УДК 528.2

А.В.АСТАПОВИЧ, М.Я.БРЫНЬ,
И.В.КОЛЬЦОВ, В.В.СУГАКО
Санкт-Петербургский филиал Военно-инженерного университета

О ПРОБЛЕМЕ СТРОГОГО УРАВНИВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, РАЗВИТЫХ КОМПЛЕКТОМ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Поднята проблема строгого уравнивания геодезических сетей, развитых комплектом станций спутниковых навигационных систем, которая обусловлена тем, что в результате постобработки по существующим программам получают ковариационные матрицы ошибок приращений пространственных координат по каждой измеренной стороне геодезической сети в отдельности. В матрице не учитывается корреляция, которая вызвана тем, что результаты наблюдений многих спутников используют одновременно для определения приращений координат по всем измеренным сторонам сети. Показано, что для строгого уравнивания ковариационную матрицу ошибок спутниковых измерений необходимо определять в результате корреляционного анализа, а уравнивание выполнять регуляризованным методом наименьших квадратов.

The question is raised of the strict equalizing of geodetic networks developed by the set of stations of satellite navigation systems because as a result of post-processing with the help of existing programmes a co-variation matrixes errors of increment space coordinates was obtained for each measured side of the geodetic network separately. Therefore, don't take into account the correlation caused by the fact that observation data of many satellites are involved in determinning coordinate increments for all network sides measured. It is shown that for strict equalizing it is necessary to determine the co-variation matrixe errors of satellite measurement as a result of the correlation analysis and to perfom equalizing by means of the regularized least square method.

Для развития геодезических сетей широко применяют комплекты станций спутниковых навигационных систем. Их использование, с одной стороны, существенно сокращает время на полевые работы, с другой, – требует решения проблемы строгого уравнивания результатов спутниковых определений.

Проблема строгого уравнивания обусловлена тем, что в результате постобработки по программам фирм-изготовителей спутниковой навигационной аппаратуры получают приращения пространственных координат и ковариационные матрицы их ошибок по каждой измеренной стороне геодезической сети в отдельности. Полученные ковариационные матрицы отражают математическую корреляцию, которая порождена совместной обработкой результатов наблюдений созвездия спутников для определения приращений координат по базовой линии. Использование матриц для строгого уравнивания геодезической сети малоэффективно, так как не учитывается корреляция, которая вызвана тем, что результаты наблюдений многих спутников используют одновременно для определения приращений координат по всем измеряемым сторонам сети. Очевидно, что степень коррелированности зависит от доли общих спутников в наблюдаемых созвездиях и может быть значительной. Для строгого уравнивания необходимо иметь ковариационную матрицу K, которая отражала бы эту корреляцию.

Если при уравнивании используется ковариационная матрица $\widetilde{K}$, полученная в результате постобработки, то

$$\Delta_K = \widetilde{K} - K,$$

что вызывает смещение оценок параметров [2]

$$\Delta_\tau = \widetilde{N}^{-1}B^{\mathrm{T}}\Delta_P l - \widetilde{N}^{-1}(\Delta_N^{-1} - \widetilde{N}^{-1})^{-1}\widetilde{N}^{-1}B^{\mathrm{T}}Pl\,, \quad (1)$$

где $\widetilde{N} = B^{\mathrm{T}}\widetilde{P}B$ – матрица коэффициентов нормальных уравнений; B^{T} – матрица коэффициентов параметрических уравнений для измеренных разностей координат; $\Delta_P = \widetilde{P} - P$ – отличие приближенной весовой матрицы $\widetilde{P} = \widetilde{K}^{-1}$ от строгой весовой матрицы P; l – разности между измеренными и вычисленными значениями приращений координат; $\Delta_N = B^{\mathrm{T}}\Delta_P B$; $P = K^{-1}$ – весовая матрица.

Исследования методом математического моделирования показывают, что учет корреляции позволяет на порядок уменьшить влияние ошибок измерений на определяемые параметры геодезической сети. В этой связи вопрос определения полных ковариационных матриц ошибок приращений координат, полученных комплектом станций спутниковых навигационных систем, становится актуальным. Его решение возможно методом корреляционного анализа результатов спутниковых определений.

Статистический анализ, выполненный для результатов наблюдений комплектом из пяти станций, показал следующее:

- ошибки измерений приращений координат не противоречат нормальному закону распределения;
- оценки ошибок спутниковых определений согласуются с оценкой точности по невязкам геометрических условий и приблизительно на порядок больше оценок, полученных в результате постобработки;
- примерно в половине существующих корреляционных связей между ошибками определений базисных линий установлена существенная корреляционная зависимость, достоверность которой подтверждена критериями Романовского и Фишера.

Ковариационная матрица, получаемая эмпирическим путем, отражает коррелированность случайных ошибок, проявляющихся при многократных определениях, т.е. в течение времени. Ее использование в уравнительных вычислениях существенно уменьшит влияние случайных ошибок на определяемые параметры сети. Для ослабления влияния «скрытых» систематических ошибок, природа возникновения которых неизвестна, можно использовать регуляризованный метод наименьших квадратов [1-3].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Астапович А. В.* Регуляризованный метод оптимального уравнивания геодезических сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2002. № 1. С.30-40.

2. *Астапович А.В.* Регуляризованное уравнивание локальных геодезических сетей, развитых относительным методом космической геодезии // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2002. № 4. С.46-51.

3. *Астапович А.В.* О совместном уравнивании спутниковых и наземных измерений в местных системах координат / А.В.Астапович., М.Я.Брынь // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2003. № 1. С.13-21.