

зуальным отсчитыванием и отдельно для метрических реек [3]. Применительно к поверке системы «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка» эти схемы применять невозможно. В связи с этим для обеспечения такой поверки нами предлагается схема ЛПС (рис. 3), в которой учтены особенности выполнения измерений системой «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка». Предлагаемая схема содержит две поверочные ветви.

Первой из этих ветвей производится поверка только высокоточной (РСИ) системы «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка», а другой ветвью — высокоточные, точные и технические РСИ. При этом в качестве рабо-

чего эталона 1-го разряда может служить высокоточный оптический нивелир с визуальным отсчитыванием (типа Н05) или высокоточная система «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Травкин С.В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер// Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». –2006. –№ 3. –С. 97–100.
2. Уставич Г.А. Исследование цифровых нивелиров и реек [Текст]/ Г.А. Уставич, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников, М.Е. Рахымбердина // Геодезия и картография. –2011. –№4. –С. 9–15.
3. Спиридонов А.И. Основы геодезической метрологии. –М. Картогеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 247 с.

*Принята к печати 26 июня 2013 г.  
Рекомендована кафедрой геодезии МИИГАиК*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР+ШТРИХ-КОДОВАЯ РЕЙКА»

Кандидат техн.наук **Н.Х. Голыгин**, кандидат техн.наук **Ю.Е. Федосеев**,  
аспирант **П.А. Черепанов**

*Московский государственный университет геодезии и картографии  
metlab@miigaik.ru*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы, связанные с метрологическим обеспечением измерительных систем «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка» и методикой выполнения высокоточного геометрического нивелирования с их помощью.

**Ключевые слова:** поверка, калибровка, поверочная установка МИИГАиК УМК-М, цифровой нивелир, штрих-кодвая рейка, нивелирование I и II классов

**Abstract.** The questions connected with metrological maintenance of measuring systems «digital level+barcode staff» and technique of execution of high-precision geometric leveling with their help are considered.

**Keywords:** verification and calibration, calibration setting MIIGAik UMC-M, digital product, barcode staff, leveling classes I and II

Быстрое развитие современных оптико-электронных приборов, как правило, многофункциональных, с элементами автоматизации, как измерений, так и обработки результатов, более подверженных влиянию внешних условий и старению отдельных элементов, требует проведения тщательных их исследований с целью повышения точности измерений. Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям точности измерений измерительной системой (ИС) «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка», а также разработке методов высокоточного геометрического нивелирования с использованием современных измерительных систем.

В связи с поставленной задачей, очевидно, резко возрастает трудоемкость процесса по-

верки средств измерений (СИ), на первый план выступают их калибровка в заявленных диапазонах измерений и выявление внутришаговых (короткопериодических) детерминированных неопределенностей измерений, что требует больших материальных затрат и времени.

На российском рынке находится широкая гамма моделей цифровых нивелиров иностранного производства, отечественными потребителями приобретены уже десятки тысяч таких приборов. Однако в настоящее время отсутствуют нормативные документы, позволяющие выполнять высокоточные классы нивелирования указанными выше приборами. Проблема состоит в том, что при работе на станции здесь отсутствуют известные геодезистам из оптического нивелирования контроли

геометрических условий, позволяющие выявлять появление грубых ошибок, а также не известно влияние отклонений температуры на точность полевых измерений.

При использовании цифровых нивелиров неопределенность измерений зависит от неопределенностей штрих-кодовой рейки, которые необходимо учитывать при обработке результатов измерений [1]. Кроме того, результаты многочисленных исследований СИ разных моделей, выполненные в метрологической лаборатории МИИГАиК, показывают, что при использовании одного и того же нивелира с разными рейками неопределенность измерения будет разная, а заложенные в действующей инструкции по нивелированию требования к контролю метровых и дециметровых интервалов рейки в данном случае теряют смысл, так как считывание штрих-кода производится с участка рейки, который составляет не менее 300 мм [2, 3].

Исследования неопределенности измерений из-за отклонений внешних условий были выполнены при установившихся температурах в термоконстантном помещении в преде-

лах  $17 \pm 28^\circ\text{C}$  на поверочной установке УМК-М МИИГАиК (№32334-06 в Государственном реестре средств измерений) [4, 5]. Перед измерениями задаваемая в термоконстантном помещении температура воздуха выдерживалась не менее шести часов, температура материала рейки контролировалась тремя температурными датчиками эталонного лазерного интерферометра НР5528А, расположенными непосредственно на корпусе рейки. При каждой из задаваемых температур были выполнены по три полных приема измерений (в прямом и обратном ходе). Расстояние от прибора до рейки равнялось 23,8 м. Результаты исследований приведены на рис. 1 ( $\Delta$  — неопределенность,  $h$  — измеряемое превышение). Максимальная средняя квадратическая неопределенность (СКН) измерений между приемами наблюдалась на расстоянии 1,3 м от пятки рейки и составила 24 мкм (при температуре  $17^\circ\text{C}$ ), 38 мкм (при температуре  $28^\circ\text{C}$ ) и 51 мкм (при температурах  $20$  и  $24^\circ\text{C}$ ). При измерениях имелись отдельные детерминированные отклонения неопределенности порядка  $\pm 0,35$  мм. Указанные отклонения являются недопустимы-

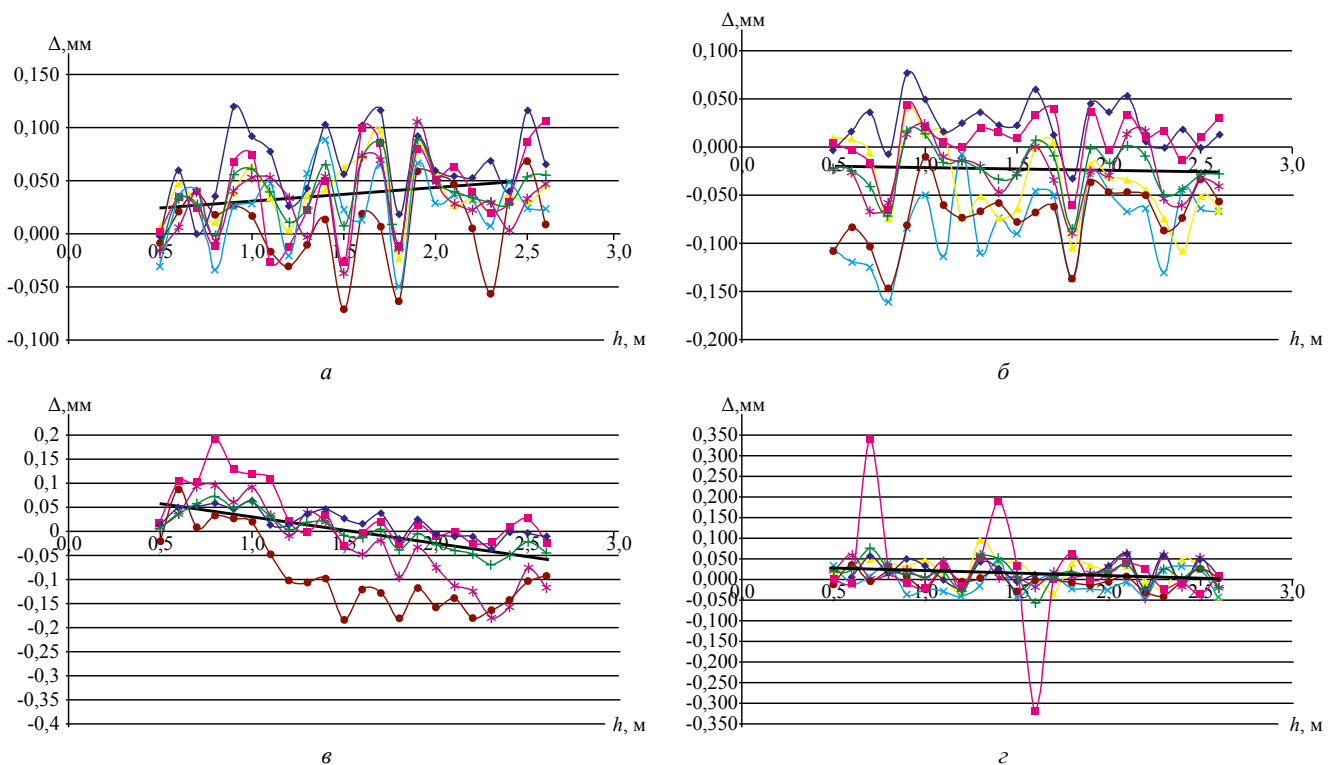
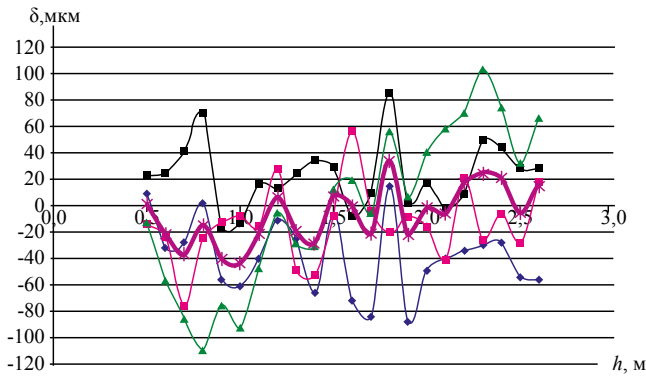


Рис. 1. Результаты измерений при температуре:

$a$  —  $17^\circ\text{C}$ ;  $b$  —  $20^\circ\text{C}$ ;  $v$  —  $24^\circ\text{C}$ ;  $z$  —  $28^\circ\text{C}$ ;

▲ — пп 1.1; × — пп 1.2; \* — пп 2.1; ● — пп 2.2; ◆ — пп 3.1; ■ — пп 3.2; + — сп;  
 — линейная (сп)



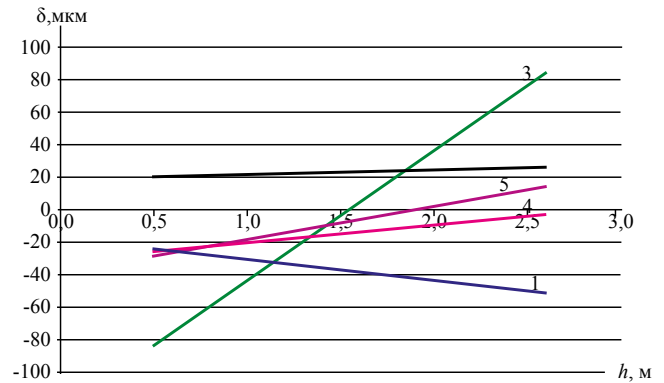
**Рис. 2. Средние значения поправок из трех приемов при температурах:**  
 — 16°C; — 24°C; — 20°C;  
 — 28°C; \* — всех t°C

ми при нивелировании I класса точности, могут быть выявлены только по результатам калибровки и впоследствии учтены в виде поправок.

На рис. 2 и 3 показаны средние арифметические значения поправок, полученные при разных температурах, и соответствующие им линии регрессии ( $\delta$  — поправка в результаты полевых измерений). Из графиков видно, что при отклонениях температуры наклоны линий регрессии изменялись непропорционально увеличению температуры, что скорее всего связано не только с температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), но также с деформациями корпуса рейки и креплением самой инварной штрих-кодовой шкалы.

На рис. 4 приведен суммарный график изменения поправок при расстоянии от нивелира до рейки 23,8 м, из которого видно, что отдельные отклонения неопределенности в целом не влияют на суммарную неопределенность в диапазоне измерения, при условии калибровки СИ с интервалом 100 мм неопределенность измерения при отклонениях в исследуемом интервале температур может быть уменьшена до  $\pm 40$  мкм.

Для отбраковки отдельных значимых отклонений и учета влияния температурных отклонений, влияющих на изменение длины штрих-кодовой рейки, разработана технология, позволяющая выполнять контроль измерений в полевых условиях. Суть предлагаемой технологии измерений на станции заключается в том, что в измерительной системе «цифровой нивелир+две штрих-кодовые рейки», имеющей на каждой рейке по две пятки, располо-

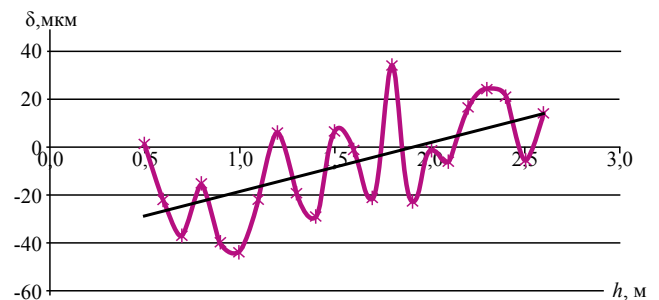


**Рис. 3. Линии регрессии поправок при температурах:**

— 16°C; — 20°C; — 24°C;  
 — 28°C; — при всех t°C

женные на противоположных концах рейки, при калибровке нивелирных реек совместно с цифровым нивелиром, имеющим функцию «invers», определяют размеры между пятками реек (длины реек)  $L_k$  при их горизонтальном и вертикальном расположении [4–6]. В процессе нивелирования на каждой станции каждую рейку устанавливают поочередно пятками на свою подреечную точку, закрепленную колышком или иным образом. Например, первое положение — традиционное, второе — рейки одновременно повернуты в вертикальной плоскости на  $180^\circ$ . При вычислениях определяются длины реек в полевых условиях и сравниваются с длинами, полученными при их калибровке. Полученные разности длин учитывают в виде поправок за отклонение температуры при вычислении превышений на станции, при этом равенство нулю полученных превышений при двух положениях реек служит контролем точности измерений на станции.

Предлагаемая технология используется по следующей циклограмме [6].



**Рис. 4. Поправки при колебаниях температуры от 17 до 28°C:**

\* — среднее арифметическое; — линейная

1. Предварительно выполняется метрологическое обеспечение работ, при этом проверяется стандартный цифровой нивелир, обладающий функцией «invers», и калибруется ИС с двумя рейками, каждая штрих-кодированная имеет по две пятки, определяется калиброванное расстояние  $L_k$  между пятками, при этом вторая пятка укреплена в верхней части рейки, так же как стандартная пятка, связана с инварной шкалой.

2. Нивелир по стандартной методике устанавливается в середине секции между двумя парами реперных точек, горизонтируется, а на подреечные (реперные) точки секции устанавливаются штрих-кодированные рейки и берутся отсчеты:  $a$  — по задней рейке и  $b$  — по передней рейке, вычисляется значение превышения по формуле  $h = a - b$ .

3. Переворачиваются обе штрих-кодированные рейки на  $180^\circ$  и устанавливаются на те же реперные точки, включается функция «invers», позволяющая отсчитывать от стандартной пятки, но не снизу вверх от репера, а наоборот, сверху вниз от верхней точки рейки, и берутся отсчеты по каждой паре штрих-кодированных реек:  $a^*$  — по задним рейкам и  $b^*$  — по передним рейкам.

4. В результате получаются отсчеты по задним  $L_{зад}$  и передним  $L_{пер}$  рейкам:

$$L_{зад} = a + a^*; L_{пер} = b + b^*.$$

Таким образом в полевых условиях определяют длины задней и передней реек  $L_{изм}$  (измеренные) при фактической интегральной температуре инвара.

5. Разность  $\Delta L_t = L_{изм} - L_k$  есть не что иное, как изменение длины каждой рейки под действием температуры. Поправки в отсчеты за температуру:

$$\Delta a = (\Delta L_{зад} / L_k) a; \quad \Delta b = (\Delta L_{зад} / L_k) b;$$

$$\Delta a^* = (\Delta L_{зад} / L_k) a^*; \quad \Delta b^* = (\Delta L_{зад} / L_k) b^*.$$

Величина превышения  $h^* = a^* - b^*$  есть не что иное, как значение превышения  $h = a - b$ , но с обратным знаком, при этом  $h^* + h$  должно стремиться к нулю, что и является дополнительным условием для контроля точности измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голыгин Н.Х., Шаимкулов Д.А. Исследование внутришаговой короткой периодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2003. – №5. – С. 106–111.
2. Голыгин Н.Х., Лазуткин А.М., Пегливанян Г.Г. Исследование погрешности измерений цифровых нивелиров DiNi03 и DiNi12 с инварными штрих-кодированными рейками // Приборы, 2009. – №4. – С. 52–56.
3. Голыгин Н.Х., Ковалев С.В., Лебедев С.В., Пегливанян Г.Г., Федосеев Ю.Е. Проверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодированных реек // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2009. – №2. – С. 93–97.
4. Патент РФ №2419070. – МПК G01C 5/00. Стенд для проверки и калибровки цифровых нивелиров и штрих-кодированных реек. Голыгин Н.Х.
5. Патент РФ №2419766. – МПК G01C 5/00. Стенд для проверки и калибровки цифровых нивелиров и штрих-кодированных реек. Голыгин Н.Х., Черепанов П.А.
6. Заявка на патент РФ №2013127789/28 – МПК G01C 7/00. Способ высокоточного геометрического нивелирования. Голыгин Н.Х., Федосеев Ю.Е., Еременко И.Б.

Принята к печати 20 июня 2013 г.  
Рекомендована кафедрой проектирования  
оптических приборов МИИГАиК

## СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК

Аспирант А.Л. Фялковский

Московский государственный университет геодезии и картографии  
a.fialkovskii@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается использование спутникового приёмника, движущегося под воздействием деформаций, в качестве опорного пункта. Обосновывается применение метода эквивалентной замены для повышения точности полигонометрических ходов, опирающихся на пункты спутниковой сети.  
**Ключевые слова:** комбинированные сети, деформации, GPS, полигонометрия

**Abstract.** A satellite receiver, moving under the influence of deformations, is considered as a reference point. The method of equivalent substitution is proved to be useful to improve the accuracy of polygon traverses, based on points of a satellite network.

**Keywords:** combined network, deformation, GPS, polygonometry