

27 февраля 2009 г. доктору технических наук, профессору Игорю Севировичу Тревого исполнилось 70 лет. Более 40 лет он ведет преподавательскую и научную работу в Национальном университете «Львовская политехника», успешно готовит инженерные и научные кадры в области геодезии и картографии.

Высокий профессионализм и целеустремленность, научная интуиция и эрудиция позволили И.С. Тревого стать известным ученым и достойным представителем Львовской геодезической школы. Главные направления его исследований — геодезические сети больших городов, учет атмосферной рефракции и оценки стабильности геодезических пунктов в городских условиях, исследования точности светодальномерных и спутниковых измерений, геодезическая метрология, создание образцовых базисов и полигонов. В последние годы под его руководством создан эталонный научный полигон для апробации и совершенствования новых технологий и метрологического контроля современной измерительной техники.

И.С. Тревого наряду с преподавательской и научной деятельностью активно участвует в конгрессах, конференциях и симпозиумах в разных странах мира как президент Украинского общества геодезии и картографии, член коллегии и научно-технического совета Укргеодезкартографии и член научной комиссии по геодезическому образованию Международной федерации геодезистов (FIG). По его инициативе и при непосредственном участии проводится ежегодная международная конференция «ГЕОФОРУМ» (Львов-Яворов, Украина), завоевавшая признание не только в Украине, но и во многих странах. Он является главным редактором журнала «Современные достижения геодезической науки и производства».

Редакция журнала поздравляет И.С. Тревого с юбилеем и желает ему крепкого здоровья, успехов в научно-педагогической деятельности и реализации многочисленных идей по пропаганде достижений в области геодезии и картографии в Украине и других странах мира!

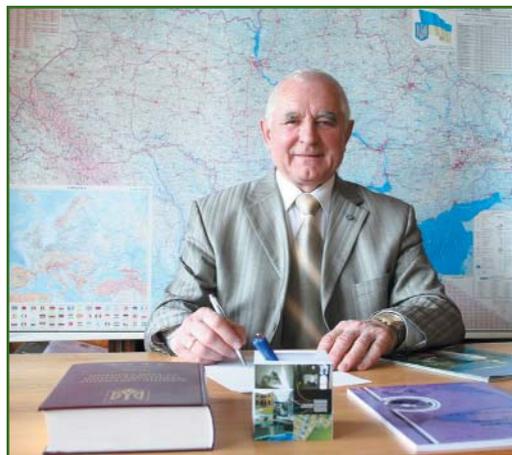
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИБОРОВ И АПРОБАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ

И.С. Тревого (Национальный университет «Львовская политехника», Украина)

В 1961 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (в настоящее время — Институт геодезии Национального университета «Львовская политехника») по специальности «астрономогеодезия». После его окончания работал на полевых геодезических работах. С 1969 г. работает в университете, в настоящее время — декан магистратуры Института геодезии, профессор. Доктор технических наук. Автор более 250 научных статей, монографий, учебных пособий и патентов.

Благодаря технологической революции в геодезическом приборостроении современная геодезия обеспечена новыми средствами измерительной техники и, в первую очередь, глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС) для определения пространственных координат. Этот метод, как мобильный и точный, нашел широкое применение при создании геодезических сетей разного назначения, в гео-

динамических исследованиях, в аэрофотосъемке, в инженерной геодезии, при создании образцовых геодезических базисов и т. п. Определение координат точек с миллиметровой точностью с помощью спутниковых наблюдений стало распространенной задачей в практике геодезических и землеустроительных работ. Достижение такой точности зависит как от спутниковой аппаратуры пользователей, так и от методической составляю-



щей, важной частью которой является метрологическая аттестация и поверка аппаратуры. Особенность метрологической аттестации спутниковых приемников состоит в том, что аттестации подлежит как сам прибор (приемник и антенна), так и программное обеспечение, используемое для обработки результатов наблюдений.

Геодезическое производство получило и другие новые и разные по точности и назначению приборы: электронные светодальномеры, электронные тахеометры, цифровые нивелиры, цифровые камеры, лазерные сканирующие системы и другую технику, которая также требует метрологического контроля.

Поэтому для испытания современной измерительной техники, ее метрологической аттестации и поверки, для исследования и совершенствования новых технологий, рассчитанных на использование такого оборудования, целесообразно иметь специальный эталонный полигон. Изыскания, направленные на создание подобных полигонов, ведутся в разных странах, в том числе и в Украине.

▼ Структура и направления использования специального многофункционального геодезического полигона

Один из таких полигонов функционирует во Львовской области. Особенности его проектирования и создания изложены во многих публикациях [1–7]. Учитывая многофункциональное назначение эталонного полигона, ему был присвоен статус научного геодезического полигона (НГП). Территориально полигон расположен в регионе, где отсутствует сейсмическая активность (что способствует высокой стабильности центров) и обеспечена сохранность геодезических пунктов.

Создание НГП предполагает его использование для решения

комплекса научно-технических задач:

— исследования для определения параметров преобразования глобальных (мировых) систем координат в локальные системы координат;

— построение региональной модели гравиметрического поля Земли и изучение изменений гравитационного поля в локальных регионах для уточнения параметров глобальной гравитационной модели Земли [8];

— исследование точности спутникового нивелирования;

— использование методов геодезической астрономии для установления параметров ориентирования локальных геодезических систем и контроля угловых измерений;

— исследование и совершенствование современных технологий и методов:

а) спутниковых геодезических измерений;

б) наземных топографических съемок;

в) цифрового геометрического нивелирования;

г) оптимизации создания специальных геодезических систем;

д) определения координат центров проекции при аэрофотосъемке с помощью спутниковых методов;

— разработка принципов построения локальных метрологических полигонов;

— совершенствование конструкции образцовых линейных геодезических базисов и разработка технологии метрологического контроля их линий с помощью ГНСС;

— оптимизация и контроль стабильности эталонной геодезической сети для метрологической аттестации спутниковых приемников;

— разработка и внедрение специализированной методики метрологической аттестации и поверки спутниковых приемни-

ков разных типов, точности и назначения;

— организация метрологического контроля светодальномеров, электронных тахеометров, лазерных рулеток и других приборов на образцовом линейном геодезическом базисе;

— проведение исследований спутниковой аппаратуры — колебаний фазового центра спутниковых антенн, зависимости точности спутниковых наблюдений от геометрии созвездий спутников ГНСС, наличия перетраженных сигналов и т. п.

Работы по созданию НГП начались в 1996 г. В настоящее время НГП представляет собой локальную геодезическую сеть с метрологическими объектами. Территория полигона в основном покрыта лесом, поэтому сгущение локальной сети НГП проведено комбинированием спутниковых определений и светодальномерной полигонометрии.

Высокоточные спутниковые наблюдения с момента создания полигона проводятся практически ежегодно в виде трехпятисуточных GPS-компаний. Для наблюдений использовались двухчастотные спутниковые приемники, преимущественно фирмы Trimble (США) (в последние годы геодезические спутниковые приемники Trimble 5700). По результатам обработки GPS-измерений в разные годы локальная оценка пространственных геодезических координат составляет 0,005 м в плане и 0,01 м по высоте. Количество пунктов геодезической спутниковой сети НГП достигло 25.

Полигонометрическая сеть НГП состоит из ходов вытянутой формы (общее число пунктов более 80), проложенных между пунктами спутниковых наблюдений и опирающихся на азимуты выходных сторон, определенных из высокоточных астрономических наблюдений с точностью 0,5". Это дает возмож-

ность считать ходы полигонометрии практически эталонными при испытании и исследовании измерительной техники.

Высокоточные астрономические координаты определены на 20 пунктах локальной геодезической сети НГП. Это позволило получить астрономо-геодезические составляющие уклонов отвесных линий, необходимые для уточнения параметров локальной системы координат НГП.

Важной научной задачей, реализованной на НГП, является построение модели квазигеоида с сантиметровой точностью в границах полигона. Была построена локальная гравиметрическая сеть из 45 пунктов, которая опирается на фундаментальный пункт Государственной гравиметрической сети [8]. На территорию полигона построена карта аномалий, с помощью которой можно надежно вычислить гравиметрические составляющие уклонов отвесных линий и высоты квазигеоида с точностью 0,1" и 1 см, соответственно. Локальную гравиметрическую сеть планируется расширить до 300 км² с плотностью пунктов 3–5 на 1 км².

Высотная сеть НГП создана геометрическим нивелированием II и III классов, имеет протяженность более 100 км и закреплена 35 реперами. В ближайшее время сеть геометрического нивелирования II класса предполагается расширить на десятки километров с привязкой к высотным реперам I класса. Первые эксперименты по исследованию точности спутникового нивелирования показали, что высоты пунктов локального геодезического полигона можно получить с точностью порядка 3 см.

Кроме того, в состав НГП входят два метрологических объекта: образцовый линейный геодезический базис и фундаментальная геодезическая сеть. Рассмотрим их более детально.

▼ Особенности конструкции и метрологический контроль линейного геодезического базиса

Для обеспечения единства линейных измерений в геодезических сетях, передачи единицы длины от эталона рабочим средствам измерений: светодальномерам, электронным тахеометрам, лазерным рулеткам и другим приборам, а также для повышения качества и эффективности измерений на территории НГП создан и функционирует новый экспериментальный образцовый линейный геодезический базис усовершенствованной конструкции. Объект является разработкой специалистов Львовской геодезической школы и назван Яворовским образцовым линейным базисом.

На базисе с 2003 г. проводится периодическая метрологическая аттестация и поверка линейных приборов с оформлением соответствующих документов. Расстояние между конечными точками базиса составляет 2260 м. Такая длина достаточна для метрологической аттестации и поверки топографических светодальномеров и электронных тахеометров. Все 20 пунктов образцового базиса закреплены металлическими трубчатыми центрами, установленными на глубину до 4 м. Центры — знаки выступают над поверхностью земли на высоту до 1,3 м и заканчиваются горизонтальной плитой с отверстием для станového винта и боковым овальным вырезом в трубе для доступа к нему (рис. 1). Для установки приборов изготовлены комплекты станových винтов с разным шагом резьбы, используемым мировыми фирмами-производителями. При этом точность центрирования приборов обеспечивается не менее 0,2 мм (рис. 2). Как правило, пункты образцовых базисов изготавливают из железобетона, а становой винт делают стационарным или съем-

ным. Как показали наши исследования, трубчатые центры стабильны во времени, а их конструкция обеспечивает достаточно эффективную работу в процессе измерений.



Рис. 1
Пункты образцового линейного базиса НГП

В комплект образцового базиса входит фазовый участок длиной 10 м, закрепленный пунктами через 1 м от пункта № 4 до пункта № 14 (рис. 1). Расстояния от первой точки базиса до основных центров кратно 10 м, что практически обеспечивает выполнение светодальномерных измерений при одном фазовом угле. Базис расположен на открытой местности, вдали от транспортных магистралей и промышленных объектов, что обеспечивает его надежную сохранность.

Первая аттестация базиса проведена в 2003 г. метрологической установкой высокой точности специалистами ННЦ «Институт метрологии» (Харьков).



Рис. 2
Установка подставки на пункте

Основной частью установки являлся прецизионный лазерный дальномер ПЛД1М. Точность измерения расстояний составила 0,2–0,5 мм. Учитывая, что на пространственное положение пунктов базиса оказывают влияние погодноклиматические и динамические воздействия, возникает необходимость в периодическом контроле их стабильности.

Опираясь на современные достижения в области спутниковых технологий, с нашей точки зрения, для контроля пространственного положения пунктов базиса в настоящее время целесообразно использовать спутниковый метод, как наиболее мобильный и эффективный. Первые эксперименты по применению спутниковых технологий для метрологического контроля образцовых линейных базисов были проведены в Институте геодезии Национального университета «Львовская политехника» еще в 1990-е гг. На основании этих исследований было принято решение об использовании спутникового метода

для определения стабильности пунктов базиса. На пунктах базиса в 2003, 2005–2007 гг. выполнялись измерения с помощью двухчастотных спутниковых приемников различных фирм: Leica Geosystems (Швейцария), Trimble и Topcon (Япония), но преимущественно использовались спутниковые приемники Trimble 5700 с высокочастотными антеннами Zephyr Geodetic и Trimble Microcentered L1/L2 Permanent.

Перед проведением измерений наблюдения планировались с учетом геометрии спутников, времени суток, продолжительности сессий и т. п.

Наиболее интересной и результативной была трехсуточная GPS-компания 2006 г. с использованием двух приемников Trimble 5700. При нахождении расстояния между пунктами 1 и 3 базиса было проведено три приема наблюдений продолжительностью в один час в разное время суток, а при измерении расстояния между пунктами 2 и 3 — один прием. Частота измерений составляла 5 с при маске

по углу возвышения 5°. Результаты GPS-наблюдений были обработаны с помощью ПО Trimble Geodetic Office (TGO). Дополнительно использовались программы GrafNav/GrafNet (NovAtel, Канада) и GAMIT (Массачусетский технологический институт, США).

Кроме того, в 2006 и 2007 гг. длины интервалов между пунктами Яворовского образцового базиса были измерены аттестованным прецизионным электронным тахеометром Trimble 5601 DR Standart, принадлежащим ГП «Укрметрестандарт». Результаты измерения длин между пунктами базиса различными средствами измерений частично приведены в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что применение спутниковых технологий позволяет оперативно проводить контроль длин интервалов между пунктами образцового линейного базиса НГП с точностью до 1 мм. Полученная точность соответствует требованиям, предъявляемым к точности измерения образцовых

Длины интервалов между пунктами образцового базиса (горизонтальных проекций), полученные различными средствами измерений

Таблица 1

Наименование интервала базиса	Наименование средства измерений и значения измеренных длин, м				Максимальная разница между результатами измерений, мм
	Метрологическая установка высокой точности (2003 г.)	GPS-измерения (2006 г.)	Электронный тахеометр Trimble 5601 DR 2006 г.	2007 г.	
1–2	4,9820	4,9821	4,9816	4,9820	0,6
2–3	5,5464	5,5462	5,5469	5,5462	0,7
3–4	4,5031	4,5029	4,5031	4,5029	0,2
4–5		1,0052	1,0046	1,0046	0,6
5–6		0,9984	0,9982	0,9984	0,2
6–7		0,9939	0,9943	0,9943	0,4
7–8		0,9960	0,9954	0,9960	0,6
8–9		1,0028	1,0036	1,0028	0,8
9–10		0,9956	0,9955	0,9955	0,1
10–11		1,0000	0,9993	0,9995	0,7
11–12		0,9984	0,9994	0,9991	1,0
12–13		1,0009	1,0002	1,0009	0,7
13–14		1,0085	1,0083	1,0084	0,2
14–15	104,6327	104,6324	104,6318	104,6318	0,9
15–16	110,3288	110,3290	110,3291	110,3288	0,3

базисов 2-го разряда — $1,5 \times 10^{-6}$. Кроме того, можно сделать и другой важный вывод о высокой стабильности во времени планового положения металлических трубчатых центров базиса.

▼ Создание эталонной геодезической сети для метрологического контроля спутниковых приемников

Методология метрологического обеспечения топографо-геодезических работ с использованием классических наземных технологий уточнялась длительное время и достигла совершенства, благодаря научно-обоснованным и многократно апробированным на практике разработкам. Для метрологической аттестации спутниковых приемников пока нет единых методик, закрепленных в нормативных документах [9, 10]. Поэтому создание и совершенствование эталонных геодезических сетей (полигонов, базисов) для метрологической аттестации и поверки геодезической спутниковой аппаратуры различного назначения и класса точности, а также разработка методик проведения метрологического контроля и обработки полученных результатов является актуальной научно-практической задачей, заслуживающей особого внимания.

На территории Украины используется спутниковое оборудование разных фирм: Leica Geosystems, Trimble, Sokkia (Япония), TOPCON, NovAtel, Magellan (США), ГП «ОРИЗОН-НАВИГАЦИЯ» (Украина) и другие. Спутниковые приемники каждой фирмы, как правило, имеют собственное программное обеспечение. Все спутниковые приемники (аппаратурная и программная часть) до начала эксплуатации проходят метрологическую аттестацию, а в процессе работы — периодическую проверку. В Украине только приемники производства фирм

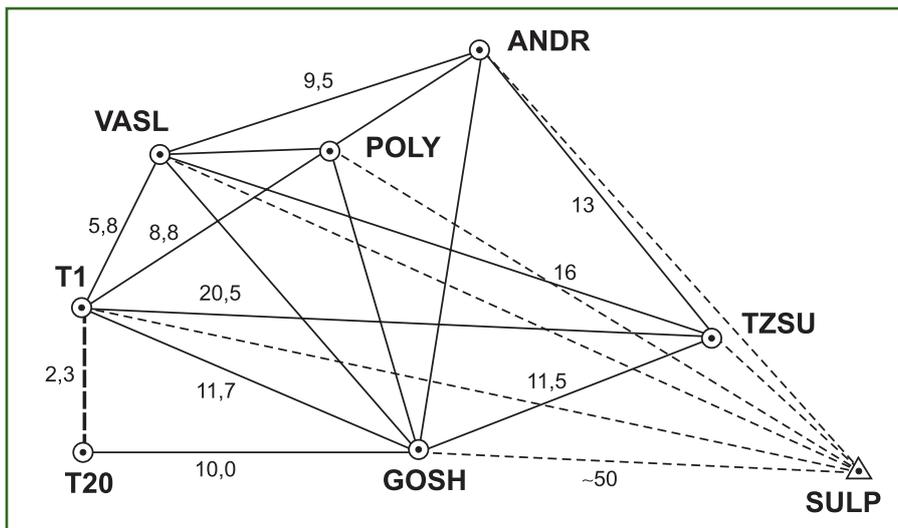


Рис. 3

Схема пунктов эталонной геодезической сети НГП (расстояния между пунктами приведены в км)

Trimble и Leica Geosystems частично освобождены от первичной метрологической аттестации, поскольку они внесены в государственный реестр средств измерительной техники, но их периодическая поверка остается обязательной.

В настоящее время метрологический контроль спутникового оборудования осуществляется в Киеве и Харькове, что недостаточно, учитывая большое количество техники, которая эксплуатируется в Украине. Поэтому в составе Яворовского НГП была создана эталонная геодезическая сеть фундаментальных пунктов (рис. 3) для проведения метрологической аттестации и поверки спутниковых приемников разных моделей. В 2001 г. было заложено пять фундаментальных геодезических пунктов в коренные породы на глубину до 4,5 м (ANDR, GOSH, TSZU, VASL, POLY). Позднее эталонная сеть была дополнена начальным (T1) и конечным (T20) пунктами образцового базиса. Кроме того, в эталонную геодезическую сеть НГП включена постоянно действующая базовая станция SULP (Львов).

Имея такую эталонную геодезическую сеть (полигон),

можно решать не только метрологические задачи, но и оценивать фактическую точность ГНСС-аппаратуры, что достаточно сложно осуществлять другими методами.

На пунктах эталонной геодезической сети, начиная с 2002 г., был проведен ряд экспериментальных GPS-компаний (непрерывные измерения в течение пяти и трех суток) в 2002, 2005–2008 гг. Для экспериментальных наблюдений преимущественно использовались спутниковые приемники Trimble 5700 с высокоточными антеннами. Например, в 2006 г. было задействовано девять двухчастотных приемников Trimble 5700. Измерения выполнялись с частотой сбора данных 15 с при маске по углу возвышения 15° . В период экспериментальных наблюдений на НГП работала временная метеостанция, на которой каждый час измерялись температура воздуха, влажность и атмосферное давление. На пунктах оформлялись детальные протоколы наблюдений. Результаты измерений формировались в суточные файлы. Обработка наблюдений осуществлялась в программе TGO. Кроме того, дополнительно

Разности пространственных координат пунктов эталонной геодезической сети между эпохами наблюдений с учетом скорости их измерения Таблица 2

Наименование пунктов	Разница в координатах (2006 – 2005), м		
	X	Y	Z
TZSU	0,0041	0,0020	0,0050
VASL	0,0011	0,0017	0,0037
ANDR	-0,0054	-0,0008	-0,0058
GOSH	0,0002	-0,0027	-0,0030

использовались программы GAMIT и GrafNav/GrafNet, а контроль привязки к Европейской земной референцной геодезической сети (EPN) осуществлялся с помощью ПО Bernese GPS v.5.0.

Анализ полученных результатов измерений позволяет сделать вывод о высокой точности определения пространственных координат пунктов эталонной геодезической сети, поскольку разница координат с учетом скорости их измерения не превышает 1 см. Фрагмент полученных результатов измерений приведен в табл. 2.

С помощью программы TGO результаты наблюдений можно обработать более качественно, чем с помощью ПО GrafNav/GrafNet. Однако последнее ПО обладает большей информативностью и дает возможность визуализации результатов измерений и отбраковки данных, которые не удовлетворяют поставленным высоким требованиям к параметру DOP, колебаниям фазы и коду и т. п.

Анализ результатов обработки многолетних спутниковых наблюдений на пунктах эталонной геодезической сети НГП позволяет с уверенностью утверждать следующее:

— пространственное положение фундаментальных пунктов стабильно;

— точность определения пространственных координат пунктов <1 см;

— эталонная геодезическая сеть НГП пригодна для метрологической аттестации и поверки спутниковых приемников с максимально возможной точностью.

Все это позволило специалистам ННЦ «Институт метрологии» признать эталонную геодезическую сеть научного геодезического полигона пригодной для метрологической аттестации и поверки спутниковых приемников.

В перспективе планируются дальнейшие исследования по разработке специализированной схемы для аттестации и поверки приемников ГНСС, которые используются для измерения пространственных координат на коротких и длинных базовых линиях.

▼ Список литературы

1. Тревого И.С., Савчук С.Г., Костецкая Я.М., Волчко П.И., Денисов А.Н., Глотов В.Н. Проблема построения и перспективы оптимального использования научного геодезического полигона // Вестник геодезии и картографии. — 2001. — № 3. — С. 35–41*.
2. Купко В., Прокопов А., Лукин И., Соболев В., Костенко А., Кофман А. Национальный эталонный линейный геодезический полигон // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2004. — С. 98–104.*
3. Тревого И., Савчук С., Денисов А., Волчко П. Новый образцовый геодезический базис // Вестник геодезии и картографии. — 2004. — № 1. — С. 12–16.*
4. Тревого И., Савчук С., Дени-

сов А., Дзулит П., Глотов В., Волчко П. Научный геодезический полигон для метрологической аттестации геодезических приборов и технологий // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2005. — С. 33–44.*

5. Тревого И.С., Савчук С.Г., Виват А.И., Виват О.Н. Создание метрологического полигона для аттестации GPS-приемников // Вестник геодезии и картографии. — 2006. — № 3. — С. 10–13.*

6. Тревого И., Виват А., Виват О. Применение сети фундаментальных пунктов научного геодезического полигона для метрологической аттестации и поверки приемников GNSS // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2007. — Вып. 1(13). — С. 64–71.*

7. Тревого И., Савчук С., Цюпак И., Денисов О., Волошин В. Эталонный геодезический полигон для метрологического контроля приемников спутниковых сигналов // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2008. — Вып. 1(15). — С. 55–61.*

8. Тревого И., Марченко О., Дзулит П., Савчук С., Волчко П. Локальное уточнение модели гравитационного поля НГП // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2003. — С. 32–39.*

9. Побединский Г.Г., Гусев Ю.С., Еруков С.В. Работы по созданию и эталонированию геодезического полигона для метрологической аттестации спутниковых приемников // Современные достижения геодезической науки и производства. — 2005. — С. 44–50.*

10. Гусев Ю.С., Гуринов А.Ю. Метрологическое обеспечение спутниковых приемников // Геопрофи. — 2006. — № 2. — С. 62–63.

RESUME

The structure and direction of application of special multifunctional geodetic polygon are considered. This polygon is aimed for solution of scientific — technical tasks including elaboration and approbation of new technologies and metrological control for modern devices of linear measurements.

* *Примечание.* Литература на украинском языке с резюме на русском и английском языках.