

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ЦИФРОВЫМИ НИВЕЛИРАМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ**

Аспирант **Ашраф А. Бешр**, аспирант **Н.М. Рябова**, аспирант **В.Г. Сальников**, инженер **А.Н. Теплых**, инженер **М.Е. Рахымбердина**

*Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск*  
*ryabovanadezhda@mail.ru*

**Аннотация.** Определение осадок и деформаций инженерных сооружений и оборудования часто производится в условиях влияния вибрации, которая оказывает влияние на применяемые геодезические приборы. Представлены результаты исследований влияния вибрации на точность измерения превышений цифровым нивелиром расстояний и углов электронным тахеометром.

**Ключевые слова:** вибрация, электронный тахеометр, точность, деформация, цифровой нивелир

**Abstract.** Determination of settlement and structural deformation of engineering buildings is often performed under the influence of vibration that affects the applied geodetic instruments. The paper presents the outcomes of studying the effect of vibration on the accuracy of digital levels' and total stations' observations.

**Keywords:** vibration, electronic total station, accuracy, deformation, digital level

Согласно ГОСТ на нивелиры и тахеометры, правил их технической эксплуатации и другой справочной литературы, исследование метрологических характеристик цифровых нивелиров и электронных тахеометров (далее просто тахеометров) должно производиться в лабораторных и производственных определённых условиях (температура, влажность и давление воздуха, скорость ветра и освещённость). Эксплуатация этих приборов также должна производиться в соответствующих условиях, например, при температуре от  $-35$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , влажности воздуха до 90%, скорости ветра до 2 м/с. Однако при выполнении измерений на промышленной или строительной площадках вследствие работы различных механизмов и оборудования возникает вибрация поверхности земли или бетонного основания (пола в цехах), на которых устанавливается штатив с цифровым нивелиром или тахеометром. В этих условиях частота и амплитуда колебаний находятся в пределах, соответственно, 1–50 Гц и 10–40 мкм. Иногда амплитуда колебаний достигает 80–120 мкм, а при забивке свай на строительной площадке или при работе мостового крана в цехе завода она скачкообразно достигает 1,0–1,5 мм. Так как на промышленной площадке практически всегда имеется несколько источников вибрации, то также возникают резонансные явления.

**Исследование влияния вибрации на систему «штатив–цифровой нивелир».** Влияние вибрации на систему «штатив–цифровой нивелир» приводит к тому, что компен-

сатор начинает совершать непрерывные угловые колебания относительно отвесной линии. Вследствие этого визирная ось зрительной трубы также начинает совершать угловые колебания в пределах  $20$ – $180''$ . Необходимо отметить, что визирная ось в нивелире с компенсатором в отличие от нивелира с цилиндрическим уровнем не является прямой линией, а представляет собой изломанную линию, так как она получается вследствие отражения и преломления луча от нескольких оптических деталей компенсатора. Очевидно, что влияние вибрации будет сказываться на точности отсчитывания по штрих-кодовой рейке, а следовательно, и на результаты нивелирования.

Исследованию влияния вибрации на результаты геометрического нивелирования с применением нивелиров с оптическим микрометром посвящен целый ряд работ, например, [1–4]. Так, для высокоточных нивелиров с визуальным отсчитыванием с помощью оптического микрометра по инварной рейке, ошибка измерения превышений из-за колебания штрихов увеличивается с 0,05–0,12 мм до 0,35–0,80 мм. Иногда, при большой амплитуде колебаний, нивелирование вообще выполнять невозможно, так как изображения штрихов рейки в поле зрения зрительной трубы, во-первых, становятся сильно «расплывчатыми» и, во-вторых, они накладываются друг на друга. Такое же явление имеет место и при выполнении нивелирования цифровыми нивелирами. При визуальном рассмотрении в зрительную трубу изображения кодовых штрихов рейки они также

накладываются друг на друга. В связи с этим встает вопрос о возможности выполнения работы этими нивелирами в условиях влияния вибрации и о способах ослабления ее влияния.

Исследования вибрации выполнялись в лабораторных условиях и во время выполнения производственных работ в реальных условиях на Томской ГРЭС-2 и Бийской ТЭЦ-1 при определении деформаций фундаментов турбоагрегатов. Целью исследования в лабораторных условиях (без влияния вибрации) было подтверждение основных технических характеристик нивелира — средней квадратической ошибки измерения превышений на станции. Исследования на Томской ГРЭС-2 и Бийской ТЭЦ-1 выполнялись при частоте вибрации 20–50 Гц и амплитуде 10–80 мкм.

Исследованию подвергались цифровой нивелир Trimble DiNi 1012 № 706531, обеспечивающий среднюю квадратическую ошибку взятия отсчета (ошибка «взгляда») по рейке  $m_{\text{взгл}} = 0,01 \div 0,03$  мм или среднюю квадратическую ошибку измерения превышения на нивелирной станции  $m_p = 0,02 \div 0,05$  мм. Под средней квадратической ошибкой «взгляда» при выполнении нивелирования цифровым нивелиром будем понимать, так же как и для оптического нивелира с микрометром, суммарную величину основных ошибок, влияющих на ошибку единичного отсчета по одной рейке:  $m_k$  — установки компенсатора в отвесное положение (ошибка самоустановки);  $m_p$  — установки рейки в отвесное положение по круглому уровню;  $m_{\text{счит}}$  — собственно считывания сенсорным устройством нивелира штрих-кода;  $m_d$  — нанесения делений штрих-кода на рейку;  $m_{\text{вн}}$  — за влияния внешних условий

$$m'_{\text{взгл}} = \sqrt{m_k^2 + m_p^2 + m_{\text{счит}}^2 + m_d^2 + m_{\text{вн}}^2}.$$

Сенсорное устройство представляет собой электронную линейку, позволяющую считывать штрих-код на рейке.

Величина средней квадратической ошибки измерений превышения на нивелирной станции для односторонней рейки, как известно, вычисляется по формуле

$$m_n = m_{\text{взгл}} \sqrt{2}.$$

*Исследование цифрового нивелира.* Так как под действием вибрации происходит непре-

рывное изменение положения визирной оси (ее наклон вверх-вниз), то с увеличением расстояния от нивелира до рейки изменение отсчета по ней будет увеличиваться. Поэтому исследования в лабораторных условиях выполнялись при разных расстояниях: 3,45; 5,51; 9,93; 16,17; 20,67; 25,12 и 30,08 м. Непосредственно на нивелирной станции программа исследований включала в себя определение величин средних квадратических ошибок «взгляда» и измерение превышения. Для каждого расстояния было выполнено 5 серий измерений по 20 отсчетов (и превышений) в каждой серии.

*Результаты исследования величины ошибок «взгляда» и измерения превышений в лабораторных условиях*

$S, \text{ м} \dots$	3,58	5,51	9,93	16,17	20,67	25,12	30,08
$m_{\text{взгл}} \dots$	0,012	0,015	0,018	0,038	0,09	0,14	0,18
$m_n \dots$	0,02	0,025	0,028	0,06	0,14	0,17	0,24

Исследования на Томской ГРЭС-2 и Бийской ТЭЦ-1 выполнялись в непосредственной близости от работающих турбоагрегатов. Амплитуда колебаний выбиралась путем установки нивелира в районе подшипника с определенными параметрами вибрации ( $f, A$ ). Необходимо отметить, что при выполнении исследований на систему «штатив–нивелир» оказывала влияние и горизонтальная составляющая вибрации. Так как при работе турбоагрегатов в турбинном зале всегда имеется значительный перепад температур, то на положение визирной оси в значительной степени оказывает влияние и турбулентность воздуха.

*Результаты исследования величины ошибок «взгляда» и измерения превышений на Томской ГРЭС-2 и Бийской ТЭЦ-1*

$S, \text{ м}$	3,80	5,70	10,81	17,44	21,80	25,60	31,00	41,50
$f = 50 \text{ Гц}, A = 10\text{--}20 \text{ мкм}$								
$m_{\text{взгл}}$	0,03	0,08	0,18	0,23	0,43	0,51	0,55	0,62
$m_n$	0,05	0,12	0,24	0,35	0,65	0,76	0,84	1,05
$f = 50 \text{ Гц}, A = 25\text{--}40 \text{ мкм}$								
$m_{\text{взгл}}$	0,06	0,14	0,21	0,37	0,50	0,64*	0,70*	0,90*
$m_n$	0,08	0,22	0,37	0,58	0,83	0,95	1,23	1,45
$f = 50 \text{ Гц}, A = 40\text{--}55 \text{ мкм}$								
$m_{\text{взгл}}$	0,08	0,20	0,33	0,58*	0,72*	0,80*	0,85*	1,10*
$m_n$	0,14	0,35	0,45	0,7**	1,0**	1,20**	1,30**	1,60**

\* отсчеты в сериях иногда сбивались;

\*\* величина ошибки колебалась в сериях до 0,2–0,4 мм.

Исследованиями установлено, что при амплитуде колебаний 40–55 мкм часто происхо-

дит сбой отсчётов по рейке, а при амплитуде колебаний свыше 60–80 мкм измерения выполнять вообще невозможно. Для ослабления влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на результаты измерений, так же, как и при выполнении нивелирования оптическими нивелирами, применялись виброизоляционные подкладки толщиной 3–5 мм из войлока или твёрдых сортов резины, которые подкладывались под ножки штатива. Их применение позволяет ослабить влияние вибрации на 30–40%.

Необходимо отметить, что в непосредственной близости от корпуса турбоагрегата перепад температур достигает 60–80°C. Кроме того, в соединениях паропроводов с корпусом цилиндра практически всегда имеют место свищи, через которые пар выходит наружу. Это приводит к появлению локальных конвекционных потоков воздуха, что, в свою очередь, приводит к значительному колебанию изображения рейки. В таких условиях так же невозможным является взятие отсчетов по рейке.

**Исследование тахеометра.** Влияние вибрации на систему «штатив–тахеометр» также приводит к непрерывному нарушению положения равновесия компенсатора при вертикальном круге. Одновременно под действием горизонтальной составляющей вибрации зрительная труба тахеометра совместно с верхней частью тахеометра (алидадой) начинает совершать непрерывные колебания в горизонтальной плоскости относительно лимба. Вследствие этого наведение сетки нитей на визирную цель так же как и при нивелировании, во-первых, становится затруднительным, и, во-вторых, нарушается работа угловых преобразователей горизонтальных и вертикальных кругов кодового или накопительного типов (взаимное смещение элементов считывающих устройств).

Программа исследований в лабораторных условиях включала в себя определение средних квадратических ошибок наведения  $m_n$  на визирную цель и измерение горизонтального и вертикального углов. Для этих исследований применялись хорошо освещённые и контрастные визирные цели, которые были установлены на расстоянии 21,8 м. Исследованию подвергался тахеометр Leica TCR 405 Power, обеспечивающий среднюю квадратическую

ошибку измерения горизонтальных и вертикальных углов  $m_\alpha = 1,5 \div 2,0''$ .

Под средней квадратической ошибкой задания направления понимается суммарная величина ошибок визирования  $m_{\text{виз}}$  и отсчёта  $m_{\text{отсч}}$  по лимбу

$$m_n^2 = m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{отсч}}^2.$$

Средняя квадратическая ошибка визирования зависит от разрешающей способности зрительной трубы и глаза наблюдателя, от формы, освещённости и контрастности наблюдаемой визирной цели. Исследованиями установлено, что средняя квадратическая ошибка визирования на удалённую цель при биссектировании в среднем равна

$$m_{\text{виз}} \approx \frac{15''}{\Gamma},$$

где  $\Gamma$  — увеличение зрительной трубы (при  $\Gamma=25\times$  получим  $m_{\text{виз}}=0,6''$ ).

Дискретность отсчитывания по штриховой дорожке кодового диска равна  $0,32''$ . Тогда величина средней квадратической ошибки наведения будет равна  $m_n=0,7''$ . При выполнении измерений в полевых условиях на величину  $m_n$  значительное влияние оказывает состояние воздушной среды (рефракция и турбулентность).

Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним полуприёмом равна:

$$m'_\beta = m_n \sqrt{2},$$

а полным приёмом

$$m_\beta = \frac{m'_\beta}{\sqrt{2}} = m_n.$$

Исследованиями в лабораторных условиях установлено, что ошибки наведения и измерения углов оказались равными, соответственно,  $m_n=0,7 \div 0,8''$ ,  $m_{\text{гор}} \approx m_{\text{вер}}=1,7 \div 1,8''$ .

Исследования в условиях влияния вибрации показали, что: при  $f \approx 50$  Гц и  $A=10-20$  мкм ошибки  $m_n=2,5 \div 3,0''$ ;  $m_{\text{гор}}=3,5 \div 4,0''$ ;  $m_{\text{вер}}=3,0 \div 3,2''$ ; при  $f \approx 50$  Гц и  $A=25-40$  мкм  $m_n=3,5 \div 5,0''$ ;  $m_{\text{гор}}=6,0 \div 8,0''$ ;  $m_{\text{вер}}=3,5 \div 4,0''$ ; при  $f \approx 50$  Гц и  $A=40-55$  мкм измерения выполнять невозможно.

Применение амортизационных подкладок так же как и для оптических нивелиров позволяет на 30–40% уменьшить ошибки измерения углов.

Влияние вибрации на измеренные расстояния [5] зависит от величины самого расстояния. В нашем случае при амплитуде колебаний 10–20 мкм и расстоянии 112 м ошибка измерения оказалась равной 15–20 мм. При амплитуде колебаний 40–45 мкм значения этого расстояния изменялись на 40–60 мм. Кроме того, часто происходит сбой при измерениях. Применение амортизационных подкладок уменьшает влияние вибрации на 80–90%.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1) величина влияния вибрации на измерение превышений цифровым нивелиром, расстояний и углов электронным тахеометром, не приводится в паспортных данных фирм-изготовителей;

2) влияние вибрации на результаты нивелирования цифровым нивелиром приводит к значительному увеличению ошибки измерения превышения на станции; иногда вообще происходит сбой отсчетов по штрих-кодовой рейке;

3) влияние вибрации на результаты измерений расстояний и углов тахеометров приводит к зна-

чительному увеличению ошибок этих измерений; также происходит сбой в процессе выполнения измерений;

4) для уменьшения влияния вибрации на указанные виды измерений необходимо применять амортизационные подкладки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уставич Г.А. Опыт работы с авторедукционными нивелирами в условиях вибрации // Геодезия и картография. –1974. –№ 11. –С. 33–35.

2. Кирьянов Ю.В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании // Геодезия и картография. –1987. –№3. –С. 12–16.

3. Кирьянов Ю.В., Комар Н.М. Влияние вибрации на устойчивость штативов. // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». –1984. –№ 4. –С. 12–17.

4. Шаульскийкий В.Ф. Методика геометрического нивелирования в условиях низкочастотной вибрации. // Сб. «Применение геодезических методов при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений». –1979. –Т. № 7. –С. 123–128.

5. Уставич Г.А., Кошелев А.В., Пошивайло О.П. О влиянии вибрации на светодальномерные измерения // Геодезия и картография. –1998. –№ 6. –С. 8–10.

Поступила 3 июня 2010 г.