

УДК 528.2

САБЛИНСКАЯ БАЗИСНАЯ СЕТЬ

канд. техн. наук А.П. ПИГИН

(СП «Кредо-Диалог», Минск),

А.А. ЧЕРНЯВЦЕВ (ЗАО «Геостройизыскания», Москва)

Приводится краткая история создания плановой координатной сети России. Описываются полевые работы и результаты, полученные в результате измерений выходной стороны Саблинской базисной сети спутниковыми методами. Приводятся результаты сравнения азимута и длины выходной стороны Саблинской базисной сети, полученной в 2002 г. спутниковыми методами, с данными начала XX века. Отмечается высочайшее качество полевых работ военных топографов. Подчеркивается историческое значение сохранившихся пунктов.

Первые работы по созданию плановой координатной сети России датируются 1816 годом. Однако около ста последующих лет триангуляция развивалась фрагментарно, в узком русле исключительно топографического назначения. Сети качественно быстро старели, физическая утрата центров была обычным явлением.

Современная сеть ведет свою историю с начала XX века. В 1910 году русские военные геодезисты начали построение новой единой и долговременной астрономо-геодезической сети (АГС). Научно разработанный план предусматривал создание системы опорных полигонов, образованных рядами первоклассной триангуляции вдоль меридианов и параллелей (рис. 1).

Исходным пунктом всей координатной системы был избран центр Круглого зала главного здания Пулковской астрономической обсерватории. Проложение первого ряда новой триангуляции началось вдоль меридиана, идущего от Пулково к Николаеву. В мае 1910 года вблизи Пулковской обсерватории были заложены пункты базисной сети, около деревни Саблино измерен почти тринадцатикилометровый базис. В следующем году на всех шести пунктах сети были произведены угловые наблюдения. Работу выполнило отделение поручика Корпуса военных топографов Михаила Аверьянова. Так родилась Саблинская базисная сеть (рис. 2). К 1917 году военные геодезисты завершили построение двух первых полигонов будущей АГС. После 1917 года создание единой АГС на всю территорию страны велось под руководством выдающегося отечественного геодезиста Ф.Н. Красовского. Огромная по своему масштабу работа – покрыть точной триангуляцией одну шестую часть мировой суши – была завершена только через шестьдесят лет. Дальнейшее совершенствование государственной плановой сети связано уже с применением современных спутниковых систем и информационных технологий.

Шесть пунктов-ветеранов Саблинской базисной сети и сегодня несут свою службу. Правда, только два из них – Кабози и Поги, образующие выходную сторону, сохранили

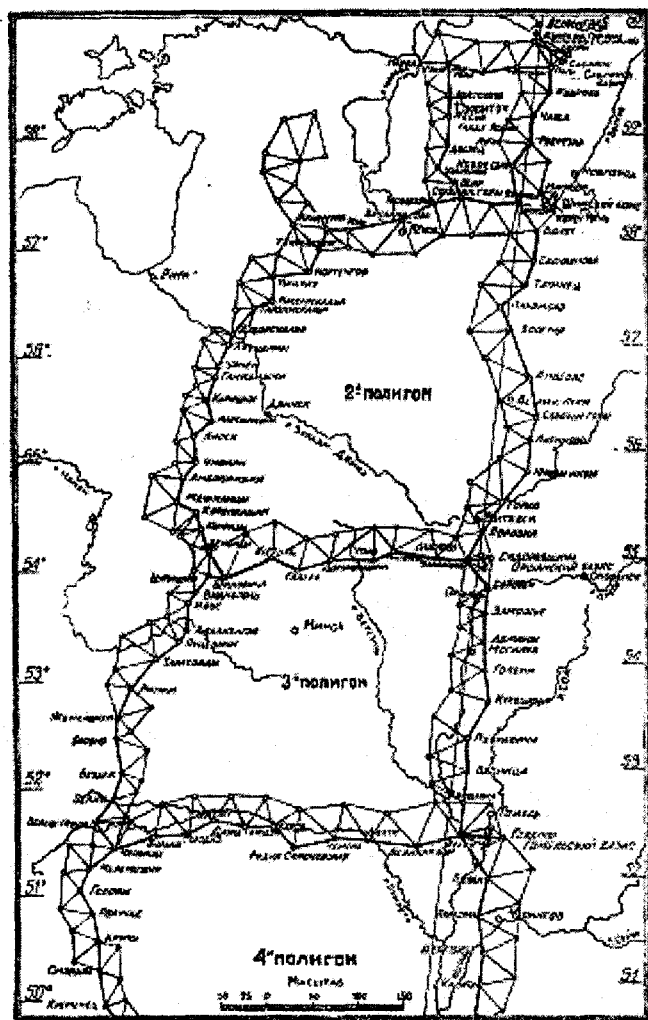


Рис. 1. Схема четырех первых полигонов АГС

центры в первоначальном виде и представляют собой ценные памятники истории отечественной геодезии.

Пункт Кабози заложен в 1869 году, задолго до создания Саблинской сети, и долгое время использовался для проведения военно-учебных занятий знаменитой Пулковской геодезической школы. На пункте производили наблюдения многие видные в будущем российские геодезисты: Н.Д. Артамонов, А.А. Тилло, С.Д. Рыльке, Д.Д. Геденов, В.В. Витковский, Н.Я. Цингер и многие другие.

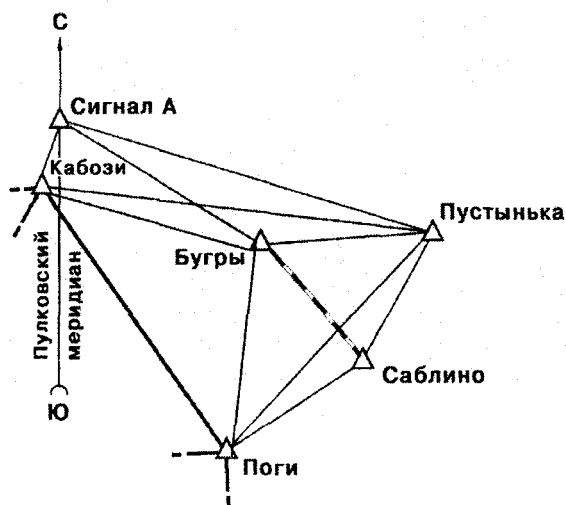


Рис. 2. Схема Саблинской базисной сети

Роль центра пункта выполняет ствол старинного крепостного орудия (рис. 3). На выступающей из земли казенной части этого орудия хорошо видно сохранившееся запальное отверстие. Так получилось, что раритет эпохи гладкоствольной артиллерии, в отличие от других стволов, ушедших в переплавку, стал служить отечественной геодезии. В 1910 году учебный пункт обрел новую «жизнь» - его включили в Саблинскую базисную сеть.

Пункты, заложенные в 1910 году, в том числе и пункт Поги, имели двойные центры из мощных валунов, уложенных вертикально один над другим. Нижний секретный центр располагался на глубине одной сажени, верхний центр прикрывался насыпью. На обоих валунах выбивались крестообразные марки (с таких крестов 94 года назад начиналось создание новой астрономо-геодезической сети) и год закладки пункта (рис. 4).



Рис. 3. Центр пункта Кабози



Рис. 4. Центр пункта Поги

Осенью 2002 года ЗАО «Геостройизыскания» получило предложение действительного члена Русского географического общества В.Б. Капцюга об измерении выходной стороны Саблинской базисной сети с использованием современного GPS-оборудования. Работа носила историко-научное назначение и имела целью определение длины и азимута стороны, сравнение их с полученными в 1910 году значениями. Результаты предполагалось использовать, в том числе, и для поиска центров пунктов, имеющих историческое значение и считающихся утерянными.

Предложение было принято, тем более что В.Б. Капцюг известен, как человек увлеченный историей геодезии, истинный энтузиаст своего дела. Именно благодаря его личному вкладу удалось ускорить работу по подготовке необходимых данных и заявки в Комитет ЮНЕСКО по Всемирному наследию для признания сохранившихся пунктов дуги Струве в качестве памятника Всемирного наследия.

Первая попытка проведения измерений была предпринята специалистами ЗАО «Геостройизыскания» и Санкт-Петербургской компании «Геодезические приборы» в октябре 2002 года. Казалось, предусмотрели все: комплект современного двухчастотного оборудования, транспорт, кроки пунктов, и никаких препятствий возникнуть не должно. Однако, прибыв на место, экспедиция обнаружила установленный над центром пункта Кабози мощный металлический сигнал, окруженный высокой древесной растительностью (рис. 5).

Примерно такая же ситуация была и на пункте Поги (рис 6). Сразу стало ясно, что решить задачу сходу не удастся, так как металлические сигналы и деревья создадут помехи для приема информации со спутников. В таких случаях обычно используются точки внецентренного стояния, для определения местоположения которых необходимы дополнительные линейно-угловые измерения. А вот тахеометра в распоряжении геодезистов не было, его просто не догадались на всякий случай захватить. Перенести работу на следующий день по ряду причин тоже было нельзя.

Измерения все-таки решили провести, увеличив продолжительность сеансов наблюдения. Как и предполагалось, результаты, полученные при постобработке, никак не соответствовали по надежности



Рис. 5. Сигнал пункта Кабози



Рис. 6. Сигнал пункта Поги

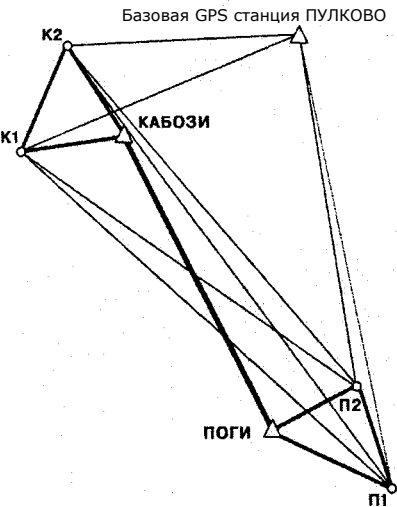


Рис. 7. Схема работ по определению стороны Поги - Кабози

работам на базисной сети. Урок на будущее: каким бы современным, «умным» и замечательным ни был прибор, а о рекогносцировке забывать нельзя. Измерения решено было повторить, но загруженность основной работой, текущие дела долго не позволяли этого сделать.

Удобный случай представился только в конце ноября 2003 года. Тут уж подготовились на совесть: составили проект, предрасчитали точность, запаслись необходимым оборудованием. Работы начали с определения точек внецентренного стояния для того, чтобы избежать негативного влияния металлических сигналов и растительности. Вблизи каждого пункта закрепили по две точки (рис. 7). Произвели наблюдения треугольников, образованных точками внецентренного стояния и центрами пунктов, измерив все углы и линии четырьмя полными приемами. Приемники устанавливались только на вынесенные точки. Сеанс GPS-наблюдений продолжался два часа. При производстве полевых работ использовали следующее оборудование: для линейно-угловых измерений - тахеометры TS3303 Trimble и SET2030R3 Sokkia; для GPS-наблюдений - четыре двухчастотных приемника Trimble 5700 с антеннами Zephyr и Zephyr Geodetic.

Камеральные вычисления проводились в несколько этапов. В начале линейно-угловые измерения были уравнены в системе CREDO DAT, после чего выполнили обработку результатов GPS-наблюдений по программе Pinnacle. Для повышения надежности получаемых результатов и улучшения геометрии сети в обработку были включены данные, полученные с Пулковской базовой GPS-станции. Окончательная редукция векторов П1-K1, П1-K2, П2-K1, П2-K2 на центры пунктов Кабози и Поги также была выполнена в программе Pinnacle с учетом данных, полученных при уравнивании в CREDO DAT.

Окончательные результаты в системе координат WGS84, полученные после камеральной обработки, оказались следующими:

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

Средняя квадратическая ошибка определения стороны составила ±0,009 м, которая была рассчитанна по формуле:

$$m_s^2 = \frac{\Delta X^2 \delta_x^2 + \Delta Y^2 \delta_y^2 + \Delta Z^2 \delta_z^2}{S^2}.$$

Теперь вставала задача: что с чем, и как сравнивать? Путь решения, кажется, напрашивался сам собой - необходимо привести современные измерения к тем реалиям, которые существовали в начале XX века. На то, чтобы узнать, как проводилась обработка измерений нашими предшественниками, какие факторы учитывались, ушло не мало времени.

Для адекватного сравнения результатов измерений начала прошлого века и современных спутниковые определения в WGS84 редуцированы на эллипсоид Бесселя. При этом использованы следующие исходные положения:

1. В работах Военно-топографического управления по Саблинской базисной сети и последующих работ по созданию СКЗ2 в 20-х годах прошлого столетия высота геоида над поверхностью референц-эллипсоида (эллипсоид Бесселя 1841) принималась равной нулю, астрономический азимут стороны Саблино – Бугры равным геодезическому, т.е. $A_0 = \alpha_0$ [1].

2. Логарифм длины выходной стороны базисной сети [3] Поги – Кабози – 4,43901927, т.е. 27480,161 м. Однако для выходной стороны базисной сети Поги – Кабози А.В. Граур [2], ссылаясь на «Материалы по триангуляции I кл.» (вып. 6, с. 32), приводит следующее значение длины выходной стороны – $27480,154 \pm 0,177$ м.

3. Для редуцирования приняты параметры эллипсоида Бесселя (1841): $a = 6377397,155$; $b = 6356078,963$ ($e = 0,0816968312225271$).

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

Средний радиус кривизны R_m рассчитан по известным (например, [4]) формулам кривизны меридиана и первого вертикала:

$$R_m = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 B} = 6387812,286.$$

Для расчетов среднего радиуса кривизны для стороны Поги – Кабози, редуцирования линии на эллипсоид использованы формулы из [1, (VI.26), (IX.51) и (IX.52)]:

$$R_A = R_m \left(1 - \frac{1}{2} e'^2 \cos^2 B \cos 2A\right) = 6386475;$$

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

$$S_0 = c + \frac{c^3}{24R_A^2} + \frac{3c^5}{640R_A^4} = 27480,085.$$

Разность результатов спутниковых определений и длины выходной стороны базисной сети Саблино по работам 1910 - 1911 гг. составила 0,069 м, или 1:400000. Это существенно выше требований нормативных документов первой половины прошлого века и соответствует инструкции о построении государственной геодезической сети 1961 года.

Так как в материалах [3] приводятся значения измеренных и приведенных к центрам знаков сферических углов, возникло желание уравнивать измерения, выполненные при построении Саблинской базисной сети, с использованием современных программных средств. Такая обработка была произведена в системе CREDO_DAT. Для этого программой ТРАНСКАР значения геодезических координат пункта Саблино, взятые из [3, с. 132] были пересчитаны в прямоугольные координаты в проекции Гаусса. Осевой меридиан зоны, как и при обработке военными геодезистами, принят проходящим через пункт Пулково, использованы параметры эллипсоида Бесселя. Сеть уравнена как свободная с принятой «жесткой» стороной Бугры - Саблино, равной 12676,383 (на плоскости - 12676,400) [3, с. 13], и азимутом $317^\circ 02' 50,63''$ [1, с. 140].

По результатам обработки средняя квадратическая ошибка измерения угла составила $0,98''$. Военными геодезистами эта величина оценена в $1,07''$ [3, с. 8].

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.

Результаты определения длины выходной стороны Поги - Кабози Саблинской базисной сети

Измерения	Обработка	Длина на эллипсоиде Бесселя, м	Средняя квадратическая ошибка по резуль- татам обработки	Разности $L_1 - L_2$	Относительная ошибка разности
1910 - 1911 гг., угловые изме- рения в базисной сети, прибор Едерина для измерения базиса с последующим вычислением выходной стороны	Данные «ручных» вычислений из [2, с. 76; 3, с. 13]	27480,154	$\pm 0,177$	0,069	1:400000
2003, GPS, непосредственные измерения выходной стороны	CREDO_DAT, Pinnacle	27480,085	$\pm 0,009$	0	-
1910 - 1911 гг., угловые изме- рения в базисной сети, прибор Едерина для измерения базиса с последующим вычислением выходной стороны	ТРАНСКОР, CREDO_DAT	27480,124	$\pm 0,146$	0,039	1:700000

Анализ приведенных данных свидетельствует о высочайшем качестве полевых работ, выполненных российскими геодезистами в 1910-1911 гг. с применением примитивной (по современным меркам) техники*. И только потери точности при «ручных» вычислительных работах не позволили использовать это качество до конца.

Гораздо сложнее оказалась задача сравнения азимутов. Саблинская базисная сеть ориентирована по астрономическому азимуту стороны Бугры - Саблино, равному $136^{\circ}54'49,95'' \pm 0,28''$ [3, 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 СК32 относительно СК WGS84. Эта задача решена нами в определенной мере нестрогим, но, тем не менее, дающим определенное представление о качестве работ, образом.

Геодезические координаты сохранившихся пунктов сети Поги и Кабози, полученные в 2003 г. в системе WGS84, приняты за исходные. Используя программы ТРАНСКОР и CREDO_DAT, были вычислены геодезические координаты пунктов Бугры и Саблино в СК WGS84, по которым в программе Trimble Geomatics Office рассчитан азимут стороны Бугры - Саблино, оказавшийся равным $136^{\circ}54'48,0''$, т.е. разность $A_{91} - A_{WGS84}$ составила около 2". Исправив на эту величину, азимут стороны Кабози - Поги, определенный в WGS84, получаем его значение на эллипсоиде Бесселя - $142^{\circ}02'07,7''$. Азимут этой стороны, равный $142^{\circ}02'11,2''$, приведен в [3, с. 132].

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

Авторы статьи выражают признательность всем, кто оказал помощь в поиске исторических и научно-технических материалов, принял участие в производстве полевых и камеральных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зданович В.Г., Белоликов А.Н. и др. Высшая геодезия. - М.: Недра, 1970.
2. Граур А.В. Практическая геодезия / ОНТИ, главная редакция геолого-разведочной и геодезической литературы. - М., 1934.
3. Материалы для триангуляции первого класса в европейской части СССР. Приложение к Части LXXIII тома записок Корпуса военных топографов. - М., 1924.
4. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. - М.: Недра, 1976.

* Техника, которую мы называем «примитивной (по современным меркам)», была самой совершенной и точной для своего времени. Угловые измерения выполнялись УИ Гильдебранда, имевшим лимбы диаметром 21 см и микроскопы, обеспечивающие точность 2". При этом наблюдения производились не на визирные цилиндры, а только геолитотропы и фонари. Базисный прибор Едерина, изобретен шведским астрономом и геодезистом Эдвардом Едерным (Йедедриным) в 1880 г., позже усовершенствован российскими геодезистами. Прибор широко применялся для базисных измерений и точных измерений в специальных сетях вплоть до начала 80-х годов прошлого века, а в отдельных случаях применяется и сейчас.