На правах рукописи

Голубева Кира Владимировна

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЯХ

Специальность 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва - 2012

Работа выполнена в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете

Научный руководитель: Доктор технических наук, доцент Гордеев Борис Александрович

Официальные оппоненты:

Пронякин Владимир Ильич д.т.н, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий кафедрой;

Углов Александр Леонидович д.т.н., автономная некоммерческая организация «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» начальник сектора.

Ведущая организация: ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Нижегородской области» (ФБУ «Нижегородский ЦСМ»)

Защита диссертации состоится «24» мая 2012 года на заседании диссертационного совета Д 212.141.18 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок: 8 (499) 267 09 63

Автореферат разослан «23» апреля

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1997153
Голубева К.В.Повышение кач

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.141.18
д.т.н., профессор Цветков Ю.Б.

2481

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

При строительстве или реконструкции сооружений, при проведении земляных работ, а также работ, связанных с благоустройством территорий, необходимо соблюдать все правила и нормы, предусмотренные нормативной документацией, обеспечивать достижение заданной точности геодезических работ, которая в первую очередь определяет уровень качества строительно-монтажных работ и безопасность эксплуатации зданий и сооружений.

От точности проведенных измерений различных параметров в ходе геодезических работ зависит человеческая жизнь. Такие дефекты, как деформации зданий, горизонтальные смещения и осадки оснований, не выявленные при проведении геодезических работ, могут приводить к обрушениям и техногенным авариям и катастрофам.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме, связанной с повышением качества поверки геодезических приборов, выполняемых в специализированных лабораториях метрологических служб предприятий и организаций юридических лиц.

В научно-исследовательской работе проанализированы проблемы качества геодезических исследований с целью повышения их достоверности. Одной из существенных составляющих, влияющих на качество результатов геодезических исследований, является уровень точности выполнения поверки геодезического оборудования.

Часто при возникновении аварийных ситуаций в возведении объектов очень сложно определить их причины. Например, из-за наклона строящегося здания Горьковского НИИ радиосвязи на площади Комсомольской г. Нижнего Новгорода (16 этажей) было остановлено строительство на 2 года, одной из главных причин которого было использование неточного геодезического оборудования. Поэтому важнейшей задачей остаётся разработка предупреждающих мер, одной из которых является повышение уровня точности поверки геодезического оборудования.

Цель работы заключается в нахождении путей повышения качества поверок геодезического оборудования, осуществляемых в метрологических службах. Теоретическая и экспериментальная оценка факторов, существенно влияющих на точность измерения геодезическим оборудованием. Разработка методов получения достоверной информации для обеспечения качественной поверки геодезического оборудования.

Достоверность результатов и выводов работы обусловлена контролем уровня погрешностей измерений и вычислений на всех стадиях экспериментов, корректностью применения математического аппарата и вычислительных методов, опорой на метрологически корректное получение и использование экспериментальных данных.

Научная новизна

1. Впервые в лаборатории по поверке геодезического оборудования в зоне каждой реперной точки, используя кепстральное представление, проведен анализ влияния на результаты поверки геодезического оборудования гармонических составляющих внешнего вибрационного сигнала.

2. Впервые разработана методика нахождения реперных точек с минимальным уровнем вибрации на стендах по поверке геодезического оборудования в метрологических лабораториях.

3. Впервые определена степень влияния вибрации на результаты измерений при поверке геодезического оборудования. Впервые предложена графоаналитическая модель для определения допустимого значения уровня вибрации в зонах реперных точек, при котором обеспечены нормальные условия проведения поверки точных и высокоточных нивелиров.

4. Впервые разработана математическая модель для определения собственных колебаний балок поверочных стендов геодезического оборудования в метрологических лабораториях с учетом влияния отдельных звеньев между опорами.

Практическая ценность работы

В научно-исследовательской работе определена реперная точка на стенде для поверки геодезического оборудования, в которой наблюдается наименьший уровень вибрации и минимальное распространение колебаний по бетонной опоре от пола до металлической балки, что позволяет снизить влияние вибрации поверочных стендов на результаты измерений в процесс выполнения поверки геодезического оборудования.

Суточный мониторинг наблюдений позволил определить оптимальный временной интервал, который может быть рекомендован для выполнения поверки геодезического оборудования при использовании его для особо точных измерений.

Предложена методика установления предельно-допустимого значения уровня вибрации, позволяющая определить уровень виброперемещений в зонах реперных точек для поверочных лабораторий, при котором обеспечивается точность поверки геодезических приборов с целью дальнейшего внесения изменений в нормативную документацию («Нормальные условия проведения поверки»).

Разработанная математическая модель позволяет заранее оценить собственную частоту колебаний металлической балки поверочного стенда геодезического оборудования с целью исключения появления колебаний на высоких частотах.

Разработан проект свода правил «Поверка точных и высокоточных нивелиров», позволяющий на практике внедрить нормативные значения уровня виброперемещений и унифицировать нормативную документацию по поверке точных и высокоточных нивелиров.

Полученные научные результаты исследования в области повышения качества поверки геодезического оборудования внедрены в работу государственной метрологической службы ФГУП «Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие» (ФГУП «ВАГП»).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика нахождения наиболее предпочтительных реперных точек, в которых уровень вибрации минимальный, на примере лаборатории по поверке геодезического оборудования ФГУП «ВАГП».

2. Вибросостояние стенда для поверки геодезического оборудования.

3. Основные источники вибрации в поверочной лаборатории и предложение методов её снижения.

4. Математическая модель для определения собственных частот колебаний поверочного стенда геодезического оборудования.

5. Планирование и управление качеством в метрологической лаборатории по поверке геодезического оборудования.

6. Свод правил «Поверка точных и высокоточных нивелиров».

Апробация результатов работы

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских конференциях: в IX Всероссийском совещании-семинаре «Инженерно-физические проблемы новой техники», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26 января 2010 г.; XI Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и проблемы измерений», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26-28 апреля 2011 г.; в четырнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности», Москва, МГСУ, 7-29 апреля 2011 г.; X Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 24 - 30 августа 2011 г.

Публикации

Основное содержание работы отражено в 7 научных работах, в том числе 4 статьи в журналах по списку ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы. Содержит 132 страницы, в том числе 40 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель исследования, сформулирована научная новизна работы.

Глава 1. Анализ состояния проблемы и методы обеспечения качества измерений.

Представлена история развития поверочной деятельности, исторические отчеты свидетельствуют о том, что поверке средств измерений уделялось много внимания со стороны законодательства, увеличивалось не только количество поверочных работ, но и повышались требования к точности при проведении поверки и к качеству исследования средств измерений. Выполненный обзор работ С.Ф. Левина, А.И. Спиридонова, Н.С. Виноградова, Е.А. Воронцова, В.И. Глейзера, О.Н. Величенко, Э.А. Голубева, Л.К. Исаева, А.П. Чиркова, свидетельствует о том, что ведутся обширные теоретические и экспериментальные исследования в области повышения качества поверочных работ. Ежегодно повышается точность измерительных процессов, а, следовательно, повышаются требования к измерительной аппаратуре, качество которой контролируется ее поверкой. Поэтому вопросы нормирования точности при поверочных работах геодезического оборудования являются актуальными в настоящее время.

Рассмотреные методы и рекомендации иностранных ученых Берроуса, Гонсалеса, Мезенбрика, Куники по уменьшению влияния внешних факторов на точность высокоточных измерений следует учитывать и применять для лабораторий по поверке геодезического оборудования.

При анализе нормативных документов было установлено отсутствие нормативного значения уровня вибрации в лабораториях по поверке геодезического оборудования в зависимости от точности средств измерений.

Выполненный анализ системы менеджмента качества метрологических службы на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 – 2009 показал, что, при организации поверочной лаборатории не ведется учет возможных рисков нарушения процесса поверки средств измерений. При размещении измерительного оборудования, эталонов в метрологической лаборатории не было исследовано влияние вибрации на выбранные реперные точки.

На основе проведенного обзора работ по поверке геодезического оборудования и анализа нормативных документов в первой главе сформулированы задачи исследования.

Глава 2. Исследование влияния вибрационных полей на качество поверки геодезических приборов.

С целью снижения погрешностей при поверке геодезического оборудования, проведены исследования по нахождению в лаборатории рабочих зон с минимальной виброактивностью в реперных точках, выбранных равномерно по всей площади помещения метрологической лаборатории ФГУП «ВАГП» (рисунок 1). Реперные точки в исследуемой лаборатории распределены под условием минимального удаления их от мест установок поверяемых приборов: на штативах (точки 4,5), линейном поверочном стенде (точки 1,2,3). Последний представляет собой горизонтальную металлическую балку длиной 8,5 м, установленную на специальных бетонных опорах, заглубленных в землю на 3 м. Закрепленные на балке стандартные трегеры системы WILD разнесены между собой на расстояние одного метра.

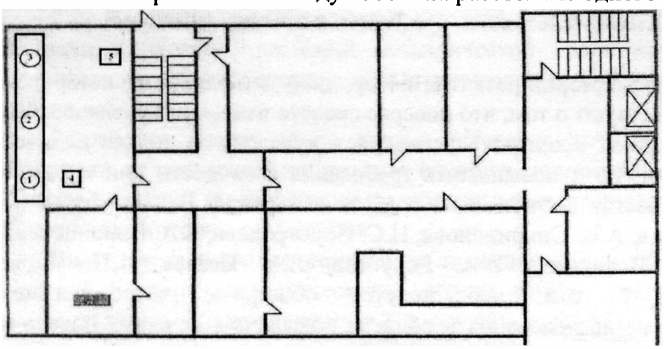


Рисунок 1. Схема цокольного этажа ФГУП «ВАГП»

Проведены измерения параметров вибраций в каждой реперной точке поверочной лаборатории. Записанные временные реализации параметров виброперемещений разлагались на гармонические составляющие с дискретизацией по частоте, начиная с 0,5Гц (рисунок 2). В результате анализа спектров виброперемещений выяснилось, что гармонические составляющие

выше 14 Гц в исследуемых сигналах отсутствуют. Виброперемещения в диапазоне частот от 0,5 Гц до 14 Гц не превышают одного микрометра и находятся на пороге чувствительности измерительной аппаратуры. Выяснено, что наибольшие виброперемещения находятся на частоте порядка 0,5 Гц и ближайших кратных гармониках.

Для чёткой идентификации источников вибрации проведена дополнительная математическая обработка для получения кепстра (рисунок 3). Кепстральное представление сигналов позволило идентифицировать локальные источники вибрации в отдельных объектах контроля. При проведении кепстральной обработки было обнаружено, что в каждой реперной точке поверочной лаборатории существует противофаза основным гармоникам. Это значит, что на высоких частотах порядка 9 – 14 Гц, где виброперемещение снижается до минимума, и на низких, где виброперемещение максимально, эффект воздействия гармонических колебаний на исследуемый поверочный стенд одинаковый, но гармоники находятся относительно друг друга в противофазе. Данное явление обусловлено внутренними дефектами поверочного стенда, такими как: неоднородность материала металлической балки, наличие в ней сварных швов и микротрещин.

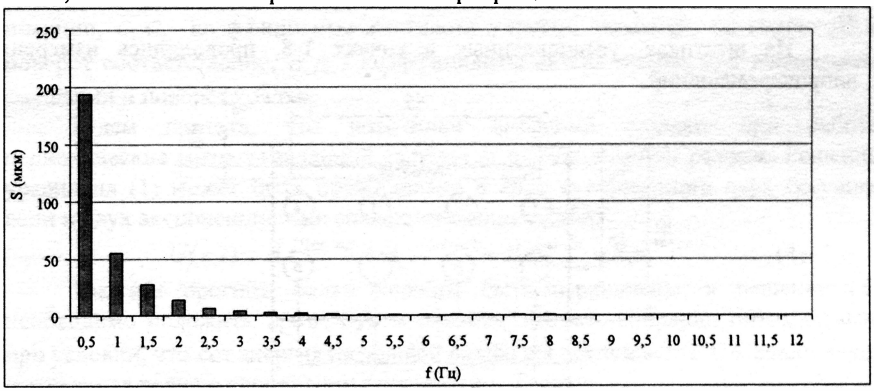


Рисунок 2. Амплитудный спектр виброперемещений в 1 реперной точке

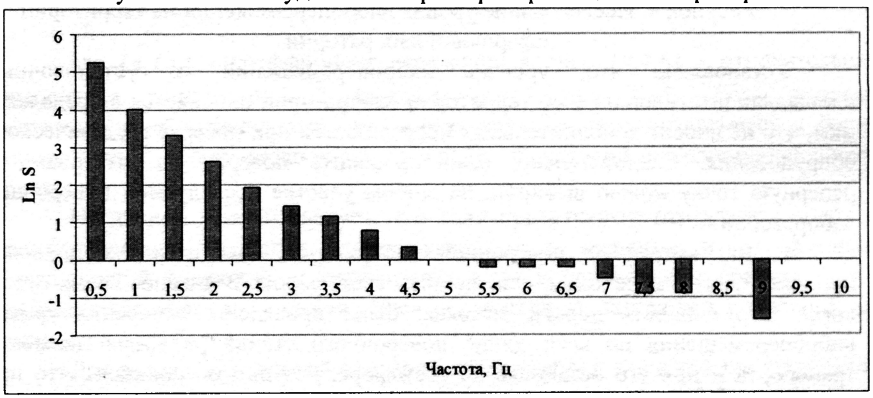


Рисунок 3. Кепстр виброперемещений в 1 реперной точке

Полученные результаты показали, что на поверочном стенде уровень виброперемещений ниже на 10 дБ, чем на штативах. Максимальная вибрация в данных реперных точках обусловлена тем, что штативы, в отличие от поверочного стенда, закреплены нежестко к поверхности пола, и колебания, которые проходят через основание штатива, вступая в резонанс с его собственными колебаниями, передаются на поверяемый прибор.

Для достоверности полученных результатов измерений были проведены измерения параметров вибрации во всех реперных точках исследуемой поверочной лаборатории при помощи ультразвукового фазового вибропреобразователя, на который получен положительный результат формальной экспертизы на патент «Ультразвуковой фазовый вибропреобразователь», заявка №2011130282/28(044754), авторы: Гордеев Б.А., Куклина И.Г., Голубева К.В., Гордеев А.Б. При обработке результатов измерений была установлена высокая сходимость со значениями виброперемещений, полученными виброанализатором «ВИБРАН 2.0».

Так как при организации поверочной лаборатории не проводились наблюдения влияния вибрации на реперные точки, были выполнены измерения уровня виброперемещений на всей территории помещения лаборатории (рис. 4).

На штативах, установленных в точках 1-8, проводились измерения виброперемещений.

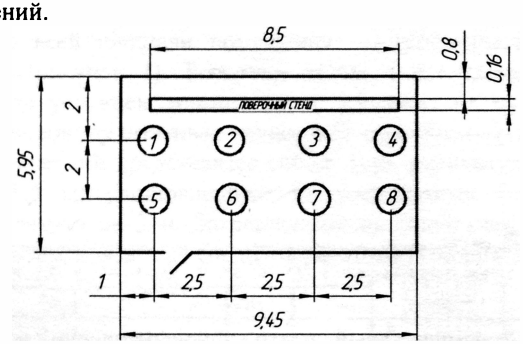


Рисунок 4. Исследование уровня виброперемещений на территории поверочной лаборатории

Установлено что, уровень виброперемещений на установочных площадках штативов на всей территории лаборатории изменяется в пределах 5 мкм, что не вносит дополнительных погрешностей при поверке геодезического оборудования. Следовательно, если проводить поверку на штативах, то реперную точку можно выбирать на любом участке исследуемой поверочной лаборатории.

В 100 метрах от поверочной лаборатории находится 4-х полосная проезжая часть с переходом, оснащенным светофором. В дневное время суток, когда загруженность дороги высокая, были проведены измерения уровня виброперемещения по всей длине поверочного стенда во время движения транспорта и при его остановке на светофоре. Результаты показали, что при заданной чувствительности прибора ВИБРАН 2.0 уровень виброперемещения в удаленной от дороги реперной точке остается неизменным, а в ближайшей

точке к дороге наблюдается повышение виброперемещения в период торможения автотранспорта на 2 мкм по сравнению со временем ожидания разрешения движения.

В целях исследования распространения вибрации по конструкции поверочного стенда и определения реперной точки с наименьшим уровнем виброперемещения, было исследовано его вибросостояние.

Наиболее важным элементом в конструкции поверочного стенда является сопряжение балки с опорами. Балка включает в себя диссипативные, а также упругие и инерционные элементы.

Изгибные колебания балки описываются уравнением

$$\rho F U_{tt} + EJU_{xxxx} = 0 \quad , \tag{1}$$

удовлетворяющего следующим граничным условиям

$$-EJU_{xxx} + mU_{tt} + C_1 U + \alpha U_t\big|_{x=0} \tag{2}$$

$$EJU_{xx} + J_0 U_{xtt} + C_2 U_x + \beta U_{xt}\big|_{x=0} \tag{3}$$

Здесь $U(x,t)$ – прогиб балки, x,t – продольная координата и время, ρ, E – плотность материала балки и модуль Юнга, F, J – площадь и момент инерции поперечного сечения балки, m – масса гасителя, J_0 – его момент инерции, C_1, C_2 – коэффициенты жесткости упругих элементов на смещение и поворот соответственно, α, β - коэффициенты вязких потерь при поперечном смещении и повороте балки.

Будем считать, что источники вибрации создают при работе периодические сигналы заданной частоты ω в стационарном режиме. Решение уравнения (1) может быть представлено в виде суперпозиции двух бегущих волн и двух экспоненциально спадающих осцилляций:

$$U(x,t) = A_1 e^{i(\omega t - kx)} + A_2 e^{i(\omega t + kx)} + B_1 e^{i\omega t - kx} + B_2 e^{i\omega t + kx} \tag{4}$$

Так как прогибы балки должны быть ограничены, в решении (4) необходимо положить $B_1 = 0$. Будем считать гаситель вибрации оптимальным при условии, что вся энергия падающей волны им поглощается. Следовательно, отраженная волна и осцилляции отсутствуют. Тогда:

$$\frac{A_2}{A_1} = 0, \frac{B_2}{A_1} = 0, \tag{5}$$

где (A_2 / A_1) - коэффициент отражения волны; (B_2 / A_1) - относительная амплитуда осцилляции на границе балки при $X = 0$. Если условия оптимальности выполняются, то можно полагать, что металлическая балка представляет собой вязко-упругую среду, в которой распространяющиеся волны затухают.

Из данной модели следует, что если присутствует отраженная волна и демпфирующие элементы отсутствуют, то в зависимости от фазовых соотношений падающих и отраженных волн в исследуемом объекте будут наблюдаться узлы и пучности. Узел соответствует затуханию колебаний на металлической балке.

Для экспериментальной проверки предложенной модели были проведены измерения параметров вибраций в частотном диапазоне от 0,5 до 100 Гц в реперных точках поверочного стенда, которые располагаются над каждой

бетонной опорой. Измерение виброперемещений проводились в точках, расположенных у основания каждой опоры и соответствующие им точки на балке. Записанные временные реализации вибропроцессов разлагались на гармонические составляющие с дискретизацией по частоте в 0,5 Гц. Проведён анализ изменения виброперемещения в каждой реперной точке поверочного стенда на частоте 0,5 Гц (рисунок 5).

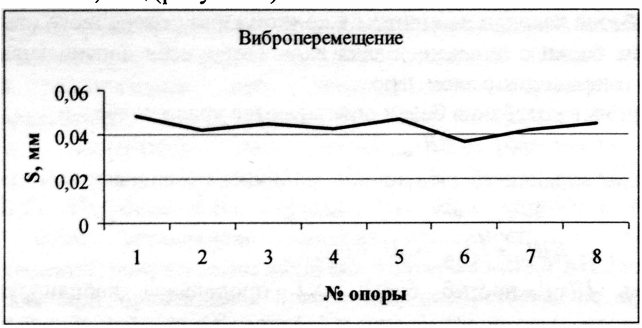


Рисунок 5. Изменение виброперемещения в реперных точках поверочного стенда

На графике ось абсцисс соответствует номеру опоры, ось ординат – виброперемещению (мм) в каждой точке. Реперные точки соответствуют контрольным точкам и расположены над каждой опорой. Из приведенного графика следует, что минимальное виброперемещение имеют опоры №2, №4, №6, №7. Вычислительный эксперимент показал, что затухание сигнала в точках крепления балки с опорами. При этом предполагается, что входными сигналами являются вибросигналы у основания опор балки, выходными - сигналы в контрольных точках балки, расположенных над опорами. В результате проведенной работы установлено, что в данной конструкции испытательного стенда не образуется отраженных волн и, следовательно, нет локальных участков с узлами и пучностями вибрационных потоков (рисунок 6), так как в точках соединения опор с поверочным стендом граничные условия соответствуют выражениям (2) и (3).



Рисунок 6. Затухание сигнала в точках крепления балки с опорами

На графике ось абсцисс соответствует номеру опоры, ось ординат – затухание сигнала в точках крепления балки с опорами (дБ). Из данного

графика следует, что точки 3, 6, 7 наиболее предпочтительны для установки геодезических приборов при их поверке, так как в этих точках наблюдается максимальное затухание вибросигнала, что доказывает их расположение в узлах собственных колебаний волн. Из анализа графиков, представленных на рис. 4 и рис. 5 следует, что наиболее предпочтительными реперными точками являются №6 и №7. Для достижения минимальных погрешностей при поверки следует устанавливать геодезическое оборудование в реперной точке №6, т.к. в ней наблюдается минимальное значение виброперемещения и максимальное затухание внешнего вибросигнала.

Для предварительной оценки собственных частот испытательного стенда разработана математическая модель. Рассмотрена задача о собственных колебаниях металлической балки исследуемого объекта, которая представлена прямоугольным сечением.

Уравнение поперечных колебаний балки представлено следующим выражением:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \quad ; \quad a^2 = \frac{EJ}{\rho S} \tag{6}$$

Где ρ - плотность материала балки; S - площадь поперечного сечения балки; U_{II} - вторая производная прогиба балки по времени; E - модуль упругости материала балки; J - момент инерции балки относительно своей горизонтальной оси. Вращательными движениями при изгибе балки пренебрегаем, так как масса балки составляет 600 кг и по всей длине жестко прикреплена к бетонным опорам.

Рассмотрим граничные условия:

$x = 0$ соответствует неподвижности балки, тогда

$$y\Big|_{x=0} = 0; \frac{\partial y}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0 \tag{7}$$

Допустим, что при $x = l$ изгибающий момент $M = -E\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} J$ равен нулю, тогда

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\Big|_{x=l} = 0; \frac{\partial^3 y}{\partial x^3}\Big|_{x=l} = 0. \tag{8}$$

Необходимы начальные условия: начальное отклонение и начальная скорость:

$$y\Big|_{t=0} = f(x); \frac{\partial y}{\partial t}\Big|_{t=0} = \varphi(x); (0 \le x \le l). \tag{9}$$

Таким образом, задача сводится к решению уравнения (6) с граничными условиями (7), (8) и с начальными (16). Задача решается способом разделения переменных (метод Фурье).

$$y = Y(x)T(t) \tag{10}$$

Уравнение для вычисления собственных значений:

$$\mathrm{sh}^2(\sqrt[4]{\lambda} l) - \sin^2(\sqrt[4]{\lambda} l) = ch^2(\sqrt[4]{\lambda} l) + 2ch(\sqrt[4]{\lambda} l)\cos(\sqrt[4]{\lambda} l) + \cos^2(\sqrt[4]{\lambda} l). \tag{11}$$

Корни уравнения (1) вычисляются графически

$$\mu_1 = 1{,}875;\ \mu_2 = 4{,}694;\ \mu_3 = 7{,}855;\ \mu_4 = 10{,}996;\ \mu_5 = 14{,}1375.\ \mu_n \approx \frac{\pi}{2}(2n-1),\ при 4 \le n \le \infty.$$

Частоты собственных колебаний балки описываются следующим уравнением:

$T'' + a^2 \lambda_n T = 0$ удовлетворяет функции

$T_n(t) = a_n \cos(2\pi\nu_n t) + b_n \sin(2\pi\nu_n t)$, где

$$\nu_n = \frac{a\sqrt{\lambda_n}}{2\pi} = \frac{\sqrt{\lambda_n}}{2\pi}\sqrt{\frac{EJ}{\rho S}} = \frac{\mu_n^2}{2\pi l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\rho S}}$$

- собственные частоты колебаний балки.

ν_1 является основной гармоникой, на которой резонирует система. $\nu_2, \nu_3, \ldots, \nu_n$ - кратные гармоники, n - число гармонических составляющих в спектре.

Полученная математическая модель (13) заранее позволит оценить, на каких частотах будут возбуждаться колебания балки не зависимо от источника вибрации.

Исследуемому поверочному стенду соответствует собственная частота колебания балки 27 Гц.

Для экспериментальной проверки полученной математической модели на расстоянии 1 м от поверочного стенда был установлен источник вибрации и измерения виброперемещений по всей длине поверочного стенда через 2 м. Максимальное значение виброперемещения соответствует гармонике 0,5 Гц. Но, в отличие от значений, которые были получены без дополнительного источника вибрации, в диапазоне частот от 27 до 31 Гц, наблюдается всплеск гармонической составляющей во всех исследуемых точках (рисунок 7). При этом максимальное значение всплеска соответствует частотам от 28Гц до 29 Гц в исследуемых точках. Полученные результаты свидетельствуют о том, что точность математической модели составляет от 3,7% до 7,4%.

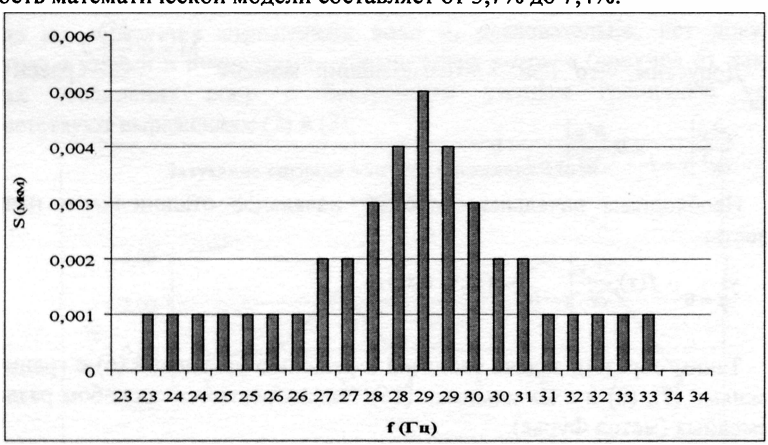


Рисунок 7. Фрагмент спектра виброперемещений в третьей точке

В целях исключения возникновения дополнительных колебаний поверочного стенда на высоких частотах, следует устранить такие источники вибрации, которые по частоте совпадают с исследуемым объектом.

С целью определения основных источников вибрации были проведены суточные 24-х часовые наблюдения изменения параметров вибрации поверочного стенда.

В 9.00, 15.00, 21.00, 3.00 были проведены измерения вибропермещений по всей длине стенда для поверки геодезического оборудования. Контрольные точки на поверочном стенде, как и в предыдущих исследованиях, расположены над каждой бетонной опорой.

Минимальные вибропермещения поверочного стенда наблюдаются в 3.00 и в 21.00. После окончания рабочего дня уровень вибрации снижается до 7 дБ. Следовательно, основными источниками вибрации поверочного стенда в дневное время суток являются такие факторы: работа лифтов; электродвигателей, таких как морозильная камера, вентиляторы; загруженность автотранспортом; работа персонала.

Наличие колебаний поверочного стенда в ночное время суток свидетельствует о том, что кроме внешних источников вибрации существуют дополнительные. Известно, что поверхность земли находится в непрерывном колебательном состоянии. Бетонная опора поверочного стенда погружена в землю на 3 м. Силы инерции, возникающие в сооружении при колебании, вызывают в грунте упругие деформации, т.е. колеблющиеся опоры является излучателем сейсмической энергии. Таким образом, присутствие низкочастотных гармонических составляющих 0,5 Гц в ночное время суток свидетельствуют о наличии колебаний, которые передаются к поверочному стенду, как от самого здания, так и от поверхности земной коры.

Таким образом, ночное время суток – это наиболее предпочтительный временной интервал для проведения точных поверочных работ геодезического оборудования. В ночное время суток возрастает вероятность появления ошибок самого поверителя. Поэтому для того, чтобы обеспечить точность измерений при поверке в утреннее и дневное время суток, когда наблюдается максимальный уровень виброперемещений, в работе предложены следующие методы снижения уровня вибрации в лаборатории по поверке геодезического оборудования:

- снижение уровня вибросигналов путём устранения синхронизации электродвигателей;
- устранение основных источников вибросигналов путём разработки специальных демпферов, гасящих вибрацию;
- на верхнем этаже установить пассивный маятниковый демпфер.

Гидравлическая виброопора (Патент Российской Федерации № 2104424. Гидравлическая виброопора / Гордеев Б.А., Весницкий А.И., Марков В.И., Аббакумов Е.И. Заявлено 03.01.96. Заявка № 96100147/28. Опубл. 10.02.98. Бюл. № 4) была установлена между основанием поверочного стенда и нивелиром Trimble DiNi 12 в наиболее предпочтительной реперной точке, в которой уровень вибрации наименьший. После установки гидроопоры виброперемещение у основания нивелира снизилось на 9 мкм.

Глава 3. Исследование влияния вибрации на поверочный стенд.

При анализе нормативной документации по поверке геодезического оборудования выявлено, что отсутствует нормативное значение уровня

вибрации при поверке для геодезических приборов. Вибрация, в свою очередь, вносит погрешность измерений при поверке, что и доказано в поставленном эксперименте.

Объектами исследования были выбраны наиболее часто поверяемые геодезические приборы - нивелиры разных классов точности: точный цифровой нивелир Leica wild Na2002, высокоточный цифровой нивелир Trimble DiNi 12.

В реперной точке поверочного стенда, где уровень вибрации минимальный, был установлен высокоточный поверенный нивелир Trimble DiNi 12, от которого на расстоянии 5 м установили источник вибросигналов. При приведении источника в рабочее положение, были проведены измерения виброперемещений у основания нивелира и показаний среднеквадратических отклонений превышений нивелира Trimble DiNi 12. Далее были проведены измерения виброперемещений и определено среднеквадратическое отклонение превышений (СКО) нивелира, когда источник вибрации располагался на расстоянии 5 м, 4 м, 3 м, 2, м. 1 м и у основания нивелира.

Зависимость среднеквадратического отклонения превышения высокоточного нивелира Trimble DiNi 12 от показаний портативного виброанализатора «ВИБРАН – 2.0» представлена на рисунке 8.



Рисунок 8. Зависимость среднеквадратического отклонения превышения высокоточного нивелира Trimble DiNi 12 от виброперемещения

На графике видно, что в интервале виброперемещения до 0, 2155 мм влияния вибрации на СКО превышения нивелира Trimble DiNi 12 отсутствуют. Когда источник вибрации установлен ближе, чем на 3 м, что соответствует вибропермещению 0, 2155 мм, происходят изменения СКО. Если источник расположен в промежутке от 3м до 1 м, то изменение вибрации описывается нелинейными функциями. Данный эффект обусловлен передачей вибросигнала по металлической балке поверочного стенда, при этом возникает резонансное явление, в котором прибор даёт резкое возрастание погрешности. Если источник расположен у основания исследуемого объекта, но не касается его, то значения СКО связаны прямолинейной зависимостью.

Согласно методике поверки нивелиров в метрологической лаборатории ФГУП «ВАГП» предел среднеквадратического отклонения превышения для высокоточного цифрового нивелира Trimble DiNi 12 составляет 0,5 мм. На графике видно, что данный предел попадает в прямолинейную зависимость:

$$y = kx + b, [0{,}263; 0{,}515] \quad (13)$$

где k - тангенс угла наклона прямой.

Зная данную зависимость можно установить такой норматив предела уровня вибрации, значение которого не будет влиять не результаты поверки высокоточных нивелиров.

$k = (0{,}51 - 0{,}22)/(0{,}515 - 0{,}263) = 1{,}15$

$b = -0{,}082$

Уравнение прямой на отрезке $[0{,}263; 0{,}515]$ будет иметь вид:

$$y = 1{,}151x - 0{,}082, [0{,}263; 0{,}515] \quad (14)$$

Подставляя вместо y значение предела СКО превышения для нивелира Trimble DiNi 12, то получаем значение уровня виброперемещения S:

S=0,505 мм

Таким образом, предельно допустимый уровень виброперемещения, при котором не регистрируется влияние вибрации на точность измерений при поверке высокоточных нивелиров, составляет 0,505 мм.

Аналогичный эксперимент был поставлен для точного нивелира Leica wild Na2002 (рисунок 9).

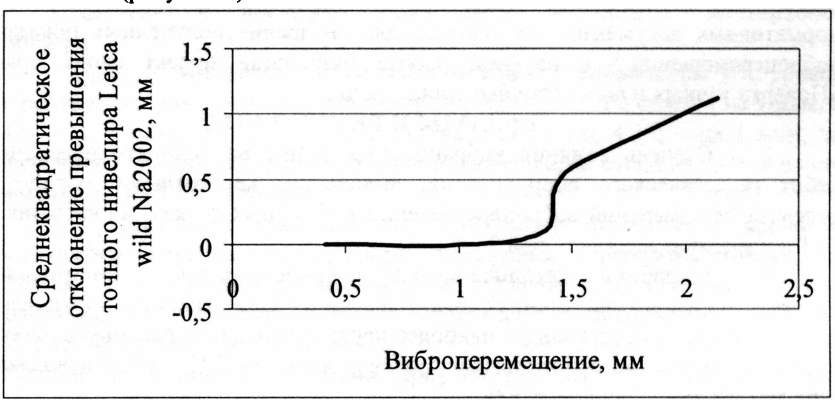


Рисунок 9. Зависимость СКО превышения точного нивелира Leica wild Na2002 от показаний виброанализатора «ВИБРАН – 2.0»

Согласно методике поверки нивелиров в исследуемой метрологической лаборатории предел среднеквадратического отклонения превышения для точного цифрового нивелира Leica wild Na2002 составляет 1 мм.

Предельно допустимый уровень виброперемещения для точного нивелира Leica wild Na2002:

S=1,995 мм

При сравнении зависимости СКО превышения двух разных по точности нивелиров от виброперемещения наблюдается сходимость графиков. Идентичность зависимости СКО от виброперемещения двух различных по точности приборов показывает, что в связи с воздействиями вибрационных полей из-за возникновения резонансных явлений возникает зона вибрации, в

которой происходит резкое возрастание погрешности прибора. Что и следует учитывать в выходные показатели поправок исследуемого процесса.

Глава 4. Улучшение системы контроля качества процедуры поверки геодезического оборудования.

В работе установлены риски проведения некачественной поверки геодезического оборудования (рисунок 10).



Рисунок 10. Риски нарушения процесса поверки геодезического оборудования

Вследствие отсутствия национальных стандартов по поверке геодезического оборудования в целях обеспечения соблюдения требований проектирования (включая изыскания) и строительства, для унификации нормативных документов по поверке, для внедрения полученных показаний виброперемещений в научной работе разработан проект свода правил «Поверка точных и высокоточных нивелиров».

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Степень влияния вибрационных полей на точность поверочных работ геодезического оборудования, выявленная кепстральной обработкой результатов измерений виброперемещений в реперных точках, на частотах 9 - 14 Гц идентична влиянию при 3 – 5 Гц.

2. Разработана методика нахождения реперных точек с минимальным уровнем вибрации на стендах для поверки геодезического оборудования, которая позволила установить наиболее предпочтительную реперную точку на площади всей метрологической лаборатории ФГУП «Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие».

3. Разработана математическая модель, позволяющая предварительно оценить на каких частотах возникает возбуждение колебаний в поверочных стендах геодезических приборов (балка на опорах), не зависимо от источника вибрации. Вычислительным экспериментом установлено, что частота собственных колебаний металлической балки поверочного стенда в исследуемой лаборатории составляет 27 Гц. Принятая модель нахождения собственных колебаний балки поверочного стенда имеет расхождение с экспериментальными результатами в интервале от 3,7 до 7,4%.

4. Суточные наблюдения изменения параметров вибросигналов в поверочной лаборатории ФГУП «Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие» показали преобладание низкочастотных гармоник 0,5 Гц, которые свидетельствуют о сейсмическом влиянии земной коры на исследуемый поверочный стенд.

5. Установлено, что сейсмическое влияние земной коры и микросейсмов техногенного происхождения на исследуемый поверочный стенд лаборатории ФГУП «Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие» показывает преобладание низкочастотных гармоник 0,5 Гц, превышающих уровень ближайших гармоник на 5 – 10 дБ. Выявлено, что основными источниками вибрации являются

- работа двигателей на всей территории здания;
- работа персонала;
- работа поверителя;
- движение автотранспорта;
- собственные колебания здания, где располагается поверочная лаборатория;
- влияние микросейсмов техногенного и природного происхождения.

6. Предложены способы снижения уровня вибросигналов на рабочем месте поверителя:

- устранение основных источников вибросигналов путём разрушения синхронизации работы электродвигателей;
- устранение основных источников вибросигналов применением разработанных специальных демпферов, гасящих вибрацию;
- применение на последнем этаже здания пассивного маятникового демпфера.

При установке гидравлической виброопоры уровень виброперемещения у основания нивелира на частоте 0,5 Гц снижен на 9 мкм, на 1 Гц – на 4 мкм, на 1,5 Гц – на 2 Гц, на 2 Гц, 3 Гц, 4 Гц – на 1 мкм, что обеспечило снижение влияния вибрации на поверочный стенд на 23% в ночное время суток, на 14% - в дневное.

7. Предложен графоаналитический метод определения предельно допустимого значения уровня виброперемещения в реперных точках, при котором обеспечиваются нормальные условия проведения поверки геодезического оборудования. Определён допустимый уровень виброперемещения в реперных точках, при котором не регистрируется влияние вибрации на точность измерений при поверке высокоточных нивелиров, составляющий 0,505 мм, для точных нивелиров 1,995 мм.

8. Выполнен анализ существующей системы менеджмента качества и предложены этапы планирования качества поверочных работ геодезического оборудования в метрологических службах, позволяющие повысить уровень качества и объём поверочных работ; снизить затраты, связанные с некачественной поверкой.

9. Для внедрения полученных допустимых значений виброперемещений, при которых не регистрируется влияние вибрации на точность измерений при поверке точных и высокоточных нивелиров, в целях унификации нормативных документов на поверку данного геодезического оборудования разработан проект свода правил «Поверка точных и высокоточных нивелиров».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гордеев Б.А., Голубева К.В. Повышение качества поверки средств измерения механических величин // Приволжский научный журнал. – Нижний Новгород, 2010. - №2. С. 61 – 67.
2. Гордеев Б.А., Голубева К.В. Измерение дисбалансов шнековых валов // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – Н. Новгород, 2011. – №4. С. 101 – 103.
3. Гордеев Б.А., Голубева К.В. Вибродиагностика стенда для поверки геодезического оборудования // Метрология. – М.: ФГУП «Стандартинформ» - 2011. - №9. С. 28 – 33.
4. Голубева К.В. Оценка погрешностей при поверке геодезического оборудования при действии сторонних источников вибрации // Приволжский научный журнал – Нижний Новгород, 2011. - №4. С. 67 – 71.
5. Малышева К.В., Гордеев Б.А. Обеспечение качества поверочных работ метрологической лаборатории // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Н.Новгород: ННГАСУ, 2009. Выпуск 11. С. 312 – 314.
6. Самосинхронизация источников вибрации, как причина возникновения низкочастотных биений / Б.А. Гордеев и др.//Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2010. №3. С. 100 – 105.
7. Голубева К.В. Выбор импедансов в зонах соединения поверочного стенда с несущими опорами // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Сборник трудов четырнадцатой Международной научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов (Москва, 27-29 апреля 2011 г.) (ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет) – М.: МГСУ, 2011. С. 30 – 32.
8. Уведомление о положительном результате формальной экспертизы на патент. Ультразвуковой фазовый вибропреобразователь. Заявка №2011130282/28(044754) / Б.А. Гордеев, И.Г. Куклина, К.В. Голубева, А.Б. Гордеев. 30 августа 2011.