

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Абалаков Б.В., Резников Б.И.* Монтаж турбоагрегатов и синхронных компенсаторов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1983. – 296 с., ил.

2. *Сальников В.Г.* Технология геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата мощностью 420 МВт / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГТА, 2013. Т. 1. – С. 18–24.

3. *Сальников В.Г.* Геодезические работы при возведении градирен большой высоты / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГТА, 2012. Т. 1. – С. 72–77.

4. *Сальников В.Г.* Современная методика выноса главных осей турбоагрегата // Вестник СГТА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 27–33.

5. *Несущие и ограждающие конструкции:* СНиП 3.03.01-87. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 90 с.

6. *Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций* / Г.Г. Китаев и др. / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГТА, 2014. Т. 1. – С. 7–13.

7. *Уставич Г.А.* и др. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2013. – № 6. – С. 8–13.

*Принята к печати 16 июня 2014 г.*

*Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГТА*

**СХЕМА ПОЛЕВОГО ВЫСОТНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОВЕРКИ СИСТЕМЫ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР – ШТРИХ-КОДОВЫЕ РЕЙКИ»**

Профессор, доктор техн. наук **Г.А. Уставич**, аспирант **В.Г. Сальников**, кандидат техн. наук **Н.М. Рябова**

*Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск  
salnikov\_valera@mail.ru; ryabovanadezhda@mail.ru*

**Аннотация.** При транспортировке и дальнейшей эксплуатации геодезических приборов довольно часто возникают случайные механические удары. В связи с этим появляется необходимость в проведении внеочередной метрологической поверки. Рассмотрены поверяемые характеристики цифровых нивелиров в условиях промплощадки. Представлены схемы полевых высотных стендов, позволяющие проводить внеплановую метрологическую поверку цифровых нивелиров в условиях положительных и отрицательных температур, а также проверить работоспособность этих нивелиров в полевых условиях. **Ключевые слова:** метрологическая поверка цифровых нивелиров, полевой высотный стенд, микрометрический винт

**Abstract.** During transport and further exploitation of geodetic instruments often arise random mechanical shocks. In this regard, there is a need for extraordinary metrological verification devices. The article describes the main characteristics of verifiable leveling in a production site. The schemes of the field of tall stands that allow for unscheduled metrological verification of geodetic instruments in terms of positive and negative temperatures, as well as mobile test the precision and technical leveling in the field.

**Keywords:** metrological certification of digital level, the field of tall stands, micrometry screw

Для определения технических характеристик и работоспособности системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» необходимо периодически проводить ее поверку. Эта поверка осуществляется в специализированной метрологической лаборатории с применением горизонтального или вертикального компараторов [1]. В настоящее время в России такие специализированные метрологические лаборатории по проведению вышеуказанных исследований имеются только в нескольких организациях. Для организаций из удаленных районов России такая ежегодная метрологическая поверка является дорогостоящим мероприятием. Необходимо отметить, что при выполнении

нивелирования или при транспортировке цифрового нивелира могут иметь место случайные механические воздействия, приводящие к нарушению юстировки его электронной системы. В таких случаях необходимо выполнить внеочередную технологическую поверку системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки». Кроме того, метрологическая поверка в лабораторных условиях производится при температуре, близкой к 20°C, и при благоприятных внешних условиях. Вместе с тем, в производственных условиях нивелирование часто выполняется при минусовых температурах, а также в условиях влияния вибрации (на промплощадке). В связи с этим возникает необходи-

мость в проведении технологических проверок в производственных условиях и при разных температурных режимах. Применительно к оптическим нивелирам и штриховым (шашечным) рейкам проведение таких проверок не вызывает особых затруднений. Для выполнения технологической проверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» в полевых условиях применять стационарные компараторы практически невозможно. Поэтому для проведения таких проверок в полевых условиях предлагаются соответствующие методики [2–4].

Во время строительства любого крупного промышленного объекта на промплощадке, как правило, работают несколько подрядных организаций. Так, например, в строительстве Няганской ГРЭС участвуют около 12 сторонних организаций, в составе которых имеются геодезические подразделения. Каждая организация располагает своим «парком» геодезических приборов, включая и цифровые нивелиры. В связи с этим для проведения технологических проверок системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» предлагается создавать на промплощадке эталонные высотные стенды. При наличии этих стендов имеется возможность после транспортировки цифрового нивелира, резкого изменения температуры воздуха, случайного механического удара и т.д. выполнить указанную проверку с определением значения угла  $i$ , средней квадратической ошибки измерений превышения на станции и масштаба изображения штрих-кодовой рейки.

Высотный стенд может располагаться в помещении или в удобном месте непосредственно на промплощадке.

При сооружении высотного стенда в помещении на противоположных стенах, на кронштейнах  $I$  (рис. 1) стационарно закрепляются рейки  $P_1$  и  $P_2$ , а на равном расстоянии от них также стационарно устанавливается тумба  $T_1$ . Другая стационарная тумба  $T_2$  устанавливается на расстоянии 4–5 м от одной из реек; в нашем случае она установлена возле рейки  $P_1$ .

Измерения выполняются в следующей последовательности. На тумбе  $T_1$  устанавливается нивелир и после приведения его в рабочее положение 3–4 раза выполняется измерение превышения между рейками  $P_1$  и  $P_2$ .

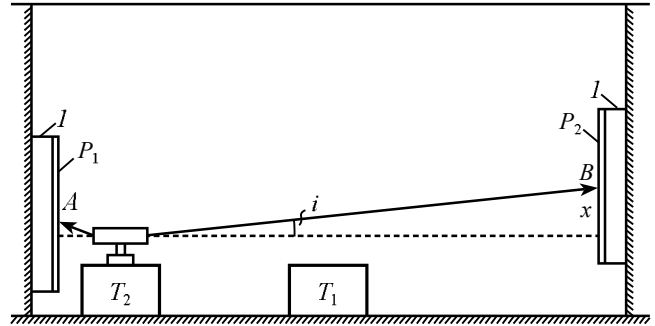


Рис. 1. Высотный стенд в лабораторных условиях

Полученное превышение принимается за истинное (эталонное). Затем нивелир переносится и устанавливается на тумбе  $T_2$  и после приведения его в рабочее положение снова измеряются превышения между этими рейками. После этого вычисляется величина  $x$  (угла  $i$ ) и производится его исправление.

Если рейки  $P_1$  и  $P_2$  закреплены качественно, то превышение между ними не изменяется в течение сравнительно длительного промежутка времени. В связи с этим превышение принимается за истинное в течение двух–трех месяцев, после которых производится повторное (контрольное) его определение с тумбы  $T_1$ . Поэтому при проведении проверок в этот промежуток времени поверяемый нивелир не устанавливается на тумбу  $T_1$ , а сразу устанавливается на тумбу  $T_2$ , с которой производится измерение эталонного превышения и сравнение его с истинным. После этого, при необходимости, в лабораторных условиях производится юстировка главного условия.

Простейший высотный полевой стенд представляет собой два репера, заложенных на расстоянии 60–70 м друг от друга. Определение угла  $i$  производится по схеме, приведенной на рис. 2.

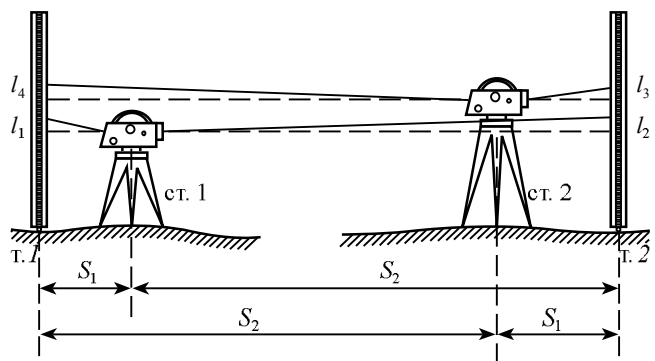


Рис. 2. Схема полевого высотного стенда

Значение угла  $i$  вычисляется в по формуле

$$i = \frac{(l_3 - l_4) - (l_1 - l_2)}{2(S_2 - S_1)} \rho, \quad (1)$$

где  $S_1$  — расстояние между ст. 1 и точкой  $I$ ;  $S_2$  — расстояние между ст. 2 и точкой  $I$ ;  $\rho$  — мера одного радиана в угловых секундах (206 265");  $l_1, l_2, l_3, l_4$  — отчеты по рейкам.



Рис. 3. Марка М02 полевого высотного станда

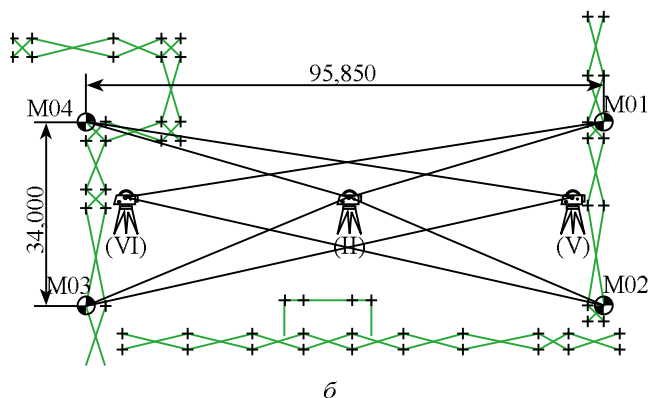
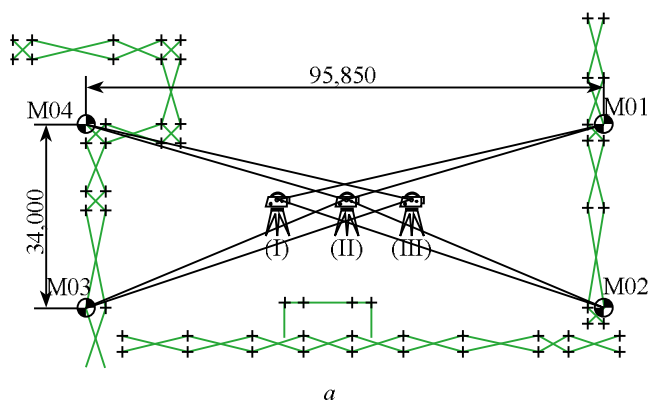


Рис. 4. Схема полевого станда на промплощадке: а — станции I, II и III; б — станции IV и V

Для определения средней квадратической ошибки измерения превышения на станции в летний период разработана схема полевого высотного станда. Местоположение полевого станда было выбрано на промплощадке между двумя зданиями, осадка которых практически стабилизировалась в первый год наблюдения. Полевой высотный станд имеет форму прямоугольника со сторонами 34 и 95 м. Вершины прямоугольника опираются на эстакады технологических трубопроводов. В качестве реперов используются установленные на металлоконструкции осадочные марки М01, М02, М03 и М04 (рис. 3).

Установка осадочных марок на эстакады придает им надежную конструкцию за счет использования свайных фундаментов при их возведении. Заложённые под каждую колонну две пары свай придают прочность колоннам и обеспечивают их долговременное стабильное положение.

В центре полевого станда расположены пять неподвижных станций. В качестве неподвижных станций использовались штативы с подвешенным грузом 5 кг (для обеспечения устойчивости). Станция II (рис. 4, а) располагается в центре полевого станда, станции I и III — на продольной оси на расстоянии 10 м по обе стороны от станции II. Станции IV и V (рис. 4, б) располагаются на расстоянии 50 м по обе стороны от станции II.

Методика измерений на полевом станде аналогична методике измерений для оптических нивелиров [5]. Невязка вычисляется по формуле

$$f_{\text{доп}} = \pm 0,30\sqrt{n}, \quad (2)$$

где  $n$  — количество нивелирных станций.

Общая длина нивелирного хода составляет до 1 км.

Средняя квадратическая ошибка измерений превышений на станции на 1 км двойного хода вычисляется по следующей формуле:

$$\bar{m}_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (f_{\text{пр.}j}^2 + f_{\text{обр.}j}^2)}{4n}}, \quad (3)$$

где  $f_{\text{пр.}j}^2, f_{\text{обр.}j}^2$  — невязки в прямом и обратном направлении  $j$ -го двойного хода;  $n$  — число двойных ходов.

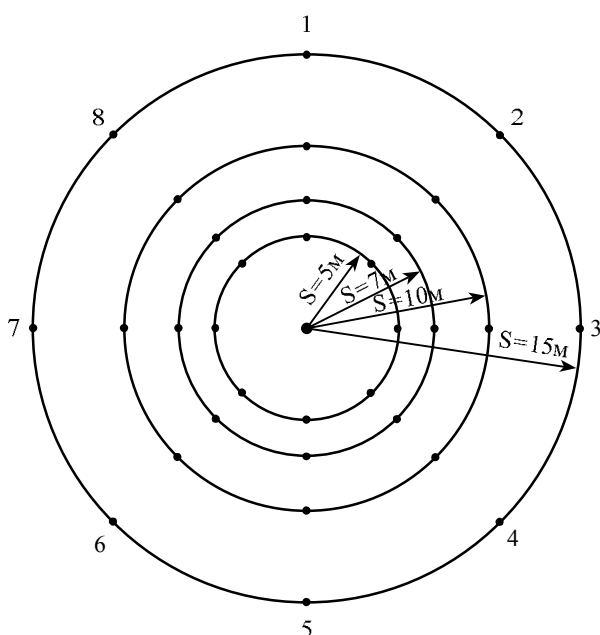


Рис. 5. Схема полевого высотного стенда внутри здания

Строительно-монтажные работы ведутся круглогодично, однако, представленный полевой стенд (см. рис. 3, 4) в зимний период (продолжительность которого составляет шесть месяцев) использовать не представляется возможным. В связи с этим нами был разработан полевой высотный стенд внутри здания складского помещения с бетонными полами.

Полевой высотный стенд в диаметре составляет 30 м. Сущность измерений по предлагаемой схеме (рис. 5) заключается в том, что все измерения превышений высокоточным или техническим нивелирами выполняются с одной точки, установленной в центре бетонной площадки. Перед измерением каждого превышения подъемными винтами нивелира изменяется его высота.

Для этого в центре устанавливается металлическая тумба с площадкой под цифровой нивелир (рис. 6, а). Вокруг тумбы по окружности в восьми направлениях на расстояниях 5; 7; 10; 15 м закрепляются точки, состоящие из металлических труб со сферическими головками (рис. 6, б).

Для определения масштаба изображения рейки применялся микрометричный винт. Данная методика основана на измерении приращения превышения, которое можно задавать

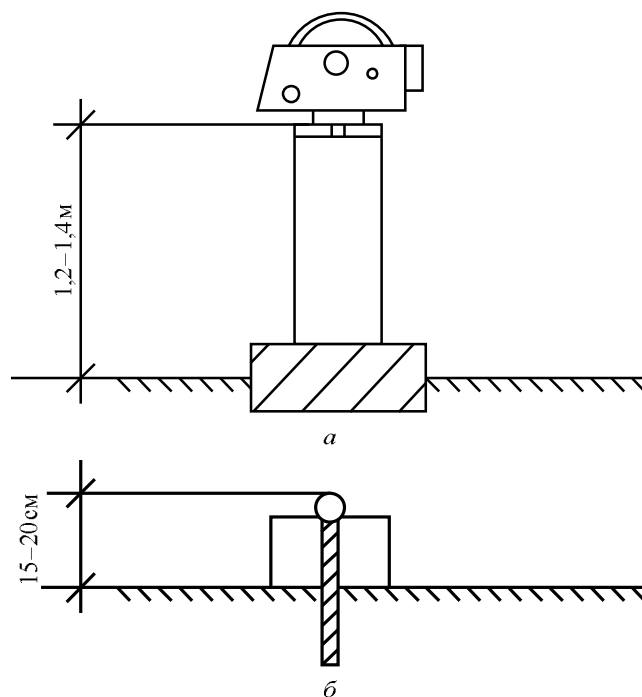


Рис. 6. Схема полевого высотного стенда

микрометричным винтом [2, 5], эти перемещения принимаются как эталонные.

Данную методику можно применять в полевых условиях. Для этого микрометричный винт вертикально закрепляется на кронштейне, который, в свою очередь, крепится к металлической колонне (рис. 7).

При выполнении измерений нивелир устанавливается в точке А, а рейка — на подвижной штوك микрометра. Точность измерений микрометра не должна быть хуже 0,01 мм. Чтобы не повредить микрометричный винт, рейку на

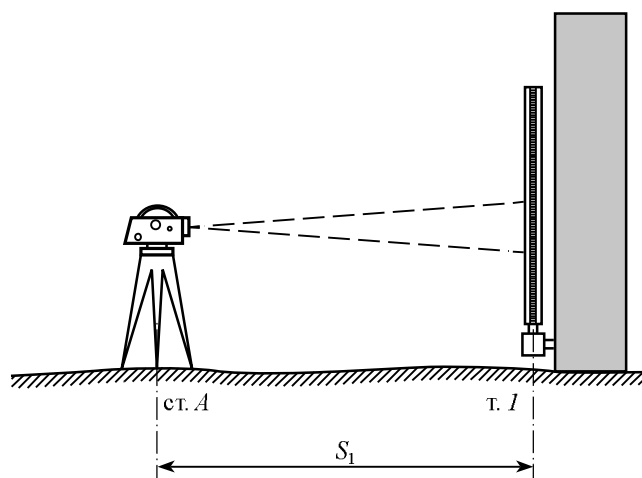


Рис. 7. Схема определения масштаба изображения рейки с помощью микрометричного винта

него необходимо устанавливать аккуратно. В первом положении нивелир устанавливается таким образом, чтобы высота визирного луча над пяткой рейки была минимальной, например 0,3 м. В таком положении по рейке производится 15–20 отсчетов. После этого рейка снимается с винта, и вращением подвижной части микрометра наконечник этого винта поднимается на заданную величину, после чего рейка снова аккуратно устанавливается на винт. В обратном ходе наконечник винта опускается.

После выполнения измерений вычисляют: значения средних квадратических ошибок «взгляда» для каждого горизонта и расстояния; среднюю квадратическую ошибку измерения (по уклонениям от эталонного) системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

Предлагаемая методика технологической поверки применяется при строительстве Няганской ГРЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ямбаев Х.К. Инженерно-геодезические инструменты и системы. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. – 460 с.
2. Уставич Г.А. и др. Исследование цифровых нивелиров и реек // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9–15.
3. Уставич Г.А. и др. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2013. – № 6. – С. 8–13.
4. Уставич Г.А., Бабасов С.А. Некоторые вопросы технологии выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГТА, 2014. Т. 1. – С. 17–23.
5. Спиридонов А.И. Основы геодезической метрологии. – М. Картоцентр-Геодезиздат, 2003. – 247 с.

Принята к печати 16 июня 2014 г.  
Рекомендована кафедрой инженерной геодезии  
и маркшейдерского дела СГТА

## АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Профессор, доктор техн. наук **А.П. Карпик**, доцент, кандидат техн. наук **Е.Г. Гиенко**, аспирант **Н.С. Косарев**

*Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск*  
*rektor@ssga.ru; kaf.astronomy@ssga.ru; kosarevnsk@yandex.ru*

**Аннотация.** Выполнен анализ источников погрешностей математических моделей преобразования координат и реализации алгоритмов вычислений. Отмечено, что для миллиметрового уровня точности координат необходимо переходить к нелинейной модели преобразования и правильно интерпретировать вектор сдвига начала координат в моделях Гельмерта и Молоденского. Рассмотрено влияние погрешностей высот и параметров трансформирования на результаты ограниченного уравнивания в референционной системе координат в коммерческих программах обработки ГНСС-измерений. На основе теоретических расчетов и экспериментов показано, что вызванные этими факторами погрешности координат находятся на уровне сантиметровой точности ГНСС-измерений. Для уменьшения ошибок рекомендуется использование модели высот квазигеоида относительно референц-эллипсоида, а также уточнение параметров преобразования систем координат для локальной области.

**Ключевые слова:** математическая модель преобразования координат, спутниковые геодезические сети, преобразование Гельмерта, преобразование Молоденского, методы ГНСС

**Abstract:** The analysis of sources of errors in mathematical models of coordinate transformation and the implementation of algorithms is computing. It is noted that for millimeter level of accuracy of the coordinates need to move to a nonlinear model transformations, and to correctly interpret the vector of the shift of the coordinate origin in the models Helmert and Molodensky. The influence of errors of heights and transformation settings on the results of a limited adjustment in references coordinate system in the commercial processing software GNSS measurements. On the basis of theoretical calculations and experiments have shown that due to these factors coordinates errors - to centimeter level accuracy GNSS measurements. To reduce errors, we recommend using the model of quasigeoid heights relative to the reference ellipsoid, and the refinement of the parameters of transformation of coordinate systems for the local area.

**Keywords:** mathematical model of transformation of coordinates, satellite geodetic network, the Helmert transformation, Molodensky transformation, methods of GNSS

**Введение.** В настоящее время применение ГНСС-технологий дает возможность отслеживать малейшие изменения положений

геодезических пунктов во времени, выявлять геодинамические эффекты, решать многие фундаментальные и прикладные задачи гео-