ГЕОПРОФИ 6'2003

ЧТО ПОРА МЕНЯТЬ В КОНСЕРВАТОРИИ?

Е.Б. Клюшин (МИИГАиК)

В 1962 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК. С 1966 г. по 1975 г. работал в Государственном союзном проектном институте. С 1975 г. по настоящее время работает на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК сначала доцентом, затем профессором, а с 1982 г. — заведующим кафедрой. С 1987 по 1992 г. — декан геодезического факультета.

В.В. Шлапак (МИИГАиК)

В 1958 г. окончил Киевский топографический техникум; работал техником-геодезистом в Украинском АГП, служил в топографо-геодезической части. В 1966 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженерная геодезия». Работал инженером в Ангарской экспедиции Гидропроекта по наблюдению за деформациями Братской ГЭС. С 1967 г. по настоящее время — ассистент, доцент, профессор кафедры геодезии МИИГАиК. В 1967–1970 гг. — преподаватель геодезии в ИТСАКС (Камбоджа), 1981–1985 гг. — заведующий кафедрой геологии и геодезии Аннабинского университета (Алжир). С 1995 г. по настоящее время — декан геодезического факультета МИИГАиК.

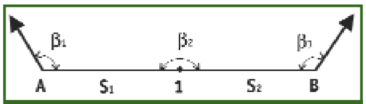
На статью генерального директора компании «Современные геотехнологии» С.А. Миронова «Ненаучный взгляд на теорию геодезических заблуждений» (см. Геопрофи. — 2003. — № 3. — С. 43–44) можно было бы не обращать внимания, считая ее неудачной шуткой, если бы не эпиграф, заимствованный у М.М. Жванецкого. Получив такой неожиданный «подарок» к 225-летнему юбилею МИИГАиК от выпускника нашего вуза, захотелось выяснить, чьи это заблуждения — выпускника МИИГАиК или все же существует «теория геодезических заблуждений»?

Необходимо особо подчеркнуть, что в процессе обучения участвуют в равной степени две стороны: учитель и ученики. С большой долей фантазии можно допустить, что в период обучения будущего генерального директора преподаватели ленились, пропускали занятия, не приходили читать лекции. В таком случае, считаем своим профессиональным долгом восполнить пробел в знаниях наших учеников.

Автор статьи С.А. Миронов ставит под сомнение улучшение итоговых значений в результате выполнения уравнительных вычислений. Объясняем. Повышение качества информации возможно лишь при наличии дополнительной информации. Что же является дополнительной информацией для метода наименьших квадратов? Избыточные измерения! Например, нам абсолютно точно известно, что сумма углов треугольника должна равняться 180°. Сумма измеренных углов треугольника в общем случае не равна теоретическому значению. Образовавшаяся невязка как сумма истинных ошибок измерений является исключительно важной информацией о качестве выполненных измерений. Чем больше избыточных измерений в геодезической сети, тем больше информации о накоплениях истинных ошибок измерений. Причем в разных невязках могут участвовать одни и те же истинные ошибки с разными коэффициентами и с разными знаками, что и позволяет выявить их с высокой вероятностью.

К.Ф. Гаусс, относясь с большим уважением к труду «полевиков», изыскал возможность использовать дополнительную информацию, разработав метод наименьших квадратов, в основу которого положил принцип: «Не навреди!». Он предложил вычислять комбинацию минимально возможных значений поправок в измеренные величины, которые позволяют полностью компенсировать образующиеся невязки. В большинстве случаев этот метод измеренные величины улучшает не столь существенно, но накопление ошибок выявляет весьма чутко и резко их ограничивает, значительно повышая точность определяемых величин — высот и координат пунктов.

Продемонстрируем сказанное на примере вытянутого полигонометрического хода (см. рисунок).



Вытянутый полигонометрический ход

Вычислим поперечную невязку полигонометрического хода в направлении от пункта A к пункту B. Пусть $f_B = -15$ см. А теперь вычисляем поперечную невязку в обратном направлении — от пункта B к пункту A. Пусть $f_A = 1$ см. Различные поперечные невязки одного полигонометрического хода обусловлены тем, что в первом случае истинная ошибка угла b_1 вносит вклад в поперечную невязку f_B с самым большим коэффициентом, пропорциональным сумме длин линий ($S_1 + S_2$); истинная ошибка угла b_2 вносит вклад в поперечную невязку с меньшим коэффициентом, пропорциональным лишь длине S_2; а угол b_3 вообще не участвует в вычислении невязки f_B. При вычислении координат в обратном направлении ситуация меняется коренным образом. Ошибка угла b_3 входит в невязку f_A с коэффициентом, пропорциональным ($S_1 + S_2$), ошибка угла b_2 — с коэффициентом, пропорциональным длине S_1, а ошибка угла b_1 не вносит ничего. О чем говорят эти невязки? Судя по малой величине f_A, ошибки углов b_2 и b_3 либо малы, либо существенно компенсируют друг друга, имея противоположные знаки.

Причем по абсолютной величине ошибка угла b_2 больше ошибки угла b_3. Чтобы прояснить эту ситуацию, полезно проанализировать невязку дирекционных углов этого хода, зная среднюю квадратическую ошибку измерения углов. В данном случае большая невязка f_B говорит о том, что угол b_1 имеет большую ошибку, причем поправка должна иметь отрицательный знак. Простой логический анализ этой ситуации позволяет составить представление о распределении ошибок углов в ходе.

Метод наименьших квадратов, анализируя одновременно три невязки полигонометрического хода, позволяет вычислить поправки с математической точностью. Помимо этого метод приводит все измеренные величины в полное согласие. Координаты (или высоты) пунктов при вычислении от любого исходного пункта сети будут получены однозначно.

И, наконец, самое важное преимущество метода наименьших квадратов заключается в возможности объективной оценки точности, как измеренных величин, так и любой функции от них. Именно поэтому профессионалы с глубоким уважением и признательностью относятся к труду великого Гаусса.

Заметим, что метод наименьших квадратов обеспечивает хороший результат лишь в руках квалифицированного специалиста. Не следует ожидать от него чуда, тем более, если используются инструменты или пункты исходной сети низкого качества. Однако студенты МИИГАиК получают практические рекомендации, позволяющие с достоинством выйти из трудной ситуации, и на такие случаи.

Автор статьи С.А. Миронов ставит под сомнение существенное повышение точности при повторных измерениях. Иными словами автор спрашивает: какова степень доверия к формуле Гаусса при оценке результата арифметической средины?

$$M = m/\sqrt{n}, \qquad (1)$$

где m — средняя квадратическая ошибка единичного измерения; n — общее число измерений.

Не имея возможности использовать те средства измерения, которыми располагают в компании «Современные геотехнологии», возьмем в качестве примера стандартный геодезический светодальномер. Установим его на базисе с известной длиной, равной 1234,567 м. Пусть наш светодальномер способен измерять данное расстояние с предельной ошибкой ±30 мм. В таком случае мы вправе ожидать, что результаты измерений данного базиса будут находиться в пределах интервала 1234,537–1234,597 м. Прежде чем приступить к измерениям, заклеим индикаторы светодальномера, регистрирующие сантиметры и миллиметры, оставив видимыми лишь метры и дециметры. Итак, сколько бы раз мы не измеряли данное расстояние, результат будет всегда один и тот же — 1234,5 м. Количество измерений возрастает, а необходимая нам информация не прибывает. О чем это говорит? Ошибка округления приводит к невосполнимой потере информации: невозможно уточнить то, что не измерялось. То, что регистрируют с помощью любого измерительного инструмента, является суммой истинного значения измеряемой величины и истинной ошибки измерения. Выполнив округление, мы отбрасываем не только часть ошибки измерения, но и часть истинного значения измеряемой величины, которую уже невозможно восстановить. Единственный путь повышения точности при многократных измерениях — увеличить число знаков измеряемой величины, внимательно следя за тем, чтобы во всех блоках измерительного прибора проводились округления с точностью, достаточной для достижения конечной цели, сведя систематические ошибки к пренебрегаемо малой величине.

Для округленных величин формулу (1) следует записать в следующем виде:

$$M = \sqrt{(m^2/n) + m^2_{окр}}, \qquad (2)$$

где $m_{окр}$ — средняя квадратическая ошибка округления.

Неужели в данном случае Гаусс допустил ошибку? Ничего подобного. Внимательный студент, слушая лекцию по теории ошибок измерений, обратит внимание на то, что при выводе формулы (1) Гаусс использовал истинные ошибки измерений. А под истинной величиной понимают такую величину, которая имеет достаточное число достоверных знаков для решения конкретной задачи, т. е. ошибки округления настолько малы, что не препятствуют достижению поставленной цели. И в этом смысле формула (1) абсолютно справедлива.

Формулой Гаусса пользуются не только геодезисты. Например, в настоящее время выпускаются цифровые осциллографы, которые позволяют обнаружить сигнал, амплитуда которого существенно меньше амплитуды шумов. В этих быстродействующих приборах только за счет многократных измерений порог повышения точности в 1000 раз уже преодолен. Но такого результата может достичь лишь квалифицированный специалист, хорошо понимающий, чем он занимается. Шваброй такого результата достичь невозможно (см. формулу (2)).

Третье утверждение автор сформулировал не очень четко. Он сетует на то, что при измерении превышения необходимо знать высоту одного из объектов. Это совершенно не обязательно. Геометрическое нивелирование справляется с поставленной задачей вполне успешно и без привлечения дополнительной информации, а в метрологии при переходе от низкого разряда к более высокому используются совершенно иные коэффициенты повышения точности.

Заканчивая внеплановую лекцию для выпускников МИИГАиК, хочется сказать, что мы рады любой помощи наших коллег, способствующей повышению качества подготовки специалистов для современного производства. Мы искренне благодарны тем организациям, которые оказывают нам посильную помощь. Хотелось бы видеть среди них и компанию «Современные геотехнологии». Мы же со своей стороны всегда готовы помочь нашим бывшим ученикам справиться с производственными и научными проблемами, с которыми они сталкиваются.

RESUME

On the base of works by K.F. Gauss the authors prove correctness of the affirmations: «Carrying-out of equalizing calculations improves the total value of measured magnitudes» and «Carrying-out of recurrent measurements guarantees vital increase of results exactness» which were doubted by S.A. Mironov in the article «Not Science View on the Geodesic Delusions Theory» (see Geoprofi. — 2003. — № 3. — P. 43–44).