

УДК 528.482

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ОСАДКАМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Антон Викторович Никонов*

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

В статье рассматриваются особенности применения электронных тахеометров и цифровых нивелиров при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений в условиях, характерных для строящихся и действующих объектов энергетики и прочих промышленных объектов.

**Ключевые слова:** тригонометрическое нивелирование, тахеометр, осадки и деформации, цифровой нивелир.

## **MODERN GEODETIC INSTRUMENTS: FEATURES OF APPLICATION FOR OBSERVING POWER PLANTS BUILDINGS AND STRUCTURES SETTLEMENT AND DEFORMATION**

*Anton V. Nikonov*

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., post-graduate student, Department of Engineering Geodesy and Mine Survey, e-mail: sibte@bk.ru

Features of total stations and digital levels are considered as concerns their application for observing settlements and deformations of buildings and structures typical of both operating power plants and other industrial projects and those under construction.

**Key words:** trigonometric leveling, tacheometer, settlements and deformations, digital level.

Систематические инструментальные измерения осадок фундаментов являются одним из методов изучения деформаций оснований сооружений. Используя результаты измерений, делают выводы об устойчивости основания, надежности фундамента и, в случае необходимости, разрабатывают мероприятия по предупреждению опасных деформаций. Научное значение измерений осадок фундаментов заключается в анализе инструментальных измерений, необходимых для уточнения методов расчета оснований, установления предельных допустимых величин осадок для различных грунтов и групп сооружений [1].

В работе [2] в качестве методов определения осадок фундаментов рассматриваются геометрическое, тригонометрическое и гидростатическое нивелирование. При этом основная роль отводится нивелированию горизонтальным лучом способом «совмещения», а тригонометрическое нивелирование предлагается применять в условиях резких перепадов высот.

Широкое распространение в геодезическом производстве современных высокоточных приборов, цифровых нивелиров и электронных тахеометров позволяет выполнять геометрическое нивелирование с автоматическим взятием

отсчетов по рейке, а также расширить область применения тригонометрического нивелирования. Однако применение современных приборов имеет свои особенности и требует установления определенной последовательности действий на станции в целях достижения точности, регламентируемой нормативными документами, например [2, 3]. В связи с этим в научных и производственных организациях специалисты выполняют исследования новейших приборов, результаты которых используются как в производстве, так и при обновлении нормативных документов.

Методика выполнения измерений осадок, сформулированная на основе лабораторных исследований геодезических приборов, должна пройти апробацию на производстве, поскольку процесс инструментальных определений осадок в реальных условиях сопровождается воздействием ряда неблагоприятных факторов. К таким факторам следует отнести:

- плохую освещенность;
- вибрации от работающего оборудования (генераторы, турбины и пр.);
- тепловые воздействия от работающего оборудования (турбины, котлы);
- загроможденность цехов.

Для того, чтобы определить степень воздействия того или иного фактора на точность измерений, необходимо провести ряд исследований в условиях промплощадки, а также учесть производственный опыт.

Рассмотрим особенности воздействия упомянутых факторов на процесс геометрического нивелирования цифровыми нивелирами. Согласно [2], в период эксплуатации средняя квадратическая ошибка (СКО) определения осадки в слабом месте хода не должна превышать 1 мм. Обеспечить столь высокую точность способен цифровой нивелир DiNi 12, для которого СКО на 1 км двойного хода не превышает 0,3 мм при использовании инварных реек [4].

Благодаря автоматическому взятию отсчетов, значительно повышается производительность и точность геометрического нивелирования. Из процесса наблюдений исключаются ошибки наблюдателя (введение штриха рейки в биссектор и пр.) При наведении на рейку и установлении фокусировки производится взятие установленного количества отсчетов с последующим их осреднением. Исполнителем задается допустимое расхождение между отсчетами, при превышении которого прибор выдает предупреждение. Практика показывает, что оптимальным является тройное отсчитывание по рейке с допустимым расхождением между отсчетами 0,1 мм.

Значительное влияние на процесс взятия отсчетов играет освещенность. При недостаточной или избыточной освещенности (от фонаря или солнца) взятие отсчетов затруднено и скорость измерений заметно снижается. Если время взятия отсчета превышает 5 с, то следует ожидать снижения точности измерений. Неправильное искусственное освещение может приводить к возникновению теней и бликов, являющихся также причиной снижения точности [4]. Зависимость точности измерений от уровня освещенности рейки подтверждается в [5]. Например, для расстояния 20 м при уменьшении освещенности с 50 до 15 люкс СКО измерения превышения может увеличиться втрое (до 0,2 мм).

В [4] рекомендуется использовать для освещения рейки люминесцентную лампу мощностью 10 Вт. На производстве для освещения рейки успешно применяется фонарь с двумя лампами дневного света [6]. В работе [5] установлено, что значение предельной минимальной освещенности рейки, необходимой для регистрации отсчета, уменьшается с увеличением расстояния до рейки, причем при освещенности не менее 25 люкс СКО измерения превышения на станции для расстояний от 5 до 20 м не превышает 0,1 мм.

Воздействие вибраций на процесс выполнения геометрического нивелирования зависит от частоты вибрации  $f$ , амплитуды колебаний  $A$ , строения фундамента оборудования, расположения ножек штатива, расстояния между прибором и источником вибрации и пр. Поэтому исследование влияния данного фактора на точность измерений является сложной задачей.

Для измерений с применением нивелиров с плоскопараллельной пластиной и цилиндрическим уровнем (Н-05, Ni-004) этот вопрос достаточно изучен [7]. Использование резиновых подкладок под ножки штатива является здесь основным средством виброзащиты.

Очевидно, что при достаточно сильных вибрациях использование нивелиров с компенсатором, в том числе цифровых, затруднительно. Тем не менее, при производстве геодезических работ специалистами ОАО «Сибтехэнерго» на функционирующем блоке современной электростанции (Няганская ГРЭС), вибрации от работающего оборудования не оказали заметного влияния на процесс взятия отсчетов цифровым нивелиром DiNi 12, а также на процесс измерения превышений электронным тахеометром Leica TS-06, даже без применения средств виброзащиты. На электростанции старого типа (Бийская ТЭЦ-1) определения превышений между марками, установленными в фундаменте генераторов и турбин, были возможны только с использованием нивелира Н-05 и амортизационных подкладок из резины под ножки штатива.

Важным преимуществом цифрового нивелира является возможность автоматического ввода ряда поправок в отсчет по рейке (за кривизну Земли, рефракцию) и, что особенно важно, ввод поправки за нарушение главного условия нивелира пропорционально измеряемым длинам плеч. Это позволяет допускать значительное неравенство плеч на станции при условии регулярного проведения поверки. (Сам процесс проведения поверки по определению угла  $i$  нивелира занимает не более 10 минут.) Это преимущество особенно важно, так как допустимое неравенство плеч на станции для высших классов специального нивелирования, предложенных в [8], находится в пределах 0,1 м, что часто не может быть соблюдено в условиях цеха.

Еще один производственный фактор, осложняющий процесс измерений, – тепловое излучение от работающего оборудования, а также потоки теплого воздуха от цеховых обогревателей. Это явление схоже с воздействием вертикальной рефракции на визирный луч в полевых условиях, но перепад температур здесь более значителен, поэтому и соответствующие ошибки существенно больше. Кроме устойчивого искривления луча (систематическая составляющая рефракции), имеют место сильные колебания штрихов рейки и их расплывча-

тость. Для уменьшения воздействия данного фактора на результаты измерений следует, по возможности, исключать приближение визирного луча к нагретому оборудованию и трубопроводам.

При автоматической регистрации отсчета прибору требуется 30-сантиметровый интервал на рейке, расположенный симметрично от визирной оси. Если такой интервал перекрывается (проводами, трубами), то его симметрия будет нарушена, что приводит к снижению точности или к невозможности регистрации отсчета. Для расстояний менее 14 м помехи, закрывающие необходимый для взятия отсчета интервал рейки, могут быть не видны в зрительную трубу [4]. Таким образом, интервала рейки, доступного для визуального взятия отсчета, не всегда достаточно для автоматической его фиксации.

Как показывает практика, при измерении превышения цифровым нивелиром в условиях цеха различия превышений, измеренных при двух горизонтах, могут достигать 0,5 мм, что требует избыточных измерений.

Из всего вышесказанного следует, что цифровые нивелиры не могут полностью заменить оптические нивелиры типа Н-05 при работе на промышленных предприятиях. Нивелир Н-05 более неприхотлив в работе, чем DiNi 12. Нивелирование способом «совмещения» возможно производить в условиях плохой освещенности, вибраций и при наличии видимости небольшого участка рейки (< 30 см).

Нередко теряется возможность установки нивелирной рейки на осадочную марку вследствие монтажа пожарных гидрантов или проведения кабельных линий. В таких случаях определить отметку осадочной марки возможно методом тригонометрического нивелирования, путем установки на марку компактной цели. В качестве цели предлагается использование отражательной пленки, наклеенной на металлическую линейку (рис. 1). При небольшой высоте цели (12,5 мм) ошибка за ее наклон минимальна. Поперечный наклон цели контролируется наблюдателем, а продольный – реечником.

При проведении наиболее ответственных измерений необходимо в качестве опорной поверхности цели для однозначной ее установки на осадочной марке использовать не узкую грань линейки, а ровную поверхность. Кроме того, цель на осадочной марке необходимо устанавливать по круглому уровню. На рис. 2 представлены возможные варианты целей, которые могут применяться при производстве высокоточного тригонометрического нивелирования.

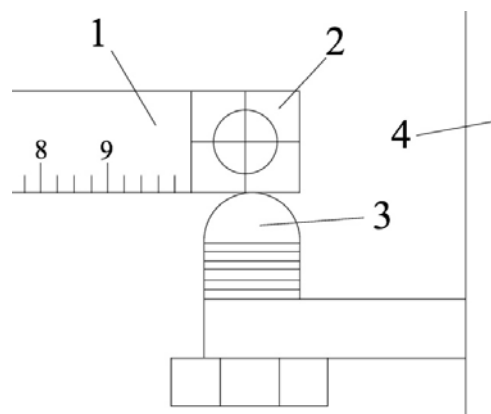


Рис. 1. Схема установки цели на осадочную марку для выполнения тригонометрического нивелирования:  
1 – линейка; 2 – отражательная пластина;  
3 – осадочная марка в виде болта; 4 – колонна

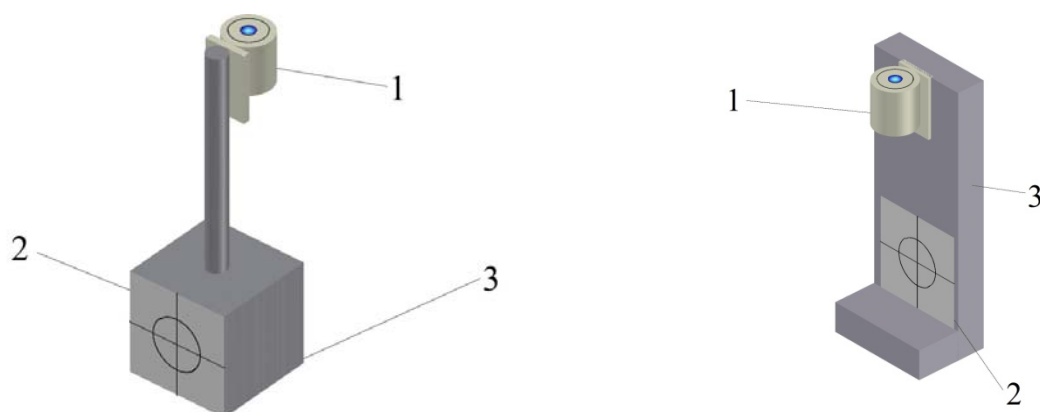


Рис. 2. Цели для выполнения тригонометрического нивелирования:  
 1 – круглый уровень; 2 – отражательная пленка; 3 – куб из металла 25 × 25 мм (уголок)

Возможны и другие случаи, когда целесообразно заменить геометрическое нивелирование тригонометрическим. Рекомендуем пользоваться нивелирной рейкой (шашечной или кодовой) и визировать на ее штрихи, близкие к пятке рейки.

В работе [9] исследуется точность тригонометрического нивелирования способом «вперед» и обосновывается возможность его применения для наблюдений за осадками сооружений.

Несмотря на отсутствие в нормативной литературе методики и соответствующих рекомендаций по выполнению высокоточного тригонометрического нивелирования, оно успешно применяется на производстве [10, 11]. Так, в работе [12] предлагается классификация разрядов тригонометрического нивелирования и производится предрасчет точности, согласно которому превышение на станции может быть измерено с ошибкой не более 0,15 мм.

Для подтверждения возможности использования тригонометрического нивелирования для наблюдений за осадками фундаментов нами были проведены пробные измерения по методике, предложенной в [11].

По основным осадочным маркам котла-утилизатора Череповецкой ГРЭС был проложен замкнутый ход геометрического нивелирования. Превышения измерялись цифровым нивелиром DiNi 12 в два горизонта с регистрацией трех отсчетов при каждом наведении на рейку. В замкнутом ходе было измерено 10 превышений, невязка составила  $-0,75$  мм ( $f_{\text{доп}} = 0,3\sqrt{10} = 0,95$  мм). Условия измерений:  $t = -16$  °С, ясно, вибрации нет. При нивелировании котла с солнечной стороны из-за избыточности освещения прибором не всегда сразу регистрировались отсчеты по рейке. По причине ведения земляных работ в районе котла определенную сложность представляла установка нивелира со строгим соблюдением условия равенства плеч. Несмотря на учет программным обеспечением нивелира ошибок за угол  $i$ , установка нивелира с соблюдением равенства плеч уменьшает ошибки за изменение угла  $i$ , произошедшее с момента проведения последней поверки (особенно в условиях отрицательных температур), а также ошибки перефокусировки.

По тем же осадочным маркам был проложен ход высокоточного тригонометрического нивелирования короткими лучами (от 3 до 13 м, средняя длина плеч 7 м). Измерения выполнялись тахеометром Leica TS-02 ( $m_z = 5''$ ) путем визирования на метровую бар-кодovou рейку при одном положении вертикального круга (КЛ). Наведения выполнялись на два штриха, расположенные близко к пятке рейки и удаленные друг от друга на 60,0 мм. Расхождения значений превышений из двух наведений на один штрих допускались не более 0,2 мм. По окончании полевых работ были вычислены разности

$$\Delta = h_B - h_H,$$

где  $h_B$  и  $h_H$  – превышения между осью вращения зрительной трубы тахеометра и верхним и нижним штрихами рейки соответственно.

Найденные разности  $\Delta$  сравнивались с теоретическим значением (60,0 мм), полученным из измерений компарированной рулеткой. Разности не превысили 0,15 мм и в большинстве случаев близки к нулю ( $\pm 0,05$  мм). Невязка замкнутого хода оказалась меньше, чем при нивелировании горизонтальным лучом: +0,28 мм.

Была вычислена СКО измерения превышения тахеометром на станции по формуле Бесселя:  $m_{h_{CT}} = 0,21$  мм (по отклонению от результатов геометрического нивелирования). По разности двойных измерений  $m_{h_{CT}} = 0,07$  мм. В качестве двойных измерений были приняты превышения, вычисленные по верхним и нижним штрихам рейки. Очевидно, ошибка, вычисленная по формуле Бесселя, оказалась больше, так как невязка в ходе геометрического нивелирования больше, чем в ходе тригонометрического нивелирования. Среднее значение ошибки составило  $m_{h_{CT}} = 0,14$  мм, что согласуется с предрасчетом из [9, 12]. Столь незначительная ошибка  $m_{h_{CT}}$  может быть объяснена более высокой реальной точностью определения расстояний и углов, чем это заявлено в паспорте прибора. Расчетная СКО взгляда для  $m_z = 5''$ ,  $m_D = 2$  мм,  $D = 7$  м,  $z = 87^\circ$  составляет  $m_{h_{B3T}} = 0,36$  мм. Так как в опыте измерения производились на два штриха, но при одном круге, ошибка на станции может быть подсчитана как  $m_{h_{CT}} = m_{h_{B3T}} \sqrt{2} = 0,52$  мм, что значительно превосходит значение, полученное из оценки точности.

Из всего вышесказанного сделаем следующие выводы.

1. На сегодняшний день не представляется возможным полностью заменить геодезические оптико-механические приборы электронными. Это связано как с ограниченностью использования электронных приборов при значительном влиянии внешней среды, так и с отсутствием в нормативных документах методик и рекомендаций по применению тахеометров и цифровых нивелиров.

2. Превышение на станции тригонометрического нивелирования может быть определено со средней квадратической ошибкой не более 0,15 мм (при длине плеч до 15 м), что практически равно ошибке измерения превышения горизонтальным лучом ( $m_h = 0,13$  мм [13]).

3. Применение тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками фундаментов зданий

и сооружений вполне может конкурировать с геометрическим нивелированием. Нивелирование тахеометром может применяться как отдельно [14], так и в комплексе с другими видами нивелирования, например, при привязке недоступной для измерения нивелиром осадочной марки к основному высотному ходу.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брайт П. И., Медвецкий Е. Н. Измерение осадок и деформаций сооружений геодезическими методами. – М., 1959. – 199 с.
2. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. СО 153-34.21.322-2003. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005. – 56 с.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004. – 244 с.
4. Руководство пользователя. Цифровой нивелир Trimble DiNi, 2006.
5. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // 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: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 117–121.
6. Новоселов Б. А., Новоселов Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» // 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: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 66–71.
7. Кирьянов Ю. В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании // Геодезия и картография. – 1990. – № 3. – С. 12–16.
8. Жарников В. Б., Жуков Б. Н. О классах геометрического нивелирования для контроля деформаций // Геодезия и картография. – 1990. – № 9. – С. 22–26.
9. Беспалов Ю. И., Мирошниченко С. Г. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
10. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
11. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // 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: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.
12. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е., Никонов А. В., Бабасов С. А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
13. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование // Тр. ЦНИИГАиК. – 1956. – Вып. 111. – 340 с.
14. Ворошилов А. П. Измерение осадок зданий и сооружений электронными тахеометрами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура», вып. 3. – 2005. – № 13. – С. 37–39.

Получено 05.11.2013

© А. В. Никонов, 2013