кандидат технических наук,
доцент кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанского государственного
технологического университета
Тел.: 8(918) 499-09-39
set@id-yug.com

Шевченко Гриттель Геннадьевна

ассистент кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанского государственного
технологического университета
Тел.: 8(961) 857-59-03

Гура Дмитрий Андреевич

Старший преподаватель кафедры кадастра
и геоинженерии
Кубанского государственного
технологического университета
Тел.: 8(918) 678-14-28

Кузнецова Анжелика Алексеевна

ассистент кафедры кадастра и геоинженерии
Кубанского государственного
технологического университета
Тел.: 8(918) 169-00-01

Аннотация. Рассматривается два способа обработки измерений с использованием поискового метода. Приводится универсальный алгоритм нахождения минимума суммы квадратов отклонений при уравнивании координат марок.

Ключевые слова: смещение и осадка зданий, обработка, уравнивание, поиск минимума, поисковый метод уравнивания.

Zheltko Cheslav Nikolaevich
Ph. D., Associate Professor of
the department of Cadastre
and geo-engineering
Kuban State University of Technology
tel.: 8(918) 499-09-39
set@id-yug.com

Shevchenko Grittel Gennadyevna
lecturer of the department of Cadastre
and geo-engineering
Kuban State University of Technology
tel.: 8(961) 857-59-03

Gura Dmitry Andreevich
senior lecturer of the department of
Cadastre and geo-engineering
Kuban State University of Technology
tel.: 8(918) 678-14-28

Kuznetsova Anzhelika Alekseevna
lecturer of the department of Cadastre
and geo-engineering
Kuban State University of Technology
tel.: 8(918) 169-00-01

Annotation. Discusses two ways of processing the measurements using the search method. Is a universal algorithm for finding the minimum standard deviation through the coordinates of marks.

Keywords: offset and sediment buildings, processing, equalizing, standard deviation, search method.

При проведении мониторинга сооружения, а в частности при выявлении его осадок и смещений применяют различные геодезические методы и приборы [1]. Практически все они предусматривают определение плановых и вертикальных смещений сооружений с закрепленных на местности точек (станций), с которых выполняют измерения в течение нескольких циклов.

Однако в условиях, когда невозможно выполнить измерения с одних и тех же станций в связи с постоянными строительными работами на площадке или из-за нестабильности станций, определение смещений и осадок сооружений можно выполнять

иным способом, который не требует проведения наблюдений с одних и тех же станций от цикла к циклу. Применение такой методики наблюдений возможно с использованием современных электронных тахеометров [2]. Следует отметить, что проводя мониторинг инженерного сооружения без закрепления точек наблюдения, необходимо тщательно отнестись к схеме измерений и их обработке.

Определение величин смещений и осадок инженерного сооружения выполняют следующим образом. Во-первых, для наблюдений за деформациями необходимо разместить по периметру данного сооружения осадочные марки, закрепленные на определенной высоте. Обычно приходится размещать марки повыше с целью уберечь их от уничтожения. Во-вторых, вместо закрепленных на местности точек можно использовать опорные марки, закрепленные в относительно стабильных местах. Эти марки являются условно опорными, их координаты могут вычисляться и уточняться в каждом цикле одновременно с вычислением координат осадочных марок. Опорные марки служат для определения местоположения точек стояния прибора линейно-угловой засечкой. Однако измерения на опорные марки выполняют одновременно с измерениями на определяемые марки.

С каждой станции выполняют измерения на все видимые марки, причем на каждую осадочную марку измерения ведут с двух и более станций. Для каждой марки измеряют горизонтальный угол, вертикальный угол и расстояние при двух положениях тахеометра «круг лево» и «круг право». Определение координат искомым марок выполняют путём нахождения минимума суммы квадратов отклонений измеренных значений углов и расстояний от значений, вычисленных по предварительно введенным координатам искомым точек. При этом уравнивание таких координат производят методом наименьших квадратов с использованием поискового способа.

Вначале загружают с прибора измеренные значения горизонтальных, вертикальных углов и расстояний. Кроме этого вводят в электронные таблицы координаты опорных марок, а также предварительные координаты искомым осадочных марок.

Обработку и уравнивание данных можно проводить с помощью функции «Поиск решения» Excel Microsoft Office. Функция позволяет найти оптимальное значение для формулы, содержащейся в одной ячейке, называемой целевой, работая при этом с группой ячеек, прямо или косвенно связанных с формулой в целевой ячейке. Чтобы получить заданный результат по формуле из целевой ячейки, «Поиск решения» изменяет значения в назначенных ячейках (рис. 1).

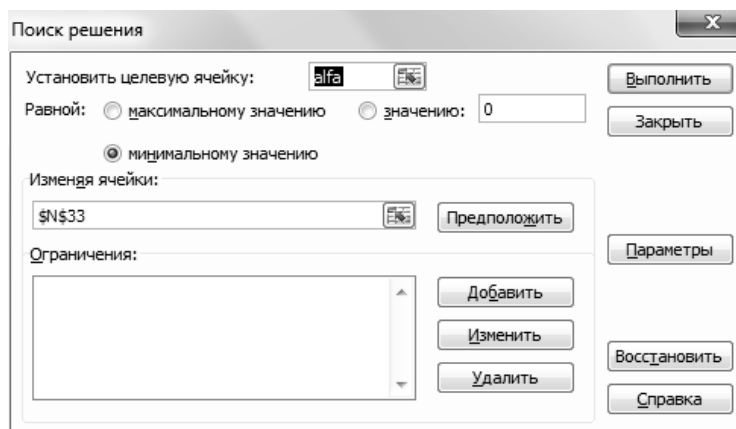


Рисунок 1 – Окно функции «Поиск решения»

Целевой является ячейка, в которой находят минимальную сумму квадратов отклонений, а изменяемой – ячейки, содержащие значения введенных координат искомым марок. Задав максимальное время вычислений в секундах (допустимое значение от 1 до 32 767), указав количество циклов вычислений (допустимое значение от 1 до 32 767), а также относительную погрешность в интервале от 0 до 1, чем она меньше, тем выше точность вычислений (рис. 2), программа начинает поиск решения постав-

ленной задачи. Если за последние 5 итераций относительное изменение значения в целевой ячейке оказывается меньше числа, указанного в поле "Сходимость", решение считается найденным. Функция «Поиск решения» будет работать до тех пор, пока в целевой ячейке значение не достигнет заданного условия, а именно своего минимума.

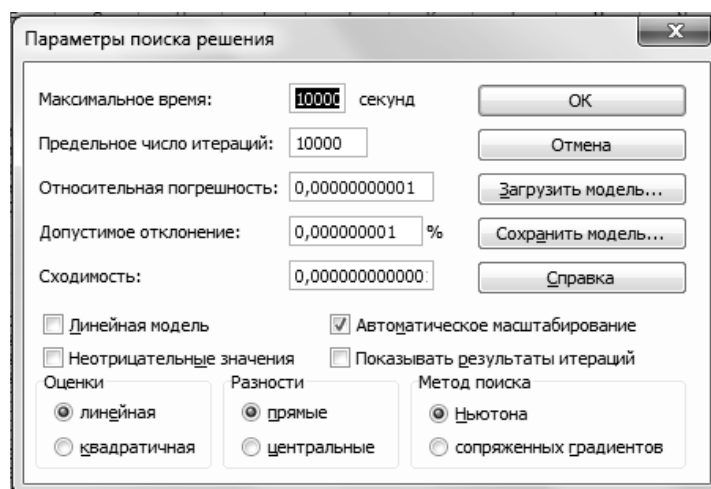


Рисунок 2 – Параметры функции «Поиск решения»

Однако опыт использования данной функции обнаружил некоторые его недостатки. Так по неизвестным причинам, когда минимум уже близок, программа иногда прекращает дальнейший поиск минимума и выдаёт сообщение "Решение найдено...". При этом никакие изменения в параметрах поиска не изменяет результата: программа далее не считает.

С целью полноценного решения данной задачи была составлена программа поиска минимума для поискового метода уравнивания.

Для выполнения программы нужно присвоить имя целевой ячейке, выделить ячейки с координатами определяемых марок, указать число циклов приближений, величину Δ и запустить программу. Программа работает по следующему алгоритму.

Пусть для первоначального значения переменной x_0 имеем с учётом весов p сумму квадратов уклонений

$$y_0 = [pv^2]. \quad (1)$$

Далее по заранее введённому значению Δ программа находит значения y_1 и y_2 для двух значений переменных

$$x_1 = x_0 - \Delta \text{ и } x_2 = x_0 + \Delta. \quad (2)$$

В результате имеем три значения целевой ячейки y_0 , y_1 и y_2 , по которым программа находит поправку z в значение x_0 по формуле

$$z = \frac{\Delta(-3y_1 + 8y_0 - 5y_2)}{2(y_1 - 2y_0 + y_2)}. \quad (3)$$

При этом введено условие, пропускающее вычисления по данной переменной, если знаменатель формулы равен нулю.

После введения поправки программа переходит к следующей переменной, выполняя с ней такие же операции. После перебора всех переменных программа переходит к следующему циклу приближений. Приближения выполняют до тех пор, пока число в целевой ячейке уменьшается. Вычисления прекращают, когда число в целевой ячейке уже не уменьшается.

Описанный способ поиска минимума проиллюстрирован графически (рис. 3). По трём точкам 1, 2 и 3 программа строит параболу, определяет положение минимума (точка O), по которой затем находит поправку z .

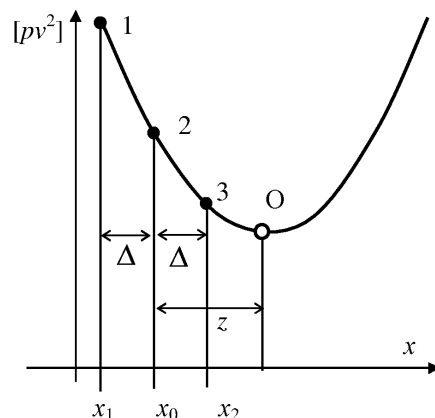


Рисунок 3 – Принцип нахождения минимума

Существенно в методике обработки измерений правильно назначить веса измерений. Известно, что вес измерения вычисляют по формуле

$$p = \frac{c}{m^2}, \quad (4)$$

где c – произвольная постоянная; m – средняя квадратическая погрешность данного измерения. Разности измеренных и вычисленных значений перед нахождением суммы их квадратов умножают на \sqrt{p} .

Отсюда можно принять для 2-секундного тахеометра для измеренных горизонтальных и вертикальных углов при $c = 1$ по (4)

$$\sqrt{p} = 103000 \text{ рад}^{-1}. \quad (5)$$

Для измерения расстояний есть несколько вариантов учёта весов. При коротких расстояниях (до 50 м) можно принять

$$\sqrt{p} = \frac{1000}{m} \text{ м}^{-1}, \quad (6)$$

где m – независимая от расстояния средняя квадратическая погрешность измерения расстояния в миллиметрах.

При более длинных расстояниях используют формулу

$$\sqrt{p} = \frac{t}{d} \text{ м}^{-1}, \quad (7)$$

где t – знаменатель относительной средней квадратической погрешности измерения расстояния; d – измеренное расстояние в метрах.

Более строгий учёт веса может быть выполнен на основе известной формулы средней квадратической погрешности измерения расстояния

$$m = a + b \cdot d^{-6}. \quad (8)$$

Отсюда будем иметь

$$\sqrt{p} = \frac{1000}{a + b \cdot d^{-6}} \text{ м}^{-1}. \quad (9)$$

Опыт работы показывает, что вес измеренного расстояния зависит ещё и от угла θ между плоскостью марки и визирным лучом. Можно дополнительно умножить величину \sqrt{p} на функцию $\sin\theta$. В результате получим более строгую по сравнению с (9) формулу

$$\sqrt{p} = \frac{1000 \cdot \sin\theta}{a + b \cdot d^{-6}} \text{ м}^{-1}. \quad (10)$$

Вместе с тем вопрос учёта весов измеренных расстояний в данной методике требует дополнительного исследования. Не всегда рационально применять сложные формулы для расчёта весов. Следует сделать оптимальный выбор одной из 4-х приведенных формул (6), (7), (9) и (10).

Иногда полезно учитывать возможные погрешности опорных точек. В данной методике этот учёт выполняется довольно просто. Координаты опорных точек тоже считают определяемыми. А разность между уравненными и первоначальными координатами включают в общую сумму $[pv^2]$. При этом весам координат опорных точек придают значения в соответствии с субъективной оценкой стабильности данной опорной точки. Например, если предполагаемая точность каждой из 3-х координат данной опорной точки составляет $m=5$ мм, то разности координат умножают на величину

$$\sqrt{p} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ м}^{-1}. \quad (11)$$

Методика измерений и их обработка испытаны на некоторых объектах в нескольких циклах. Испытания показали хорошие результаты.

Литература:

1. 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.

2. Желтко Ч.Н., Шевченко Г.Г., Бердзенишвили С.Г., Пастухов М.А. Особенности определений смещений и осадок сооружений электронными тахеометрами // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 1–2. – С. 61–65.

References:

1. 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.

2. Zheltko Ch.N., Shevchenko G.G., Berdzenishvili S.G., Pastuhov M.A. Features definitions of displacement and sediment structures of electrons total stations. Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2013. – № 1–2. – P. 61–65.