

САБЛИНСКАЯ БАЗИСНАЯ СЕТЬ¹

А.П. Пигин (СП «Кредо-Диалог», Минск, Белоруссия)

В 1981 г. окончил факультет геодезии МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». Работал инженером-геодезистом, начальником партии в проектно-изыскательской организации управления архитектуры г. Минска (Белоруссия). С 1992 г. работает в СП «Кредо-Диалог», в настоящее время — технический директор.

А.А. Чернявцев («Геостройизыскания»)

В 1986 г. окончил факультет фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». С 1986 г. — инженер отдела изысканий «ПромНИИпроект». С 1994 г. — ведущий инженер отдела изысканий предприятия «ПриИз». С 1996 г. работает в компании «Геостройизыскания», в настоящее время — главный специалист.

Окончательные результаты в системе координат WGS-84, полученные после камеральной обработки, оказались следующими:

— **длина стороны Поги–Кабози — 27480,4800 м;**
— **геодезический азимут с Кабози на Поги — 142°02'08,75".**

Средняя квадратическая ошибка определения стороны, рассчитанная по формуле:

$$m_s^2 = (\Delta X^2 \delta_x^2 + \Delta Y^2 \delta_y^2 + \Delta Z^2 \delta_z^2) / S^2,$$

составила $\pm 0,009$ м.

Теперь вставала задача: что с чем и как сравнивать? Путь решения, вроде бы, напрашивался сам собой — необходимо привести современные измерения к тем реалиям, которые существовали в начале XX века. Для того, чтобы узнать, как проводилась обработка измерений нашими предшественниками и какие факторы учитывались, ушло немало времени.

Для адекватного сравнения результатов измерений начала XX века и современных, спутниковые определения в WGS-84 были редуцированы на эллипсоид Бесселя. При этом использовались следующие исходные положения.

1. В работах Военно-топографического управления по

Саблинской базисной сети и последующих работах по созданию СК-32 в 1920-х гг. высота геоида над поверхностью референц-эллипсоида (эллипсоид Бесселя, 1841 г.) принималась равной нулю, астрономический азимут стороны Саблино–Бугры — равным геодезическому, то есть $A_0 = \alpha_0$ [4].

2. Длина выходной стороны базисной сети [5] Поги–Кабози равна 27480,161 м. Однако для выходной стороны базисной сети Поги–Кабози А.В. Граур [6], ссылаясь на «Материалы по триангуляции I Кл.» (вып. 6, с. 32), приводит значение длины выходной стороны, равное 27480,154 $\pm 0,177$ м.

3. Для редуцирования приняты параметры эллипсоида Бесселя: $a = 6377397,155$ и $b = 6356078,963$ ($e = 0,0816968312225271$).

4. Радиус кривизны эллипсоида на выходной стороне принят постоянным, дуга рассматривается как дуга окружности с радиусом кривизны эллипсоида по азимуту стороны Поги–Кабози. Эти допущения вполне обеспечивают необходимую точность расчетов.

5. В работах ВТУ 1910–1934 гг. аномалии высот принимались равными нулю, поэтому для сравнения резуль-

татов измерений нормальные высоты Поги (88,2 м) и Кабози (103,4 м) приняты равными эллипсоидальным.

Средний радиус кривизны R_m рассчитан по известным (например, [7]) формулам кривизны меридиана и первого вертикала:

$$R_m = a\sqrt{(1 - e^2)/(1 - e^2 \sin^2 B)} = 6387812,286$$

Для расчетов среднего радиуса кривизны для стороны Поги–Кабози, редуцирования линии на эллипсоид использованы формулы (VI.26), (IX.51 и IX.52) из [4]:

$$R_A = R_m(1 - 1/2e^2 \cos^2 B \cos 2A) = 6386475,$$

$$c = \sqrt{(S^2 - (H_2 - H_1)^2) / ((1 + H_1/R_A)(1 + H_2/R_A))} = 27480,064,$$

$$S_0 = c + c^3/24R_A^2 + 3c^5/640R_A^4 = 27480,085.$$

Разность результатов спутниковых определений и длины выходной стороны базисной сети Саблино по работам 1910–1911 гг. составила 0,069 м, или 1:400 000. Это существенно выше требований нормативных документов первой половины XX века и соответствует инструкции о построении государственной геодезической сети 1961 г.

Так как в материалах [5] приводятся значения измерен-

¹ Окончание. Начало в № 3-2004.

Результаты определения длины выходной стороны Поги-Кабози

Измерения	Обработка	Длина на эллипсоиде Бесселя, м	Средняя квадратическая ошибка по результатам обработки, м	Разности $L_1 - L_2$, м	Относительная ошибка разности
1910–1911 г., угловые измерения в базисной сети, прибор Едерина для измерения базиса с последующим вычислением выходной стороны	Данные «ручных» вычислений из [3, с. 76; 2, с. 13]	27480,154	$\pm 0,177$	0,069	1:400 000
2003 г., GPS, непосредственные измерения выходной стороны	CREDO_DAT, Pinnacle	27480,085	$\pm 0,009$	0	—
1910–1911 г., угловые измерения в базисной сети, прибор Едерина для измерения базиса с последующим вычислением выходной стороны	ТРАНСКОР, CREDO_DAT	27480,124	$\pm 0,146$	0,039	1:700 000

ных и приведенных к центрам знаков сферических углов, возникло естественное желание уравнивать измерения, выполненные при построении Саблинской базисной сети, с использованием современных программных средств. Такая обработка была произведена в программном продукте CREDO_DAT. Для этого программой ТРАНСКОР значения геодезических координат пункта Саблино, взятые из [5, с. 132], были пересчитаны в прямоугольные координаты в проекции Гаусса-Крюгера. Осевой меридиан зоны, как и при обработке военными топографами, принят проходящим через пункт Пулково, использованы параметры эллипсоида Бесселя. Сеть уравнена как свободная, с принятой из [5, с. 13] «жесткой» стороной Бугры–Саблино, равной 12676,383 (на плоскости — 12676,400) и

азимутом $317^{\circ}02'50,63''$ [4, с. 140].

По результатам обработки средняя квадратическая ошибка измерения угла составила $0,98''$. В [5, с. 8] эта величина оценена военными топографами в $1,07''$.

Длина выходной стороны, уравненной на плоскости и редуцированной на эллипсоид Бесселя, составила 27480,124 м. Сводка результатов определения длины выходной стороны Поги-Кабози Саблинской базисной сети различными способами приведена в таблице.

Анализ приведенных данных свидетельствует о высочайшем качестве полевых работ, выполненных российскими топографами в 1910–1911 гг. с применением примитивной (по современным меркам) техники².

Гораздо сложнее оказалась задача сравнения азимутов.

Саблинская базисная сеть ориентирована по астрономическому азимуту стороны Бугры–Саблино, равному $136^{\circ}54'49,95'' \pm 0,28''$ [5, с. 5]. Для корректного сравнения азимутов, полученных в 1910–1911 гг. и 2003 г., необходимо иметь значительный объем материала, позволяющий определить ориентирование эллипсоида Бесселя в СК–32 относительно WGS–84. Эта задача была решена нами следующим образом.

Геодезические координаты сохранившихся пунктов сети Поги и Кабози, полученные в 2003 г. в системе WGS–84, были приняты за исходные. Используя программы ТРАНСКОР и CREDO_DAT, были вычислены геодезические координаты пунктов Бугры и Саблино, по которым в программе Trimble Geomatics Office рассчитан азимут стороны Бугры–Саблино,

² Техника, которую мы называем «примитивной (по современным меркам)», была самой совершенной и точной для своего времени. Угловые измерения выполнялись с помощью высокоточного теодолита «УИ Гильдебранда», имевшего лимбы диаметром 21 см и микроскопы, обеспечивающие точность $2''$. При этом наблюдения проводились не на визирные цилиндры, а только на гелиотропы и фонари. Базисные измерения выполнялись с помощью прибора Едерина, который широко применялся для базисных и точных измерений в специальных сетях вплоть до 1980-х гг. (Прим. авторов).

оказавшийся равным $136^{\circ}54'48,0''$, т. е. разность $A_{1911} - A_{WGS-84}$ составила около $2''$. Исправив на эту величину азимут стороны Кабози–Поги, определенный в WGS–84, получили его значение на эллипсоиде Бесселя — $142^{\circ}02'10,7''$. В [6, с. 132] приведен азимут этой стороны, равный $142^{\circ}02'11,2''$. Таким образом, несмотря на достаточно примитивный прием сравнения, **разность определений, разнесенных практически на век, составила около $0,5''$** .

Современный геодезист, использующий последние достижения научной и технической мысли — это высокообразованный специалист, которого не могут не волновать его профессиональные корни. Отечественная геодезия насчитывает столетия труда землемеров, межевиков, писцов картографи-

ческих «чертежей». Поэтому значение выполненной работы не исчерпывается ее историко-научной стороной. Сохранение геодезических пунктов, имеющих историческое значение, работа на них — это знак преемственности, дань памяти и уважения труду многих поколений наших предшественников по профессии.

В реализации проекта, результаты которого приведены в данной статье, так или иначе, участвовало большое количество специалистов из разных организаций. Авторы статьи выражают глубокую признательность всем, кто оказал помощь в поиске исторических и научно-технических материалов, принял участие в проведении полевых и камеральных работ. Отдельная благодарность В.Б. Капцюгу и М.А. Латышеву.

▼ Список литературы

4. Зданович В.Г., Белоликов А.Н. и др. Высшая геодезия. — М.: Недра, 1970.
5. Материалы для триангуляции первого класса в европейской части СССР. Приложение ко II части LXXIII тома записок корпуса военных топографов. — М., 1924.
6. Граур А.В. Практическая геодезия. — М.: ОНТИ, главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы, 1934.
7. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. — М.: Недра, 1976.

RESUME

The comparative estimates of the measurements obtained in 2002 and at the beginning of the XXth century are given. The difference in the length of the Sablino base network baseline obtained using satellite techniques and the data of 1910–1911 was 0,069 m or 1:400,000. The difference in determining the azimuth of the Kabozi-Pogi line comprised about $0,5''$.

		<h1>Smart 3100 IS</h1>	
<ul style="list-style-type: none"> ● ОДНОЧАСТОТНАЯ (L1) GPS СИСТЕМА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КЛАССА ● В ОДНОМ КОРПУСЕ СОВМЕЩЕНЫ - GPS ПРИЕМНИК, GPS АНТЕННА, АККУМУЛЯТОРЫ И ПАМЯТЬ ● ЛЕГКАЯ, КОМПАКТНАЯ И ЗАЩИЩЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ● ПРОСТОЕ УПРАВЛЕНИЕ И НАГЛЯДНАЯ ИНДИКАЦИЯ ● ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ВНЕШНИЙ КОНТРОЛЛЕР ● КРАЙНЕ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ 			
		<p>от 100 000 руб.</p>	
			
			
		<p>НПК "GPScom" 109388, Россия, Москва ул. Полбина, д.3, стр.1 тел.: (095) 232 2870 факс: (095) 354 0203 sales@GPScom.ru http://www.GPScom.ru</p>	
<p>ИДЕАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ СЪЕМОК С ПОСТОБРАБОТКОЙ</p>			