

Ю. В. МОРКОТУН, И. В. СОЛОГОР, А. А. ЛИСТОПАДСКИЙ

АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В теории математической обработки результатов геодезических измерений широко используется обобщенный метод наименьших квадратов, позволяющий в процессе математической обработки учитывать статистические (корреляционные) зависимости между результатами измерений [1, 2]. Корреляционная информация, кроме возможности, а часто и необходимости ее применения непосредственно в математической обработке, содержит ряд других ценных сведений: степень влияния отдельных факторов на результат измерений, наличие систематических ошибок, хода во времени и т. д. Автокорреляционный анализ, как часть общего корреляционного, позволяет оценить корреляционную зависимость между составляющими вектора результатов измерений.

Данные радиодальномерных измерений радиодальномерами РДГВ мы анализировали автокорреляционными методами. Анализ круглосуточных наблюдений подтвердил тенденцию к изменению во времени (суточный ход) точных величин τ . Коэффициент автокорреляции по данным круглосуточных наблюдений колебался в пределах 0,65—0,75, что свидетельствует о сильной временной тенденции величины τ . Зависимость точных величин τ_i от несущей частоты в основном обусловлена изменением постоянной поправки по диапазону несущих частот [3, 4] и влиянием отражений от подстилающей поверхности.

График точных величин при отсутствии отражений должен соответствовать инструментальному графику [3]. Можно предположить, что автокорреляционный анализ позволит оценить степень влияния отражений при радиодальномерных измерениях.

Основная цель исследований — выявление степени влияния корреляционной зависимости между отдельными результатами

измерений времени распространения радиоволн τ_i на величину $\tau_{\text{ср}}$ из 10—12 τ_i на различных несущих частотах. Как известно, если имеем ряд измерений $l_1, l_2 \dots l_n$ одной физической величины L и эти измерения статистически зависимы (коррелированы) между собой, то средняя арифметическая величина как наиболее вероятная оценка L определяется по формуле [1]

$$l_{\text{ср}} = \frac{S^T Q_l^{-1} L}{S^T Q_l^{-1} S}, \quad (1)$$

где Q_l^{-1} — обратная корреляционная матрица результатов измерений; L — вектор-столбец результатов измерений; S^T и S — единичные вектор-строка и вектор-столбец.

В нашем случае (1) можно переписать как

$$\tau_{\text{ср}}^1 = \frac{S^T Q_{\tau}^{-1} \bar{\tau}}{S^T Q_{\tau}^{-1} S}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{ср}}^{-1}$ — среднее время распространения радиоволн из одного приема; Q_{τ}^{-1} — обратная корреляционная матрица вектора $\bar{\tau}$; $\bar{\tau}$ — вектор результатов измерений τ_i в одном приеме.

Элементы корреляционной матрицы Q_{τ} получены как коэффициенты циклической автокорреляции между элементами вектора $\bar{\tau}$: τ_1 и τ_2 , τ_2 и $\tau_3 \dots$; τ_1 и τ_3 , τ_2 и $\tau_4 \dots$; τ_1 и τ_4 , τ_2 и $\tau_5 \dots$; τ_1 и τ_5 , τ_2 и $\tau_6 \dots$.

Коэффициенты автокорреляции вычислены для двух различных пар станции, на различных линиях, при различных метеоусловиях измерений (лето и осень) и высотах прохождения радиолуча. Данные автокорреляционного анализа приведены в таблице (пары станций условно обозначены 1 и 2).

Влияние корреляционной зависимости определялось путем сравнения среднего $\tau_{\text{ср}}$ точных величин (3) и $\tau_{\text{ср}}^1$ вычисленное по формуле (2). Величину $\tau_{\text{ср}}$ вычисляем по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n \tau_i}{n}, \quad (3)$$

где n — количество несущих частот в приеме, на которых производились наблюдения. Объем выборки для каждого из обработанных измерений равен 100. Максимальное расхождение между $\tau_{\text{ср}}$ и $\tau_{\text{ср}}^1$ составило 0,2 нс, что в линейной мере равно 30 мм. В 70% вычисление $\tau_{\text{ср}}^1$ по (2) улучшало точность определения длины линии в среднем на 12%. Причем, чем теснее корреляционная зависимость, тем большее различие между величинами $\tau_{\text{ср}}$ и $\tau_{\text{ср}}^1$. Как видно из таблицы, расширение диапазона несущих частот в два раза (через 30 МГц) резко уменьшает корреляционную зависимость, как и увеличение высоты

прохождения радиолуча, а значит, в значительной мере на статистическую зависимость между результатами радиогеодезических измерений влияет высота прохождения радиолуча над подстилающей поверхностью, а также ширина диапазона несущих частот. Чем больше высота прохождения и шире диапазон, тем меньше корреляционная зависимость.

Результаты оценки автокорреляционной функции

Шаг автокорреляции пары станций	1—2	1—3	1—4	1—5	Интервал перестройки несущей частоты, МГц	Примечание
1	0,395	0,127	0,022	0,010	30	Октябрь, $t_{\text{ср}}=4^{\circ}\text{C}$, $e_{\text{ср}}=5$ мм. рт. ст.
1	0,593	0,451	0,419	0,354	15	Октябрь, $t_{\text{ср}}=10^{\circ}\text{C}$, $e_{\text{ср}}=9$ мм. рт. ст.
1	0,753	0,578	0,443	0,287	15	Июль, $t_{\text{ср}}=16^{\circ}\text{C}$, $e_{\text{ср}}=11$ мм. рт. ст.
2	0,754	0,602	0,511	0,275	15	Июль, $t_{\text{ср}}=19^{\circ}\text{C}$, $e_{\text{ср}}=12$ мм. рт. ст.
2	0,465	-0,044	-0,065	-0,103	15	Июль, $t_{\text{ср}}=20^{\circ}\text{C}$, $e_{\text{ср}}=12$ мм. рт. ст. одна из станций поднята на сигнал

Необходимо отметить, что первая пара станций измеряла линию длиной 15 км с относительной погрешностью 1 : 250 000, а вторая линию длиной около 6 км с относительной ошибкой 1 : 200 000.

1. Кемниц Ю. В. Математическая обработка зависимых результатов измерений. М.; 1970. 2. Маркузе Ю. И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей. М.; 1982. 3. Руководство по применению радиодальномеров десятисантиметрового диапазона. М., 1973. 4. Krzeminski W., Dabrowski W., Majdanowa Z. Pomiarы Tellurometrem MRA-1 na bazach geodezyjnych w Polsce. Prace Instytutu Geodezji i Kartografii. 1964. V. 11. Z. 2(2.4). S. 12—18.

Статья поступила в редколлегию 06.04.88