

УДК 528.22.551.24(075.8)

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПОВТОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОЛОЦКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ МИКРОПОЛИГОНЕ

**канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА,
канд. техн. наук, доц. С.К. ТОВБАС, А.Н. СОЛОВЬЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Исследование посвящено определению количественных характеристик современных движений земной коры на тектонических разломах в залесенной местности, когда геодезические построения проектируются в виде профиля, пересекающего сетку тектонических нарушений. Предлагается комплексная методика выполнения геодинамических исследований, которая позволяет получить максимально точную и надежную информацию о величинах тектонических движений на разломах.

При изучении локальных геодинамических явлений, например при исследовании современных движений земной коры по тектоническим разломам, возникает необходимость в создании проекта геодезических построений – профиля, пересекающего сетку разрывных нарушений. Многообразие тектонических движений на разломах (сдвиги, сбросы, надвиги, растяжение, сжатие) вызывает исследовательский интерес к данным не только вертикального, но и горизонтального перемещения. Параметры вертикальных движений земной коры традиционно определяют с помощью высокоточного повторного нивелирования. Сведения о горизонтальных деформациях на разломах можно получить путем высокоточных повторных линейных измерений с помощью светодальномеров или электронных тахеометров. Однако при прохождении геодинамического профиля по залесенной территории применяется оборудование пользователя Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

При организации геодинамических исследований в таких условиях необходимо учитывать, что величина исследуемых движений в пределах тектонических разломов в период, не связанный с сейсмическими событиями, будет составлять первые миллиметры. Поэтому методика постановки, выполнения геодезических измерений и их математической обработки должна быть направлена на получение максимально точной и надежной информации о деформациях тектонического происхождения. Это непростая задача, так как геодезические измерения фиксируют состояние земной поверхности в точке расположения геодезического центра на момент измерений. На это состояние могут влиять разные факторы: глубинные тектонические процессы, ответственные за медленные современные движения земной коры и вызывающие закономерные вековые колебания тектонических блоков или тектонических структур; сезонные колебания грунта; техногенное влияние; некоторые короткопериодические движения, также, возможно, имеющие тектоническое происхождение, но носящие, скорее, случайный характер.

Для получения необходимого результата методика исследований должна включать в себя:

- грамотное проектирование схемы контролирующих построений с учетом расположения тектонических нарушений и уже имеющихся исследований;
- выбор надежных, максимально устойчивых к влияниям нетектонического происхождения центров пунктов наблюдений (по возможности, снабженных устройствами для принудительного центрирования) и благоприятных условий для их закладки;
- применение геодезических приборов, методики измерений и математической обработки, позволяющих достичь необходимой точности.

Именно с такими проблемами мы столкнулись при организации геодезических работ на Полоцком геодинамическом микрополигоне (профиле) (рис. 1), который расположен в Полоцко-Курземском поясе тектонических разломов [1]. Исследуемый полигон входит в состав геофизического полигона Института природопользования Национальной академии наук Беларуси, его протяженность в меридиональном направлении составляет около 12 км. Фактически он занимает зону Полоцкого глубинного разлома и пересекает сеть разрывных нарушений, точное положение которых к началу постановки геодезических работ не было известно.

Организация исследований современных движений земной коры на микрополигоне выполнялась с учетом отмеченных особенностей. Профиль был запроектирован с учетом уже имеющихся геофизических исследований в этом районе. Цель его закладки – детальное исследование деформаций в зоне Полоцкого глубинного разлома. С самого начала работ на профиле нами предусматривалось получение максимально достоверной информации о движениях земной коры тектонического происхождения. Для этого был разработан специальный центр, устойчивый к сезонным колебаниям грунта при глубине промерзания до 1,5 м (рис. 2). Конструкция центра представляет собой металлическую трубу, диаметром 60 мм и длиной 3 м, сверху которой приварена чугунная марка с номером. Снизу металлическая труба заделана в бетонную плиту (якорь) размером 40×40×50 см. Начиная от якоря, она помещена в асбестоцементную трубу, диаметром 200 мм и длиной 2,5 м, заполненную бетонным раствором.

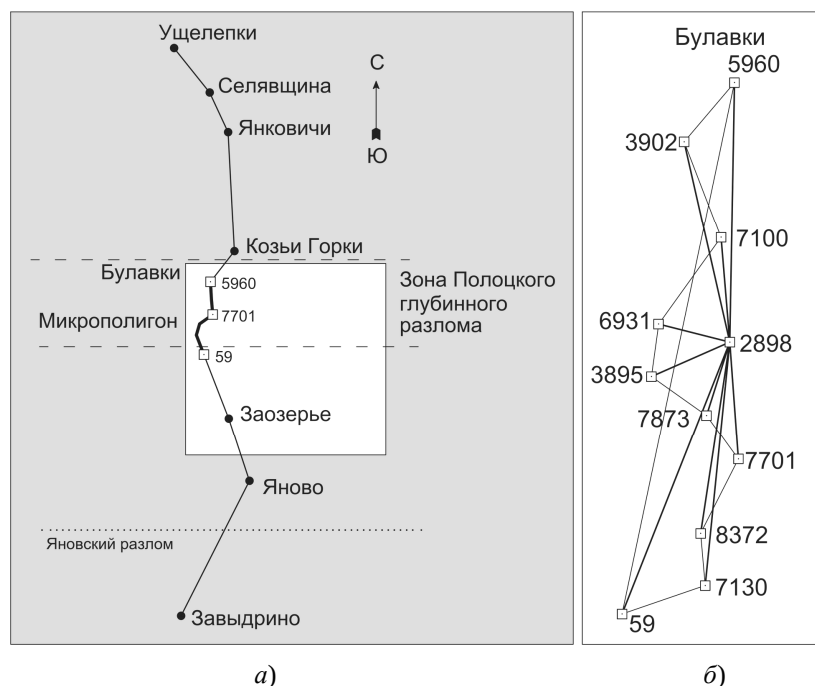


Рис. 1. Схема инструментальных исследований в Полоцко-Курземском поясе тектонических разломов:

a – положение Полоцкого геодинамического микрополигона на Полоцком геофизическом полигоне (грави- и магнитометрические измерения);

b – схема геодезических построений на микрополигоне:

59-7130-8372-7701-7873-3895-6931-7100-3902-5960-59 – ходовая линия спутниковых наблюдений (без замыкания на 59 – она совпадает с линией высокоточного нивелирования); 2898 – связующий пункт

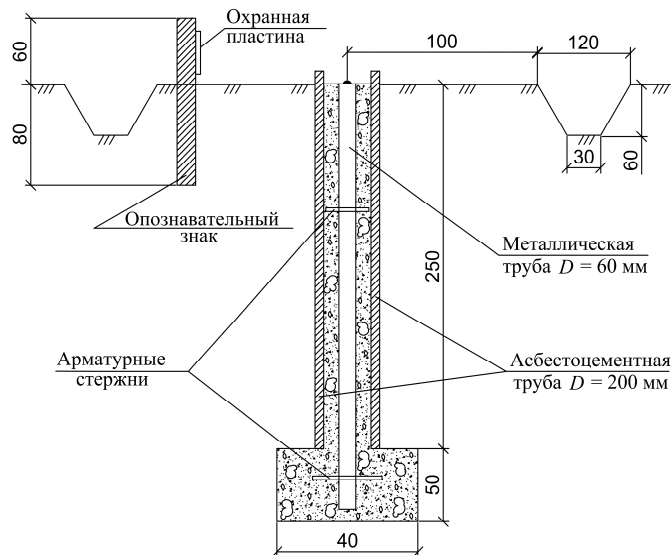


Рис. 2. Центр репера, используемый на Полоцком микрополигоне

Предложенная конструкция центра репера максимально защищает его от влияния сезонных колебаний грунта, так как бетон и асбестоцемент плохо контактируют друг с другом и обоснованно следует ожидать, что при движении грунта вместе с ним в первую очередь будет двигаться асбестоцементная труба, а не основной трубчатый центр репера. В дальнейшем это подтвердилось на практике. Кроме того, при закладке центров реперов были взяты пробы грунта на различных горизонтах, описание которых составлено С.М. Чураковым. Анализ проб показал, что состав грунта на реперах однородный с преобладанием тонкозернистого полевошпатового песка.

При нивелировании использовался электронный нивелир фирмы Trimble DiNi 03 ($m_h = 0,3$ мм/км). Геодезические наблюдения выполнялись ежегодно во второй половине сентября. Для условий Беларуси

это наиболее благоприятное время проведения высокоточного нивелирования. До начала измерений нивелир выдерживался на штативе в течение 30...40 мин для принятия температуры окружающего воздуха. Затем определялся угол i , и его значения вводились в память прибора. Нивелирование выполнялось в прямом и обратном направлении, по одной паре костылей, при двух горизонтах на каждой станции.

Допуск на расхождение превышения на станции между горизонтами равен 0,2 мм, по секции прямо и обратно – $1,5 \text{ мм} \sqrt{L}$, км. Длина визирного луча должна быть не более 40 и не менее 15 м; неравенство расстояний от нивелира до реек (разность плеч) допускается не более 0,3 м, накопление разностей плеч по секции – не более 0,8 м. Высота визирного луча – не менее 0,8 м. Значение угла i не должно превышать 10 с. Среднеквадратическая ошибка нивелирования – не хуже 0,3 мм/км.

Шестилетний опыт применения электронного нивелира указанного класса на Полоцком профиле показал, что тщательное соблюдение требований производства высокоточного нивелирования в комплексе с правильным выбором трассы и атмосферных условий делают возможным уверенное достижение необходимой точности нивелирных работ, невзирая на отсутствие двух пар костылей (левая и правая нивелировки) согласно Инструкции по нивелированию.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕВЫХ И КАМЕРАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ КОРОТКИХ ЛИНИЙ НА ПОЛОЦКОМ ПРОФИЛЕ Результаты и оценка эффективности

Методика высокоточных измерений коротких линий с применением ГНСС-приемников, разработанная нами специально для Полоцкого микрополигона, содержит два основных вопроса: 1) определение приборной точности оборудования; 2) непосредственные измерения на пунктах геодинимического профиля.

Для производства измерений в каждую эпоху применялся комплект из трех двухчастотных спутниковых приемников: один R8 и два R7 фирмы Trimble. Приборная точность спутникового оборудования определялась до начала основных наблюдений путем сравнения результатов измерений длин линий и превышений, выполненных спутниковыми и классическими методами на специальном эталонном полигоне, состоящем из прямоугольного треугольника с катетами длиной порядка 10 м. Она характеризуется величиной не хуже 2 мм.

Измерения линий на профиле в каждую эпоху выполнялись двумя независимыми циклами наблюдений по схеме, показанной на рисунке 1, б. Она примечательна тем, что одна технология производства полевых работ позволяет реализовать несколько схем геометрических построений спутниковых сетей, рекомендуемых в геодезической литературе [2]:

- по ходовой линии 59-7130-8372-7701-7873-3895-6931-7100-3902-5960-59 построить замкнутый полигон из независимых векторов;
- реализовать лучевую схему развития сети из независимых векторов относительно пункта 2898;
- рассматривать сеть как совокупность смежных измерительных модулей, представляющих собой треугольники с одним зависимым вектором, когда для каждого из треугольников характерны свойственные только ему систематические погрешности (смежные измерительные модули 2898-7130-59, 2898-7130-8372 и т.д. по цепи треугольников).

Цикл ГНСС наблюдений на профиле предполагает следующую **технологию полевых работ**:

1) пункт 2898 – связующий для всех треугольников сети (измерительных модулей), на котором в течение всего цикла работает один и тот же приемник с переселением антенны на нем при переходе от модуля к модулю. Остальные два спутниковых приемника последовательно устанавливаются на пунктах вершин треугольников, образуемых с пунктом 2898, и перемещаются так, чтобы все векторы ходовой линии были измерены однократно (см. рис. 1, б, тонкие линии), а в лучевой схеме – двукратно (см. рис. 1, б, утолщенные линии). Цикл наблюдений заканчивается после завершения измерений всех векторов ходовой линии, включая замыкающий вектор 59-5960;

2) в каждой расстановке антенны должны быть отцентрированы вновь, даже если приемник не перемещался с пункта. Точность центрирования фазовых центров антенн должна быть не хуже 0,5 мм, а точность определения высот этих центров над центрами пунктов – не ниже 1 мм;

3) измерения в каждой расстановке производят двухчасовыми сеансами;

4) второй цикл измерений в эпохе выполняется по идентичной схеме. При этом время наблюдений между одноименными расстановками каждого из двух циклов измерений должно отличаться не менее чем на 24 ч;

5) по окончании полевых работ производят предварительную обработку и отбраковку результатов измерений в программном продукте фирмы-изготовителя с последующим уравниванием отдельно каждого цикла. Расхождения наклонных дальностей по ходовой линии в двух циклах не должны превышать величины $2,5 \sqrt{2} m$, где m – приборная точность, полученная по результатам проведенного ранее исследования. При превышении допуска следует повторить измерения в расстановках, где есть линии, не прошедшие допуск. За окончательное значение длины линии (наклонной дальности) принимают среднее из значений в циклах, прошедших допуск.

Измерения с использованием ГНСС на Полоцком геодинамическом профиле выполнялись в 2004 и в 2008 – 2011 годах. В 2004 году работы производили специалисты Республиканского унитарного предприятия аэрокосмических методов в геодезии «Белэрокосмогеодезия» по методике, принятой в предприятии; четыре последних года – специалисты Полоцкого государственного университета. В 2004 году выполнен один цикл измерений. В 2008 году в связи с вводом оборудования в эксплуатацию – также один цикл, а в последующие годы по два цикла, т.е. по изложенной выше методике.

Уравнивание результатов измерений осуществлено в программных продуктах фирм-изготовителей [3]. Результаты линейных ГНСС-измерений по циклам 2009 – 2011 годов приведены в таблице.

Результаты линейных ГНСС-измерений по циклам 2009 – 2011 годов

Линия	Наклонные дальности*, м			Разность между двумя циклами по эпохам, d, мм		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
59 – 7130	1199,0114/0149	1199,0252/0218	1199,0225/0192	–3,5	–3,4	–3,3
7130 – 8372	853,8247/8216	853,8206/8185	853,8195/8207	–3,1	–2,1	1,2
8372 – 7701	1723,5438/5446	1723,5430/5432	1723,5443/5459	0,8	0,2	1,6
7701 – 7873	671,2818/2846	671,2862/2854	671,2819/2810	2,8	–0,8	–0,9
7873 – 3895	481,9908/9908	481,9876/9890	481,9906/9914	0	1,4	0,8
3895 – 6931	373,4547/4503	373,4501/4510	373,4535/4523	4,4	0,9	–1,2
6931 – 7100	1922,5756/5768	1922,5674/5685	1922,5659/5652	1,2	1,1	–0,7
7100 – 3902	1905,1620/1549	1905,1608/1552	1922,1593/1570	–7,1	–5,6	–2,3
3902 – 5960	1311,4852/4892	1311,4940/4931	1311,4933/4943	4,0	–0,9	1,0
5960 – 59	9633,7323/7315	9633,7386/7336	9633,7345/7341	–1,2	–5,0	–0,4
Среднеквадратическая погрешность, мм				2,3	2,0	1,1
*В числителе приведены значения наклонных дальностей по циклу 1; в знаменателе – по циклу 2 (для цикла 2 приведены только цифры после целого числа).						

Как видно из таблицы, критерий $2,5\sqrt{2}m_{np}$, который при $m_{np} = 2$ мм равен 7,1 мм, для двух циклов каждой эпохи выполнен по всем линиям. Оценка точности результатов линейных измерений получена по формуле разностей двойных измерений $m = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$, где m – среднеквадратическая погрешность измерения; d – разность между двумя циклами измерений линии в эпоху; n – число линий.

Среднеквадратические погрешности измерений линий в каждую эпоху находятся на уровне приборной точности ошибки. Это в совокупности с выполнением критерия $2,5\sqrt{2}m_{np}$ свидетельствует о достижении нами в процессе полевых измерений точностей, равных приборной.

Заключение. Поскольку достижение высокой точности – основная характеристика эффективности измерений, изложенное выше свидетельствует в пользу выбранной нами методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полоцко-Курземский пояс разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Докл. НАН Беларуси, 2002. – Т. 46, № 6. – С. 85 – 89.
2. Генике, А.А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – М.: Картгеоцентр, 2004. – 355 с.
3. Программное обеспечение Trimble Business Center 1.0 для GPS-систем.

Поступила 19.06.2013

METHOD OF CARRYING OUT HIGH-PRECISION REPEATED GEODESIC MEASUREMENTS ON POLOTSK GEODYNAMIC MICROPROVING GROUND

G. SHAROGLAZOVA, S. TOVBAS, A. SOLOVYOV

The article is devoted to the definition of quantitative characteristics of modern earth crust movements on tectonic breaks in the forest covered district when geodetic constructions are projected in the form of a profile crossing a grid of tectonic infringements. The complex technique of performance of the geodynamic researches, leading to reception as much as possible exact and a solid data about sizes of tectonic movements on breaks is offered.