

МЕТРОЛОГИЧЕСКОМУ ПОЛИГОНУ СГГА – 10 ЛЕТ

Реализации проекта эталонного пространственного полигона (ЭПП) для метрологических поверок ГЛОНАСС/GPS аппаратуры, началась в 1995 г. силами Сибирской государственной геодезической академии (СГГА), ПО "Инжгеодезия" и Сибирского государственного НИИ метрологии (СНИИМ). Для построения сети ЭПП вблизи Новосибирска был выбран район с меньшей залесенностью, и на котором не ожидалось тектонические движения. Была выполнена рекогносцировка пунктов государственной геодезической сети (ГГС). Из них были отобраны наиболее подходящие для работы со спутниковой аппаратурой. Эту работу выполняли Сурнин Ю.В., Ащеулов В.А., Кужелев С.В. Большую помощь по разработке проекта полигона оказало ПО «Инжгеодезия» (Рогов А.Л.) [5, 6].

Разработку поверочной схемы выполнили Ю.В. Сурнин, В.Д. Лизунов и Л.Г. Куликова. «Узкое место» схемы – передача эталона длины от исходных эталонов на рабочий эталон, то есть на Эталонный пространственный полигон. Для этого было решено использовать спутниковую аппаратуру. Если она по результатам измерений на эталонных линейных или пространственных базисах удовлетворяла критериям точности, то становилась эталонной аппаратурой. Были также разработаны методики поверки средств измерений и средства поверки [3, 4].

Одной из особенностей высокоточных спутниковых измерений является то, что они позволяют не только измерять расстояния между пунктами, но дают приращения координат в общеземной системе. Поэтому и появилась концепция пространственного полигона, на котором известны не только расстояния между пунктами, но и приращения координат в общеземной системе. Для абсолютных положений пунктов в общеземной системе была достаточной точность метрового уровня, однако были предприняты усилия по привязке сети ЭПП на сантиметровом уровне точности в расчете на развитие методов спутниковых определений, а также для геодинимических исследований.

Таким образом, была выработана концепция построения сети ЭПП. Она включала в себя:

- Выбор места и закладка пунктов ЭПП (или использование существующих пунктов государственных геодезических или нивелирных сетей),
- Измерения на эталонных пространственных базисах с целью подтверждения качества выбранной спутниковой аппаратуры,
- Получение геоцентрических координат одного из пунктов сети ЭПП в системе ITRF,
- Измерения на пунктах сети ЭПП, их обработка [5, 6].

Как создать эталон, точность которого существенно превышала бы точность обычной сети, создаваемой спутниковым методом? Классические методы построения сетей (триангуляция, полигонометрия) значительно уступают по точности спутниковым сетям. Со спутниковыми методами соизмеримы по точности измерения расстояний некоторыми типами дальномеров и нивелировки 1-2 классов. Поэтому большое внимание было уделено разработке методики измерений на сети с использованием спутниковой двухчастотной фазовой аппаратуры. В табл. 1 приводится перечень погрешностей измерений и примененные способы их ослабления.

Большой объем измерений был проведен по привязке полигона к общеземной системе. Они начались с суточного сеанса в марте 1996 г., когда была сделана привязка к пункту Международной GPS службы «Иркутск» (Сурнин Ю.В., Антонович К.М.). Впоследствии такие измерения проводились регулярно, что позволило даже определить скорость движения тектонической плиты в районе Новосибирска [2].

Благодаря проведенному комплексу измерений стало возможным в 1997 г. аттестовать построенную сеть ЭПП. Однако недостаток опыта не позволил построить запроектированную сеть с необходимой точностью. В процессе уравнивания было выяснено, что на тех пунктах, где располагались металлические пирамиды, точность измерений ухудшалась в несколько раз. И поэтому первая сеть ЭПП имела вид треугольника. В дальнейшем это упущение было исправлено, и на время измерений металлические пирамиды снимались, а после измерений – восстанавливались.

Таблица 1. Источники погрешностей и способы их ослабления

Источник ошибок	Способ исключения или ослабления
1 Ошибки априорных координат пунктов сети	Привязка к станциям Международной GPS службы (МГС, точность привязки на уровне 3 см)
2 Ошибки эфемерид спутников	Использование вместо бортовых точных эфемерид МГС (точность порядка 5 см)
3 Ионосферная рефракция	Применение двухчастотной аппаратуры, решение по комбинации фазы несущей, свободной от влияния ионосферы
4 Тропосферная рефракция	Проектирование сети с малой разностью высот пунктов, использование при обработке файлов тропосферной задержки от ближайших пунктов МГС
5 Многопутность	Использование аппаратуры, устойчивой к многопутности (приемники 5700 и Legacy с антеннами типа choke-ring), длительные сеансы наблюдений, выбор пунктов с открытым радиогоризонтом, удаление наружных знаков (пирамид) на время измерений
6 Нестабильность фазовых центров антенн	Использование приемников с однотипными антеннами

7 Геометрия спутников	Наблюдения суточными сеансами, разбиваемыми на несколько подсеансов
8 Ошибки центрирования и измерения высоты антенны	Принудительное центрирование, специальные переходники для измерений высоты антенны штангенциркулем, измерение высоты до и после сеанса
9 Геометрия сети	Избыточные связи и примерно равные расстояния между пунктами
10 Шумы измерений, ошибки моделей	Измерение комплектами аппаратуры разных фирм, несколькими продолжительными сеансами (более 4-х часов)

Опыт проверок первых лет показал, что заказчики часто приезжают с наборами из 5-10 приемников, и основная масса работ выполнялась в зимнее время. Поэтому, чтобы не зависеть от снега, и для одновременной работы с несколькими приемниками в 1998 г. были заложены туры с принудительным центрированием на крыше лабораторного корпуса СГГА (пункты NSKN, NSKW и NSKE), а в 2000 г. установлены центры в виде бетонных труб еще на трех пунктах. Большой вклад в эти работы внес доц. Шептунов Г.С. Все новые пункты были сданы по акту под охрану государства. Кроме того, в сеть ЭПП был включен очень удобный пункт «Красноглинное», заложенный ПО «Инжгеодезия». В 2004 г. в сеть ЭПП был включен Издревинский базис [7].

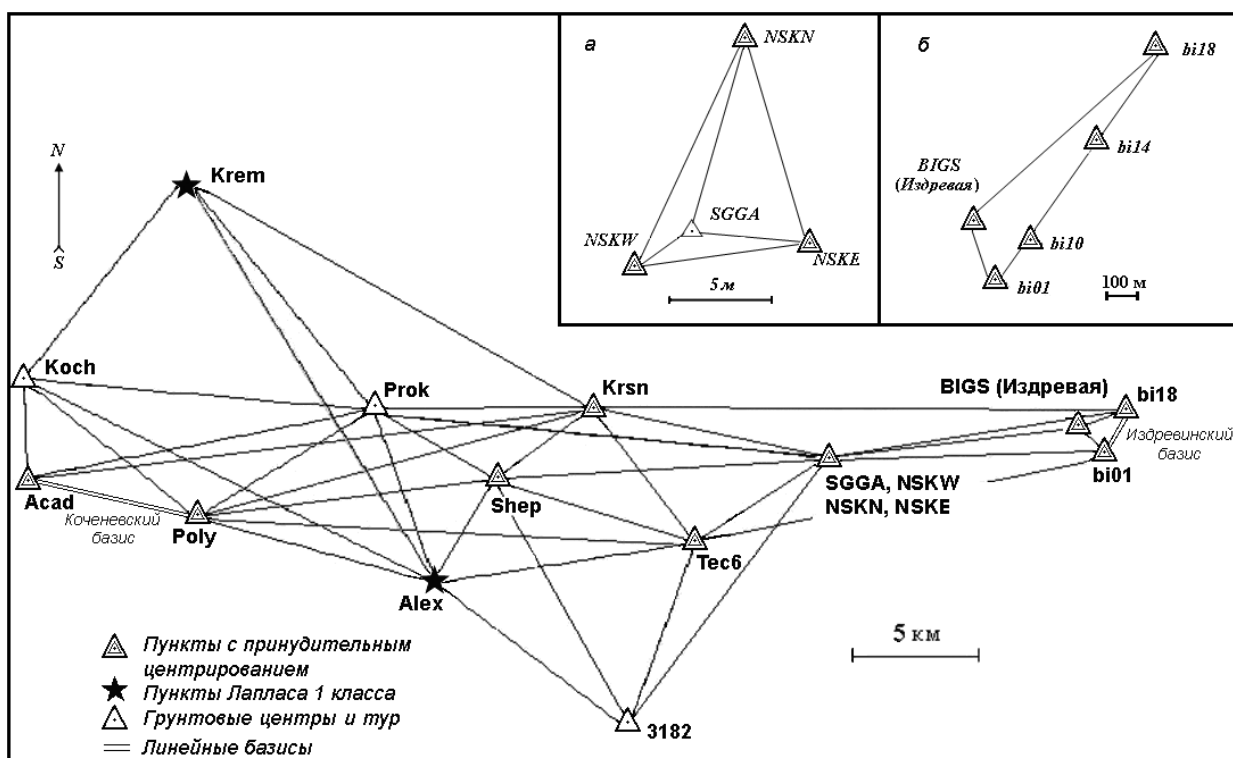


Рис. Схема сети Эталонного пространственного полигона СГГА. На вставках: (а) схема пунктов на здании СГГА, (б) схема пунктов на Издревинском базисе

Еще до начала выполнения работ на ЭПП было ясно, что уникальную по точности сеть нужно использовать не только для метрологических проверок спутниковых приемников, но и для широкого спектра геодезической

аппаратуры (теодолитов, гиротеодолитов, астроуниверсалов, дальномеров и пр.). В проект ЭПП были включены астрономические и гравиметрические пункты и нивелирные реперы. Привязка нескольких новых пунктов сети к Балтийской системе нормальных высот 1977 г. была выполнена в 1998 г. проф. Панаевым Г.А. Гравиметрические измерения на ряде пунктов, в том числе на заложенном фундаментальном гравиметрическом пункте была выполнена доц. Кузьминым В.И. в 1998-2000 гг.

Наличие полноценной геодезической информации на сети позволило создать математическую модель локального квазигеоида и осуществить внешний контроль точности ЭПП по азимутальной и экваториальной ориентировке, по высотной и плановой привязке ЭПП к ГГС и ГНС (Сурнин Ю. В., Гиенко Е.Г. [8, 9, 10]). Многоцелевой ЭПП дал возможность проводить разносторонние исследования по учету тропосферной рефракции (Фролова Е.К., Антонович К.М. [1]) и др.

Современная сеть ЭПП представлена на рисунке. В нее входит 17 основных, несколько дополнительных пунктов, а также Издревинский и Коченевский базисы. Стержнем сети является цепь из пунктов с принудительным центрированием, с четырехугольником посередине. Длина сети в долготном направлении – 60 км. Сеть включает два астропункта 1 класса. Все пункты сети имеют координаты в системах ITRF2000, ПЗ-90, СК-42 и высоты в системе БСВ-77. Взаимное положение пунктов сети в системе ITRF2000 по результатам минимально ограниченного уравнивания характеризуется в плане средними квадратическими погрешностями

$$M_D = 1 \text{ мм} + D \cdot 10^{-7},$$

где D – расстояние между пунктами. Погрешности по высоте примерно в два раза больше.

К началу 2005 г. на сети ЭПП были выполнены метрологические поверки 270 комплектов аппаратуры (почти 700 приемников различных фирм). На материалах ЭПП написаны десятки статей и дипломных работ, защищена кандидатская диссертация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М. Об учете тропосферных поправок при построении геодезических сетей спутниковыми методами [текст]/К.М. Антонович, Е.К. Фролова // Труды III Сибирской науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы метрологии» Сибметрология - 2001. - Новосибирск: СНИИМ, 2001. - С. 76-78.

2. Антонович К.М. Определение скорости движения станции «Новосибирск» по GPS-измерениям [текст] /К.М. Антонович, А.Н.Клепиков // Современные проблемы геодезии и оптики. Межд. науч.-техн. конф., посвященная 65-летию СГГА-НИИГАиК. Материалы конф. - Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 14-17.

3. Антонович К.М. Особенности метрологической аттестации геодезических пространственных эталонных базисов и полигонов [текст] / К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, В.Д. Лизунов, Ю.В. Сурнин, О.П. Сучков // Законодательная метрология, № 4, 1998. – С. 21 – 23.

4. Антонович К.М. Обработка методик высокоточных измерений спутниковыми приемниками [текст] / К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, Ю.В. Сурнин, В.Д. Лизунов // Законодат. метрология. – 1998. – № 4. – С. 34 – 35.
5. Антонович К.М. Пространственный эталонный полигон для метрологической аттестации GPS-аппаратуры (опыт создания) [текст] / К.М. Антонович, В.А. Ащеулов, Ю.В. Сурнин, В.А. Скрипников // Вестник СГГА, вып. 4, Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 8 – 13.
6. Антонович К.М. Разработка и создание геодезического испытательного метрологического полигона для поверки GPS-приемников [текст] / К.М. Антонович, Середович В.А., Сурнин Ю.В., Куликова Л.Г., Лизунов В.Д. Современные проблемы геодезии и оптики. Межд. науч.-техн. конф., посвященная 65-летию СГГА-НИИГАиК. Материалы конф. Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 103 - 110.
7. Антонович К. М. Эталонный пространственный полигон СГГА: аттестация 2004 [текст] / К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, А.Н. Клепиков, Е.К. Фролова // Материалы 7-й межд. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. - Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 259-262
8. Гиенко Е. Г. Спутниковая технология определения астрономических координат наземного пункта и азимута земного предмета [текст] / Е. Г. Гиенко, Ю. В. Сурнин // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА–НИИГАиК. – Новосибирск, 1998. – С. 30.
9. Гиенко Е. Г. Контроль азимутальной ориентировки эталонного пространственного полигона [текст] / Е. Г. Гиенко, Ю. В. Сурнин // Тез. докл. науч. - техн. конф. преподавателей СГГА – Новосибирск, 1998. – С. 9.
10. Сурнин Ю. В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метро-логических испытаний геодезической аппаратуры [текст] / Ю.В. Сурнин // Материалы 7-й межд. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. - Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 249-255.

© В.А. Середович, Ю.В. Сурнин, К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, 2005