

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Б.А. Фурман (УП «Белаэрокосмогеодезия», Республика Беларусь)

В 1962 г. окончил Киевский топографический техникум, в 1977 г. — аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания техникума работал на Предприятии № 5 ГУГК СССР. С 2001 г. работает в УП «Белаэрокосмогеодезия», в настоящее время — заместитель главного инженера предприятия. Кандидат технических наук.

Геодезические работы можно считать областью научной и производственной деятельности, связанной с определением взаимного положения объектов на Земле. Земля является основным природным ресурсом и национальным богатством любого государства, включая и Республику Беларусь. От достоверности выполняемых на ней геодезических измерений зависит безопасность населения, правовые отношения юридических и физических лиц, охрана окружающей среды, экономическая эффективность строительства и эксплуатации различных объектов.

При проведении геодезических работ все чаще используется геодезическая аппаратура глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) — GPS/NAVSTAR (США) и ГЛОНАСС (Россия). Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. «Об обеспечении единства измерений» [1] относит спутниковую геодезическую аппаратуру к сфере государственного метрологического контроля и надзора и требует выполнять ее периодическую поверку как средств измерений, а также осуществлять контроль и надзор эталонов, на которых поверяется аппаратура.

Каждое предприятие, применяющее геодезические приемники ГНСС, в соответствии с законодательством Республики Беларусь, обязано предоставлять их на поверку. До недавнего времени в Республике Беларусь не существовало поверочных схем спутникового геодезического оборудования. В 2006 г., согласно нормативно-правовым документам [1–4] Республиканским унитарным предприятием аэрокосмических методов в геодезии «Белаэрокосмогеодезия» был создан метрологический полигон, включающий высокоточную спутниковую геодезическую сеть, а в 2007 г. — поверочная лаборатория.

▼ Метрологический полигон

Пункты геодезической сети метрологического полигона располагаются на территории Минска и в его пригородной зоне. Полигон включает пять пунктов, соединенных между собой восемью эталонными линиями длиной от 2,6 до 17,0 км (рис. 1).

Один из пунктов полигона — «Минск основной» входит в Фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС) Республики Беларусь и закреплен наземным центром типа 187. Центр представляет собой железобетонный пилон, заложённый

ниже глубины промерзания грунта. Часть пилона, расположенная над поверхностью земли, имеет центрировочное уст-

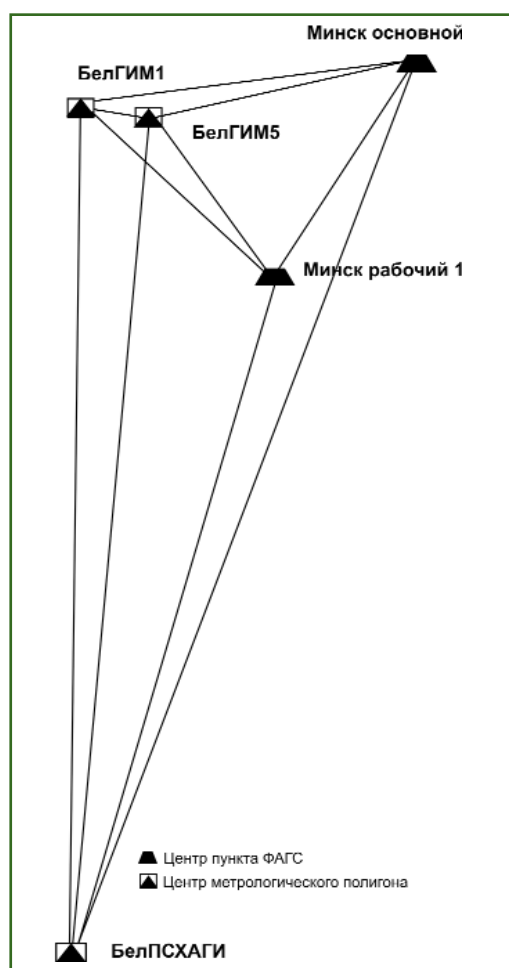


Рис. 1
Схема спутниковой геодезической сети метрологического полигона

**Рис. 2**

Центр пункта метрологического полигона, расположенный на крыше здания

ройство, охранную пластину и стенной репер. Второй стенной репер размещен под землей на этом же пилоне. Остальные четыре пункта расположены на крышах зданий (рис. 2). При выборе мест для установки пунктов метрологического полигона учитывалась долговременная и сезонная устойчивость зданий и удобство подъезда к ним.

▼ Спутниковые наблюдения

Наблюдения на каждом пункте метрологического полигона проводились двухчастотными спутниковыми геодезическими приемниками производства фирм Leica Geosystems (Швейцария) и Javad (США). Они выполнялись в различные периоды 2006 г. и включали четыре цикла длительностью по пять суточных сеансов каждый. Суточные сеансы проводились в статическом режиме с дискретностью регистрации сигналов 15 с и минимальным углом возвышения спутников над горизонтом (углом отсечки) 10° . Первый цикл наблюдений был выполнен с 28 февраля по 5 марта, второй — с 4 по 9 апреля, третий — с 13 по 18 июля, а четвертый — с 15 по 20 августа.

Для проведения спутниковых наблюдений антенны спутниковых приемников устанавливались на центры пунктов с помощью специальных устройств принудительного центрирова-

ния. Высота антенны над маркой центра (**Низм**) измерялась до начала и после завершения сеанса наблюдений.

▼ Предварительная обработка результатов спутниковых наблюдений

Обработка результатов спутниковых наблюдений и уравнивание спутниковой геодезической сети метрологического полигона были выполнены с помощью программного обеспечения Pinnacle версии 1.0 (Javad Positioning Systems).

Базовые линии вычислялись во всех комбинациях с применением программных спецификаций и с использованием вторых разностей кодовых и фазовых измерений обоих диапазонов. Измерения на частотах L1 и L2 считались независимыми.

Для линий длиной более 10 км обработка выполнялась с исключенной ионосферной задержкой. При вычислениях использовались точные значения эфемерид. Во время обработки исключались наблюдения отдельных спутников, для которых были получены недопустимо большие поправки в приращение фазы. Количество исключенных из решения эпох составило 0,4–0,6% от их общего количества. В дальнейшем при обработке спутниковых измерений осуществлялся контроль измерений по сходимости решения векторов, полученных из разных сеансов. Расхождения в приращениях координат, полученных из двух сеансов, для плановых координат X и Y допускались не более чем

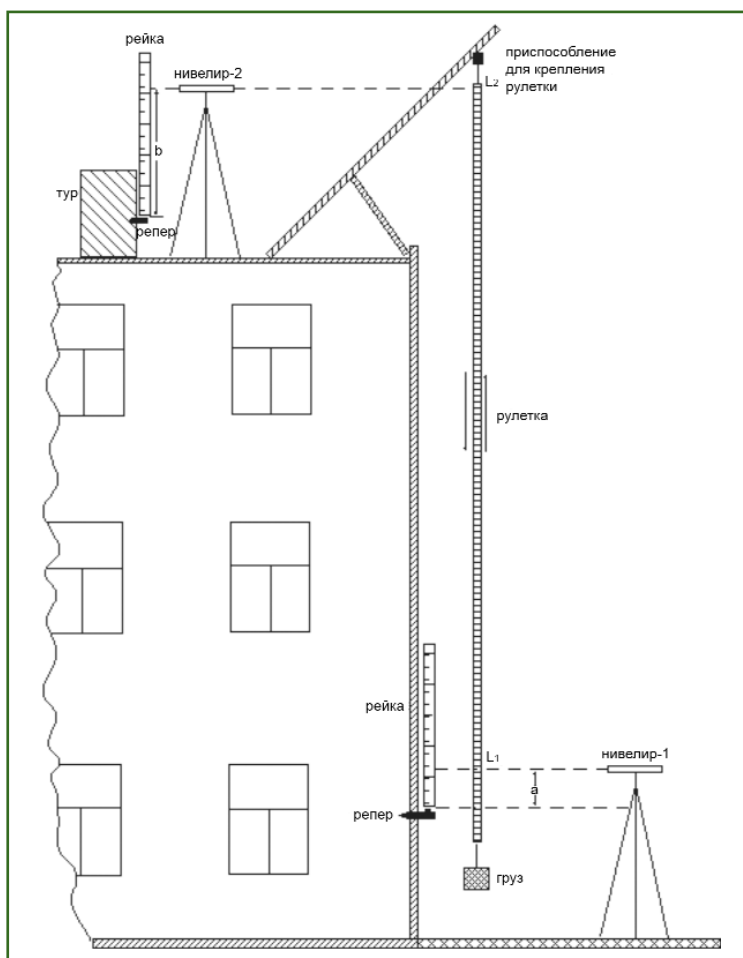
**Рис. 3**

Схема передачи высот на пункт, расположенный на крыше здания

$\Delta = \pm((3 + D \times 10^{-7}) \times K)$ мм, (1)
где **D** — длина базовой линии;
K = 2.

Для приращений высот допус-
калось в 1,5 раза большее рас-
хождение.

▼ **Нивелирование пунктов полигона**

Определение нормальных
высот центров пунктов метроло-
гического полигона осуществ-
лялось методом геометрическо-
го нивелирования II класса.
Для передачи высот на крыши
зданий была разработана спе-
циальная технология, суть кото-
рой показана на рис. 3. При
уравнивании нивелирных ходов
в измеренные превышения вво-
дились поправки за переход к
системе нормальных высот.
Средние квадратические слу-
чайные погрешности определе-
ния превышений между пункта-
ми метрологического полигона
характеризуются величиной
0,04 мм на 1 км хода.

▼ **Уравнивание результатов спутниковых определений**

Спутниковая геодезическая
сеть метрологического полиго-
на уравнена как свободная. В
качестве исходного пункта при
уравнивании принят пункт
«Минск рабочий 1», входящий в
ФАГС Республики Беларусь, в си-
стеме WGS-84. Погрешности
взаимного положения пунктов

метрологического полигона по
результатам уравнивания векто-
ров при уровне доверительной
вероятности 95% находятся в
пределах от 0,0–2,1 мм, т. е. вза-
имное положение пунктов мет-
рологического полигона опре-
делено с относительными по-
грешностями 10^{-6} – 10^{-7} , что в не-
сколько раз превосходит точ-
ность измерений наиболее рас-
пространенным спутниковым
оборудованием [5]. Уравненные
значения эталонных линий ха-
рактеризуются средними квад-
ратическими погрешностями,
приведенными в таблице.

▼ **Анализ и оценка результа- тов спутниковых определений**

Для оценки реальной точности
спутниковых определений на
метрологическом полигоне ре-
шались системы линейных
уравнений вида

$$\delta = a + b \times D \times 10^{-8},$$

где δ — значения средних квад-
ратических погрешностей урав-
ненных длин эталонных линий
метрологического полигона и их
приращений координат (**m_x**,
m_y, **m_z** и **m_D**) в мм;

a и **b** — определяемые коэф-
фициенты линейного уравне-
ния;

D — расстояния между пунк-
тами полигона в мм.

В результате вычислений бы-

ли получены следующие эмпи-
рические зависимости для фак-
тических значений средних квад-
ратических погрешностей оп-
ределения параметров **X**, **Y**, **Z** и
D метрологического полигона:

$$m_x = 0,22 + 5,5 \times D \times 10^{-8}, \quad (2)$$

$$m_y = 0,15 + 4,2 \times D \times 10^{-8}, \quad (3)$$

$$m_z = 0,37 + 7,4 \times D \times 10^{-8}, \quad (4)$$

$$m_D = 0,29 + 13 \times D \times 10^{-8}. \quad (5)$$

С учетом округлений, обоб-
щений и созданием некоторого
запаса точности формулы
(2)–(4) можно записать в виде:

$$m_x = m_y = 0,2 + 6 \times D \times 10^{-8}, \quad (6)$$

$$m_z = 0,4 + 8 \times D \times 10^{-8}. \quad (7)$$

Сопоставим формулы (6) и
(7) со стандартными формулами
ожидаемой точности спутнико-
вой геодезической аппаратуры,
приводимыми в руководствах
по эксплуатации приемников.

Так, например, для двухчас-
тотных спутниковых приемни-
ков ГНСС Topcon GB-1000,
Topcon GB-5000, наиболее часто
применяемых в Республике Бе-
ларусь при выполнении высоко-
точных работ, в руководстве по
эксплуатации приведена следу-
ющая ожидаемая точность из-
мерений: в плане (3 мм +
0,5 ppm) и по высоте (5 мм +
0,5 ppm). При длине базовой
линии, равной **D**, эти зависимо-
сти точности измерений в плане
и по высоте будут иметь следу-
ющий вид, соответственно:

Значения средних квадратических погрешностей уравненных длин эталонных линий метрологического полигона и их приращений координат

Наименование линии	Длина линии, км	Средняя квадратическая погрешность, мм			
		m _x	m _y	m _z	m _D
БелГИМ 1 — БелГИМ 5	0,1	0,4	0,3	0,6	0,67
БелГИМ 1 — БелПСХАГИ	17,0	1,2	0,9	1,7	2,54
БелГИМ 1 — Минск основной	4,5	0,4	0,3	0,6	0,67
БелГИМ 1 — Минск рабочий 1	2,6	0,3	0,2	0,5	0,52
БелГИМ 5 — БелПСХАГИ	17,0	1,2	0,9	1,7	2,54
БелГИМ 5 — Минск основной	4,4	0,4	0,3	0,6	0,67
БелГИМ 5 — Минск рабочий 1	2,6	0,3	0,2	0,5	0,53
БелПСХАГИ — Минск основной	20,1	1,2	0,9	1,7	2,54
БелПСХАГИ — Минск рабочий 1	15,9	1,2	0,9	1,7	2,54
Минск рабочий 1 — Минск основной	4,2	0,4	0,3	0,5	0,56

- $(3 + 50 \times D^{-8})$ мм; (8)
- $(5 + 50 \times D^{-8})$ мм. (9)

Сравнивая эмпирические зависимости (6) и (7) с формулами из руководства по эксплуатации (8) и (9), можно сделать вывод о том, что достигнутая точность спутниковых измерений, выполненных при создании метрологического полигона, на порядок выше точности двухчастотных приемников. Это дает основание считать, что метрологический полигон пригоден для сертификации спутниковой геодезической аппаратуры.

Следует также отметить, что по характеристикам точности метрологический полигон соответствует точности созданной на территории Республики Беларусь высокоточной геодезической сети, являющейся сетью наиболее высокого класса.

▼ **Эталоны метрологического полигона**

При метрологической аттестации полигона и спутниковой аппаратуры в качестве эталонных следует использовать значения приращений координат и длин линий, полученные из уравнивания. Можно также вычислить значения геодезических азимутов.

Значения пространственных координат в системе WGS-84 в качестве эталона использовать не рекомендуется, так как они подвержены изменениям с течением времени.

▼ **Метрологическая лаборатория**

Программа и методика проверки спутниковой геодезической аппаратуры, проходящей испытания с целью утверждения типа, включает:

- внешний осмотр и опробование;
- определение погрешности измерения расстояния путем измерения сторон метрологического полигона высокоточной спутниковой геодезической сети в статическом режиме.

Для непосредственного выполнения работ по поверке спутниковой геодезической аппаратуры в УП «Белаэрокосмогеодезия» создана поверочная лаборатория. Поверочная лаборатория аккредитована соответствующими государственными органами, укомплектована кадрами и выполняет следующие основные задачи:

- обеспечение единства измерений на предприятии;
- качественное, объективное и своевременное проведение поверочных работ путем постоянного совершенствования организационного и технического уровня;
- участие в межлабораторных исследованиях, организуемых органом по аккредитации;
- техническое обслуживание измерительного оборудования, регламентированного в эксплуатационной документации и других технических нормативных правовых актах с целью поддержания его работоспособности в течение срока эксплуатации и др.

Поверки спутникового геодезического оборудования осуществляются в соответствии с техническим кодексом, разработанным УП «Белаэрокосмогеодезия» и утвержденным Госстандартом Республики Беларусь [6].

▼ **Оформление результатов поверки спутниковой геодезической аппаратуры**

Результаты поверки спутникового геодезического оборудования оформляются в виде протокола, выдаваемого заказчику. Если по результатам поверки аппаратура признана годной, то выдается свидетельство о государственной поверке, установленного образца. Для аппаратуры, признанной непригодной к применению, существовавшее свидетельство о государственной поверке аннулируется и выдается извещение о непригодности.

Организации, заинтересованные в поверке спутниковых геодезических приемников ГНСС, используемых для решения производственных и научно-исследовательских задач, могут обратиться в УП «Белаэрокосмогеодезия» по тел: (37517) 284-82-31.

▼ **Список литературы**

1. Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. «Об обеспечении единства измерений» в редакции Закона Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. № 163-З «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».
2. СТБ 941.2-93 «Система аккредитации поверочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь. Общие требования к оценке технической компетентности поверочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь».
3. СТБ 50.01-2000 «Система аккредитации Республики Беларусь. Основные положения».
4. Свидетельство № 134-41 от 12 марта 2007 г. о метрологической аттестации метрологического полигона высокоточной спутниковой геодезической сети. — Госстандарт Республики Беларусь.
5. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. — М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006.
6. ТКП 8.4-2009 (03220) «Система обеспечения единства измерений. Спутниковая геодезическая аппаратура. Методика проверки». — Госстандарт Республики Беларусь.

RESUME

A description of a metrological polygon with a high-precision satellite geodetic network of the Unitary Enterprise «Belaerokosmogodeziya». It is marked that the achieved accuracy of satellite measurements of the control points coordinates and elevations is higher by an order than that of the GNSS dual-frequency receivers. Satellite geodetic equipment is tested at the metrological polygon by a metrological laboratory in accordance with the technological code developed at the enterprise and certified by the Republic of Belarus State Standard.