

На правах рукописи

СОЛОВЬЁВ СЕРГЕЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ  
ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

25.00.32 - Геодезия

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва – 2011

Работа выполнена на кафедре прикладной геодезии геодезического факультета  
Московского государственного университета геодезии и картографии

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент  
Корнеев С.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Маркузе Ю.И.

кандидат технических наук, профессор  
Зайцев А.К.

Ведущая организация - ОАО Государственный специализированный  
проектный институт (ГСПИ)

Защита состоится « 22 » декабря 2011г, в 12.00 час. на засе-  
дании диссертационного совета Д.212.143.03 в  
Московском государственном университете геодезии и картографии  
по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер. 4, МИИГАиК, зал заседаний  
Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Климков Ю.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время изменилась архитектура строительных объектов, от типовой она перешла к индивидуальной, разнообразной по форме и геометрическим параметрам. Эта тенденция повысила требования к геодезическому обеспечению строительства. Геодезические измерения являются обоснованием для выполнения строительно-монтажных работ, при этом их нельзя отделить от производственного цикла, так как непосредственно за измерениями следует монтаж строительных конструкций. Поэтому требуется обеспечить высокую надёжность измерений. Необходимо отметить, что измерения в строительстве имеют существенные особенности. Некоторые методы измерений не исключают инструментальные погрешности и не содержат полноценного контроля. Кроме того, контроль измерений трудно обеспечить в условиях непрерывного цикла и высоких темпов современного строительства. Ограниченность строительной площадки не позволяет избежать влияния производственных факторов, таких как ударные воздействия, вибрации и т.п. Поэтому надёжность измерений во многом определяется работоспособностью используемых геодезических приборов. В настоящее время контроль работоспособности приборов производится, в основном, периодической поверкой. Поверка осуществляется аккредитованными метрологическими центрами, она производится один раз в год и служит для определения метрологической пригодности прибора в целом. Опыт использования геодезических приборов на строительной площадке говорит о том, что поверка с жёстко установленным межповерочным интервалом является недостаточной. В условиях строительства необходимо обеспечить работоспособность прибора в момент измерений, так как его неисправность может привести к значительным отклонениям конструкций от проектного положения. Поэтому для обеспечения требуемого качества строительства необходимо повысить надёжность геодезических измерений путём своевременного контроля работоспособности приборов на объекте строительства. Для чего операции контроля необходимо включить в технологию геодезического обеспечения строительных работ. Контроль должен производиться оперативно, в рабочих условиях эксплуатации, с использованием методов, соответствующих методам измерений в строительстве и с учётом погрешностей, имеющих существенное влияние на точность. Межконтрольный интервал может составлять от суток до года и устанавливается для конкретных операций.

Целью работы является:

Разработка методов повышения надёжности геодезических измерений в условиях строительства путём обеспечения контроля работоспособности приборов при выполнении геодезических работ.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведён анализ средств и методов геодезических измерений в строительстве.
2. Выполнены экспериментальные исследования условий производства, определены факторы влияния на надёжность измерений при геодезическом обеспечении строительных работ и установлены требования к проведению геодезических измерений.
3. Проведены исследования работоспособности геодезических приборов в условиях строительства.
4. Разработаны способы контроля работоспособности приборов в рабочих условиях строительного объекта для повышения надёжности измерений при геодезическом обеспечении строительных работ.

Научная новизна определяется следующим:

1. Получены новые данные о влиянии на надёжность измерений различных источников вибраций и ударных воздействий в условиях строительства, на основе которых установлены требования к проведению измерений при геодезическом обеспечении строительных работ.
2. Впервые для каждой конкретной метрологической характеристики геодезических приборов определена периодичность контроля в зависимости от нестабильности характеристики в условиях строительства.
3. Разработаны усовершенствованные оперативные способы контроля работоспособности приборов с применением контрольных стендов для повышения надёжности геодезических измерений в рабочих условиях производства работ на объектах строительства.

Практическая ценность работы Разработаны способы, которые позволяют в рабочих условиях строительного объекта повысить надёжность геодезических измерений за счёт исключения погрешностей из-за нестабильности характеристик прибора и ослабления влияния производственных факторов, что повлечёт за собой сокращение непроизводственных затрат времени на исправление результатов измерений, сокращение брака при производстве геодезических и строительных работ, повышение надёжности выполненных конструкций.

Основные результаты исследований внедрены при разработке нормативных документов: «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

топографо-геодезического назначения» (РТМ 68-8.24-01); «Теодолиты. Методика поверки» (МИ 08-00); «Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов» (ГКИНП 17-195-99). Результаты работы были применены при геодезическом обеспечении строительства следующих объектов: м-на Крылатское, Юго-западной заправки, Горки-6 , 21, 26 кварталов, м-на №7 Колычёво, м-на «Центральный», Ледового дворца, Квартала жилых домов, Торгово-офисного центра, Сапожковых-7 и Кирова-10 .

Апробация работы. По теме диссертации автором сделаны доклады на седьмом отраслевом семинаре по метрологии (г. Н.Новгород – 2000г.), 7, 9 Всероссийских форумах по геоинформационным технологиям (Москва – 2000, 2002гг.), научно-технической конференции по инженерной геодезии (МГСУ-МИСИ – 2006), международной научно-технической конференции «Геодезия, картография и кадастр – XXI век» (МИИГАиК - 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано девять работ, из которых четыре в журналах, рекомендуемых ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 170 страницах, и содержит 61 таблицу и 19 рисунков. Список литературы включает 123 наименования, в том числе 12 на иностранных языках.

На защиту выносятся следующие результаты исследований и разработок:

- 1) Результаты экспериментальных исследований влияния условий производства на надёжность измерений при геодезическом обеспечении строительных работ.
- 2) Результаты исследований работоспособности приборов, используемых при геодезических измерениях в строительстве.
- 3) Способы контроля теодолитов при выполнении геодезических измерений в условиях объекта строительства.
- 4) Способы контроля нивелиров при выполнении геодезических измерений в условиях объекта строительства.
- 5) Способы контроля тахеометров при выполнении геодезических измерений в условиях объекта строительства.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации. Сформулированы основные цели и задачи работы. Приведены данные, характеризующие выполненные исследования. Представлены результаты, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу применяемых средств и методов измерений, специфики строительного производства.

Анализ технологических операций показал следующее: во-первых, в строительстве принята рабочая система координат (прибор-объект), которая зависит от конфигурации, высоты строящегося сооружения, размеров строительной площадки, вследствие чего измерения часто производятся при большом неравенстве плеч и значительных углах наклона зрительной трубы, расстояния измеряются в небольшом диапазоне (до 200м). Во-вторых, на строительной площадке измерения часто проводятся при наличии влияния производственных факторов: вибрации, отдельных ударов, толчков, магнитных полей. В-третьих, из-за непрерывного цикла работ монтаж конструкций производится сразу после выполнения измерений, при этом обычно время измерений ограничено. В этих условиях погрешности измерений могут полностью входить в погрешность положения конструкций. Следствием перечисленных факторов является необходимость повышения надёжности измерений. При этом должен быть обеспечен полноценный контроль работоспособности приборов, особенно в момент измерений. Контроль приборов должен производиться максимально оперативно в рабочих условиях строительства или близких к ним.

На основе анализа геодезических приборов и специфики производства работ в строительстве сформулированы задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена разработке требований, состава и средств контроля, исследованию работоспособности приборов и условий геодезического обеспечения строительства.

Вначале выполнен анализ существующих способов контроля приборов и инструментальных погрешностей при выполнении геодезических измерений в строительстве.

Анализ показал следующее:

1) Традиционный состав операций и способы контроля приборов, разработанные для геодезической отрасли, не соответствуют условиям производства и применяемым методам измерений в строительстве.

2) В существующих способах межконтрольные интервалы устанавливаются для приборов, изменение характеристик которых является следствием износа их элементов, при этом единый интервал устанавливается независимо от срока и условий эксплуатации приборов.

3) Единый интервал устанавливается для всех типов приборов и всех операций контроля, хотя стабильность отдельных характеристик приборов различна.

4) Применяемый лабораторный способ контроля не учитывает влияния про-

изводственных условий, используемых методов измерений, существенных инструментальных погрешностей, диапазона измерений в строительстве.

На основании выполненного анализа сделан вывод о том, что для обеспечения надёжности геодезических измерений в строительстве недостаточно проведение контроля в лабораторных условиях с единым интервалом. Здесь необходимо обеспечить работоспособность прибора в момент измерений, поэтому требуется для каждой конкретной характеристики определить свой межконтрольный интервал в зависимости от её нестабильности в рабочих условиях эксплуатации. Методы контроля должны соответствовать методам измерений в строительстве.

Существенным отличием проведения контроля в строительстве является проблема исключения влияния неблагоприятных факторов, которые отсутствуют при выполнении контроля традиционными методами в топогеодезическом производстве. Основными неблагоприятными факторами являются вибрация и ударные воздействия. Для определения их влияния выполнены экспериментальные исследования. Ранее проводились исследования вибрации на вибростендах, но там изучалось влияние вибрации непосредственно во время измерений. Условия строительной площадки позволяют ослабить прямое воздействие вибрации наличием некоторого (хотя и ограниченного) выбора места и времени измерений. Поэтому в строительстве имеют значение образующиеся при этом остаточные смещения, которые не всегда обнаруживаются при производстве измерений и имеют длительный период воздействия. В данной работе целью исследований является изучение влияния на точность измерений вибрационных и ударных воздействий и определение требований для производства геодезических работ. При этом источниками воздействий являются наиболее распространённые в строительстве: сваебойная установка, ручной ударный инструмент и отбойный молоток. Средство измерений (2Т2) устанавливалось на определённом расстоянии от источника, наблюдения производились на визирную марку, которая находилась вне зоны воздействия. Для каждого источника были составлены программы и методики исследований. По результатам исследований составлены графики смещений в системе «штатив - грунт» и «штатив - опорная конструкция».

Графики смещений при воздействии сваебойной установки (рис. 1а) показывают, что при расстоянии 23 метра от источника (минимально допустимое расстояние по технике безопасности) остаточное смещение прибора составляет 43", что соответствует сдвигу по вертикали на 20мм, через час после забивки последней сваи - 24" (12мм). Смещение прибора изменяется: за первый час по-

сле забивки последней сваи на 9" (4.5мм), за второй час - на 5" (2.5мм). При расстоянии до источника 50 метров график ведёт себя примерно так же, но с меньшими величинами (рис. 1б). Максимальное остаточное смещение прибора здесь составляет 8" (4мм), изменение величины смещения в течении часа - незначительно.

На строительной площадке или вблизи неё часто находятся различные источники магнитного излучения: ЛЭП, преобразовательные подстанции, электрокабели, сварочные аппараты и т.п. Для учёта их влияния при проведении измерений установлена допустимая величина магнитного поля. Индукция магнитного поля определена на основании проводившихся ранее исследований влияния высоковольтных ЛЭП на точность нивелирования, где была установлена зависимость погрешности измерений от величины силы тока в ЛЭП. Используя полученную силу тока, автор рассчитал допустимую величину магнитной индукции (МИ) по формуле:

$$B_{\text{дон}} = N \frac{4\pi 10^{-7} I_{\text{дон}}}{2\pi r} = 5 \cdot 10^{-6} T, \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от прибора до источника,

$N$  – количество проводов,

$I_{\text{дон}} = 60\text{А}$  – максимальная сила тока, при которой погрешность измерений незначительна.

Путем преобразования формулы (1) автор получил выражение для расчета допустимого расстояния от прибора до источника в зависимости от величины силы тока:

$$r_{\text{дон}} = \frac{2NI \cdot 10^{-7}}{B_{\text{дон}}}, \quad (2)$$

где  $I$  – сила тока в ЛЭП.

По этой формуле геодезист строительной организации может рассчитать допустимое расстояние от источника магнитного излучения для точек установки прибора на площадке.

Был проведен анализ выполненных немецкими учеными исследований влияния магнитного поля на нивелиры с компенсатором, где определялась величина отклонения визирной линии (угол  $i$ ) нивелира Ni 007 в зависимости от



величины магнитного поля и направления его вектора. По результатам исследований сделаны следующие выводы.

- а) Влияние переменного поля больше чем постоянного.
- б) При изменении направления вектора магнитного поля изменяется величина отклонения визирной линии (угол  $i$ ) нивелира.
- в) Минимальная погрешность образуется при положении источника излучения со стороны объектива или окуляра прибора, максимальная – слева или справа от визирной линии прибора.

Вывод: измерения лучше производить при положении визирной оси перпендикулярно источнику магнитного излучения; кроме того, в зоне действия магнитного поля расстояние до рейки должно быть не более 50 метров.

На основе выполненных исследований определены требования к рабочему месту наблюдателя:

1. Геодезические измерения допускается выполнять во время работы сваебойной установки при расстоянии от прибора до источника 23 метра не ранее чем через два часа после забивки последней сваи, при расстоянии 50 метров от источника - в периоды между забивкой свай.
2. Измерения допускается выполнять при работе ударным инструментом или отбойным молотком с условием установки прибора на расстоянии не менее десяти метров от источника воздействий, и на перекрытиях, отделённых температурным швом и опирающихся на отдельные опорные конструкции. Во всех остальных случаях измерения можно выполнять не менее чем через 30 минут после производства ударов и 20 минут после работы отбойным молотком.
3. При производстве геодезических измерений величина магнитной индукции в рабочем пространстве не должна превышать  $5 \cdot 10^{-6} \text{Т}$ .

Если условия строительной площадки не позволяют выполнить требования 1 и 2 в полном объёме, то измерения необходимо производить следующим образом:

- нивелировку точек выполнять с двух станций или в процессе нивелирования контролировать горизонт инструмента по дополнительной рейке, установленной на контрольную точку вне зоны воздействия;
- угловые измерения производить двумя полными приёмами с контролем сходимости результатов;
- при выполнении угловых измерений производить контроль положения прибора по дополнительной марке, установленной вне зоны воздействия.

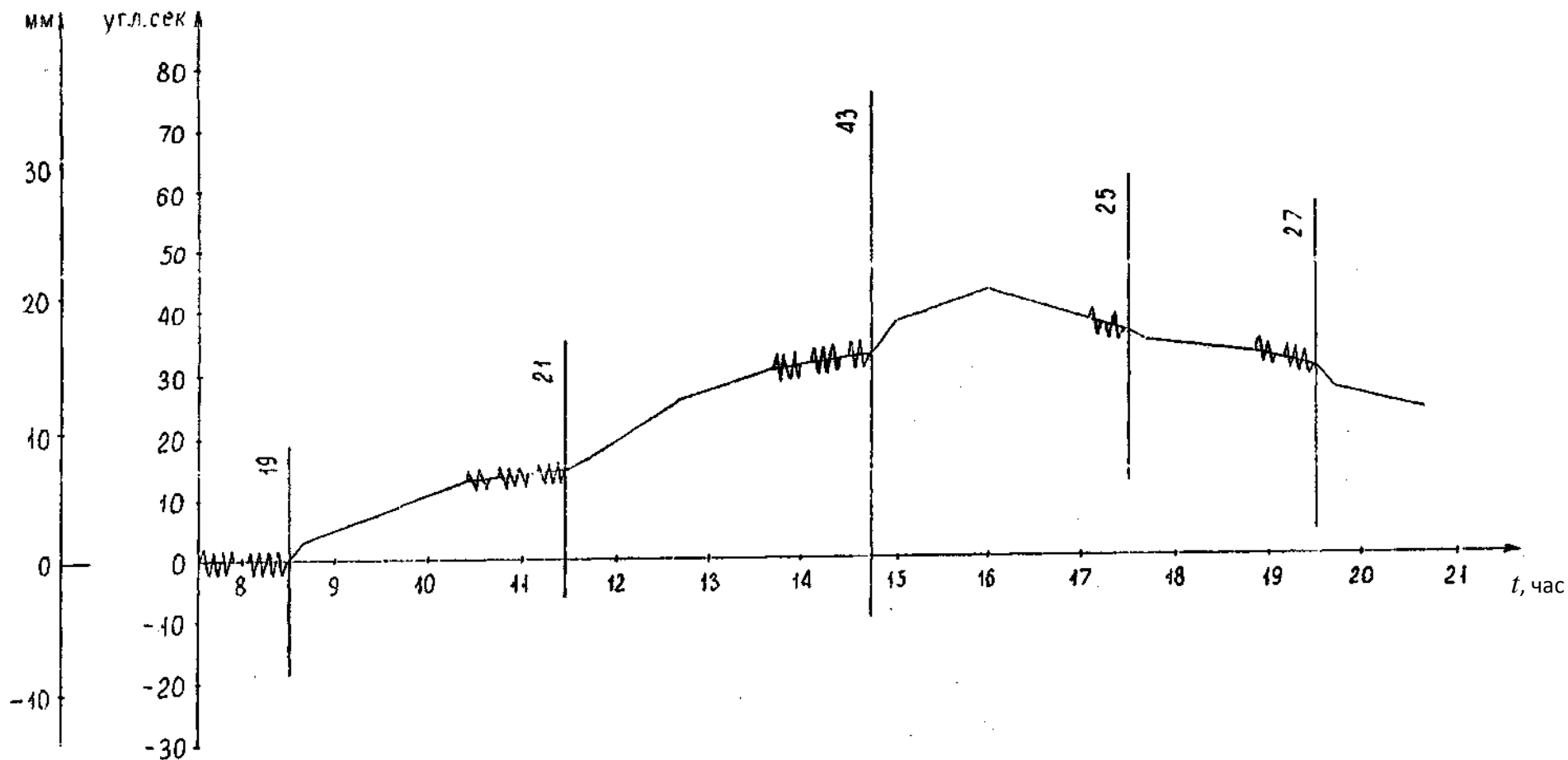


Рис. 1, а. График смещений по вертикали в системе «штатив-грунт» при забивке свай.  
 Расстояние до источника 23 метра.

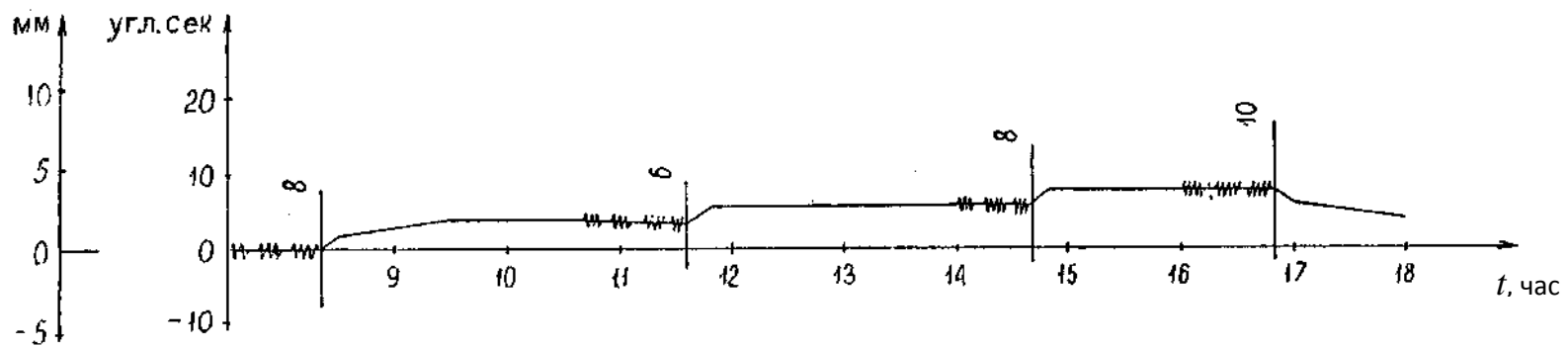


Рис. 1, б. График смещений по вертикали в системе «штатив-грунт» при забивке свай.  
Расстояние до источника 50 метров.

При воздействии производственных факторов периодически происходит разъюстировка прибора. При этом разные характеристики имеют различную нестабильность. Чтобы обеспечить исправность приборов в момент измерений необходимо определить интервалы изменения отдельных характеристик в условиях строительства. С этой целью были выполнены экспериментальные исследования работоспособности геодезических приборов. Исследования проводились тремя способами: а) при выполнении контроля 35 геодезических приборов непосредственно на строительных площадках, б) методом постановки на подконтрольную эксплуатацию (сбор и анализ данных о качестве и надёжности приборов в условиях эксплуатации), в) путём анализа результатов технического обследования 150 приборов, используемых в строительстве, в территориальных центрах метрологии (ЦСМ).

По результатам исследований выявлена нестабильность коллимационной погрешности теодолитов 3Т5, 3Т5КП, 2Т5К, 4Т30П, 2Т30П, Theo 120, тахеометров Trimble 330, SET 600, 3ТА5, сетки нитей теодолитов 3Т5, 3Т5К, угла  $i$  нивелиров АТ-24D, АL24D, АL20D, С330, DSZ3, С31, С32, С330, С41, С410, 3Н2КЛ, 3Н3КЛ, 2Н3Л, Н3, Н3К, 3Н5Л, 2Н10Л, 2Н10КЛ, сетки нитей 2Н3Л, Н3, 2Н10Л, 2Н10.

На основе анализа результатов исследований произведена выборка приборов с характерными отказами за различные интервалы времени (табл. 1).

Таблица 1

Выборка приборов	Причины отказов	Интервалы, месяц					
		Количество отказов					
		18	12	6	3	1	0.5
40 нивелиров	нестабильность сетки нитей	9	7	5	4	2	2
	нестабильность угла $i$	18	14	11	8	5	4
	неисправность компенсатора	7	6	4	3	2	-
36 теодолитов	нестабильность сетки нитей	7	5	3	3	2	2
	нестабильность коллимационной погрешности	16	13	10	6	5	3
	погрешность оптического центра	12	9	7	4	3	-

30 тахеометров	нестабильность сетки нитей	5	5	4	3	3	-
	нестабильность коллимационной погрешности	12	9	6	4	3	2
	нестабильность места нуля	10	8	5	5	3	3
	погрешность оптического центра	6	5	5	3	2	-

Данные таблицы позволяют определить межконтрольные интервалы (МКИ) для каждой отдельной характеристики.

Автором выполнен анализ существующих способов определения МКИ и предложен способ, где интервал для отдельных характеристик определяется методом фиксации отказов при выполнении контроля геодезических приборов в рабочих условиях. При этом делаются выборки в количестве минимум 30 приборов одного типа, для которых известны интервалы контроля и его результаты. Для более достоверного определения интервала предложено проводить его оценку путём определения статистического значения вероятности безотказной работы прибора (по результатам выборки):

$$P_t = \frac{N_t - n_t}{N_t}, \quad (3)$$

где  $N_t$  — количество приборов однородной группы,  
 $n_t$  — количество приборов, забракованных по скрытым отказам в течение интервала  $t$ .

Полученная вероятность сравнивается с пределом допускаемых значений вероятности метрологической исправности прибора в момент измерений  $P_{ми} = P_{дон} = 0.95$  по формуле:

$$P_{дон} - 1.28 \cdot \sqrt{\frac{P_{дон}(1 - P_{дон})}{N_t}} \leq P_t \leq P_{дон} + 1.28 \cdot \sqrt{\frac{P_{дон}(1 - P_{дон})}{N_t}}, \quad (4)$$

где 1.28 – значение аргумента функции Лапласа  $\Phi(t)$ , при котором  $\Phi(t) = \gamma/2$  ( $\gamma$  – заданная надёжность).

Значение аргумента выбирается из таблицы функции Лапласа. Представленным способом выполнен расчёт интервалов для каждой конкретной операции контроля.

На основе анализа методов измерений, инструментальных погрешностей, выполненных исследований и расчётов установлен состав операций контроля и межконтрольные интервалы для нивелиров, теодолитов, тахеометров и приборов вертикального проектирования (ПВП), используемых в строительстве (табл.2).

Таблица 2

№ п/п	Операции контроля	Периодичность
1	Проверка внешнего состояния, опробование, проверка устойчивости штатива для всех приборов. Определение коллимационной погрешности теодолитов, тахеометров. Определение места нуля вертикального круга тахеометра Определение угла $i$ нивелира. Проверка правильности юстировки уровней нивелира. Проверка сочленений телескопической рейки.	Ежедневно перед началом измерений.
2	Определение угла наклона сетки нитей теодолита, тахеометра и нивелира.	1 неделя. После работы в условиях вибрации.
3	Проверка перпендикулярности оси вращения трубы к вертикальной оси теодолита, тахеометра. Определение погрешности оптического центра теодолита, тахеометра. Определение систематической погрешности компенсатора нивелира. Определение СКП измерения расстояний тахеометром. Определение СКП измерения вертикальных углов тахеометром. Определение СКП погрешности проектирования ПВП. Определение погрешности совмещения начала счёта шкалы с плоскостью пятки рейки.	1 месяц. После работы в условиях вибрации.
4	Определение погрешностей длины метровых интервалов рейки.	2 месяца. После работы в условиях вибрации.
5	Определение погрешности из-за перефокусировки зрительной трубы теодолита, тахеометра.	3 месяца. 1 месяц – при выполнении работ с большой перефокусировкой. После работы в условиях вибрации.

В третьей и четвертой главах представлены результаты разработок и исследований способов контроля геодезических приборов с использованием стационарных и передвижных лабораторий в условиях строительства. Выполнена разработка методики контроля для теодолитов, используемых в строительстве. Для проверки объективности методики выполнены исследования приборов различной точности и влияния личного фактора (при участии наблюдателей с различным стажем работы). Проведены также исследования методов определения СКП измерения горизонтального угла (приёмов, Шрейбера, международного стандарта ISO) и исследования с целью установления оптимального количества приёмов измерений при определении метрологических характеристик: наклона сетки нитей, коллимационной погрешности, неперпендикулярности оси вращения зрительной трубы к вертикальной оси прибора. Особое внимание было уделено исследованию погрешности из-за перефокусировки зрительной трубы теодолита. В 70-е годы XX столетия эту погрешность исследовали многие авторы, и ее влияние оценивали в 5-18 угловых секунд. После анализа существующих способов диссертант предложил способ, где в качестве рабочего эталона используется специальный теодолит с дополнительной трубой, который позволяет выполнять измерение углов с различными сторонами без перефокусировки. В этом случае погрешность измерения угла:

$$\Delta\beta = \beta_{и} - \beta_{э} , \quad (5)$$

где  $\beta_{и}$  и  $\beta_{э}$  – величины, полученные соответственно при измерении угла проверяемым прибором и рабочим эталоном.

В формуле (5)  $\Delta\beta$  является суммарной погрешностью, в которую наряду с другими входит погрешность перефокусировки. Чтобы её выделить, необходимо определить несколько суммарных погрешностей измерения угла при различных расстояниях до наблюдаемых целей и сравнить их величины. Разность величин будет характеризовать погрешность из-за перефокусировки  $\Delta\beta^{\phi}$

$$\Delta\beta^{\phi}_i = \Delta\beta_j - \Delta\beta_{j+k} , \quad (6)$$

где  $j = 1 \dots n$  – порядковый номер угла (суммарной погрешности);

При определении данной погрешности для теодолитов, используемых в строительстве, были установлены визирные марки, которые образовали три угла с неравными сторонами: 15-40м, 40-200м, 15-200м.

В исследование были включены теодолиты: 3Т5КП, 2Т5К, 2Т5 и 4Т30П. Все измерения производились в условиях строительной площадки. Из получен-

ных данных установлено, что разности  $\Delta\beta^{\phi}$  величин отклонений от эталонных углов (формула б) не превышают допустимую величину погрешности для каждого типа теодолита. Следовательно, у данных рабочих средств измерений погрешность перефокусировки отсутствует или незначительна.

В ходе работы над диссертацией автором были выполнены исследования нивелира НИК-3 на испытательной базе ЦНИИГАиК в соответствии с программой государственных приёмочных испытаний. Проведён сравнительный анализ результатов исследований нивелиров НИК-3, С30, С41, 2НЗЛ, НЗ. Полученные результаты были учтены при разработке состава контроля для нивелиров, используемых в строительстве. Для определения способа контроля главного условия нивелира автором произведено экспериментальное исследование различных методов (коллиматорного, двойного нивелирования, метода Пискунова, Куккомьяки, предприятия Карл Цейс Йена). Результаты показали, что способ Куккомьяки не обеспечивает необходимую точность определения погрешности из-за недостаточной разницы плеч. Остальные способы дают достаточно объективную оценку погрешности. Для разработки контрольного стенда используется способ предприятия Карл Цейс Йена, который представляет собой нивелирование из середины в сочетании с нивелированием вперёд, как наиболее соответствующий специфике измерений в строительстве (по длинам плеч и рабочему диапазону).

В настоящее время в строительстве для передачи высотных отметок широко используется метод тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров. При этом надёжность измерений в большой степени зависит от погрешности измерения вертикального угла. Анализ существующих способов контроля погрешности, разработанных для оптических теодолитов, показал, что здесь используются данные измерений, выполненных на одних и тех же установках вертикального круга. Это связано с тем, что вертикальный круг теодолита не имеет устройства для его перестановки. Такие способы не дают достоверной оценки погрешности для электронных тахеометров, так как в этих приборах считывание информации производится одновременным сканированием разных участков лимба, и при оценке точности ряда измерений, выполненных на одной установке вертикального круга, величина СКП получается заниженной или близкой к нулю. Автором произведена разработка и исследование комбинационного способа контроля погрешности электронных приборов. Разработка выполнена на основе способа Шрейбера, используемого традиционно для измерения горизонтальных углов в триангуляции. При этом используется стенд, который состоит из четырёх коллиматоров или визирных ма-



рок, расположенных в вертикальной плоскости с одной стороны от прибора. Визирные цели задают направления, которые равномерно распределены по рабочему диапазону прибора. Наблюдения состоят в измерении во всех комбинациях углов  $\Delta\alpha$ , образованных направлениями на цели. Для каждой пары направлений определяют МО,  $\alpha$  и  $\Delta\alpha$ . При обработке результатов измерений для каждого угла вычисляется урвненное значение и СКП измерения угла и направлений. В таблице 3 даны результаты определения погрешности измерения вертикального угла электронными тахеометрами, полученные при производстве контроля.

Таблица 3

Комбинационный способ		Традиционный способ	
Тип прибора	$m_\alpha$ "	Тип прибора	$m_\alpha$ "
Geodimeter 510 № 51102419	2.1	Geodimeter 506 № 50610521	0
Elta R45 № 601329F	1.3	Geodimeter 500 № 101185	0.3
Geodimeter 605M № 60940232	2.0	SET 6E № 16964	0.5
Geodimeter 608M № 60930124	1.5	Geodimeter 608M № 60930232	0.5
SDJ 05 SELT	2.8	Geodimeter 608M № 60930355	0.6

Анализ различных способов контроля показал, что комбинационный способ имеет преимущества перед остальными. Во-первых, оценка получается более достоверной, поскольку производится сравнением величин, измеренных на разных установках вертикального круга. При этом измеряемые вертикальные углы в достаточной степени охватывают рабочий диапазон прибора (пределы измерений от  $45^\circ$  до  $120^\circ$ ). Во-вторых, в отличие от способа взаимобратных направлений здесь используются только четыре визирные цели, и нет необходимости в выполнении технически сложной установки элементов станда.

На основе выполненных исследований, а также личного опыта работы в строительстве автором, для повышения качества и оперативности технологического контроля приборов непосредственно на строительных объектах, разработаны способы контроля с использованием передвижной и стационарной лабораторий.

Состав оборудования и контрольные стенды для стационарной лаборатории (Рис. 2) разработаны на основе установленной специфики, состава операций, средств и методов контроля приборов, используемых в строительстве. Для контроля теодолитов и тахеометров устраивается стенд, включающий инструментальный столб 1 и марку 2. На вертикальном стенде устанавливается марка 3 и горизонтальная шкала 4 для определения неперпендикулярности осей теодолита. Для контроля нивелиров используется высотный стенд, включающий две миллиметровые шкалы (5-6), закреплённые на стойках. Для контроля ПВП создан вертикальный стенд, он состоит из стойки с консолью и двух палеток (7-8), установленных на одной вертикали с прибором.

Состав оборудования передвижной лаборатории соответствует полевым методам проведения контроля. В таблице 4 представлен полный комплект оборудования для контроля теодолитов, тахеометров, нивелиров, нивелирных реек и ПВП.

Кроме того, разработан эталонный линейный базис для контроля тахеометров методом прямых измерений. Базис включает три бетонных столба с металлическими марками, которые задают эталонные линии. Определение погрешности производится измерением трёх линий 53, 147 и 200 метров. Длины линий соответствуют диапазону измерений в строительстве и позволяют учитывать циклическую погрешность прибора. Если величина полученной СКП не соответствует нормам, то измеряются дополнительные расстояния: 52, 54, 145, 146, 198, 199 метров. Таким образом, мы получаем ряд измерений, который через шаг, равный одному метру, охватывает фазовый цикл погрешности.

С целью большего соответствия специфике производства выполнено усовершенствование операций контроля: определение наклона сетки нитей, систематической погрешности компенсатора нивелира, погрешности измерения линий тахеометром и погрешности вертикального проектирования.

Для проведения контроля предложен полевой стенд, который состоит из обычных средств измерений. При определении погрешности компенсатора, угла  $i$  и наклона сетки нитей нивелира используются две нивелирные рейки в рейкодержателях. Для определения коллимационной погрешности, наклона сетки нитей и неперпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей теодолита и тахеометра используются визирные марки, шкала и нитяной отвес, закреплённые на рейках.

Параметры стендов установлены на основе расчета точности определения отдельных характеристик приборов.

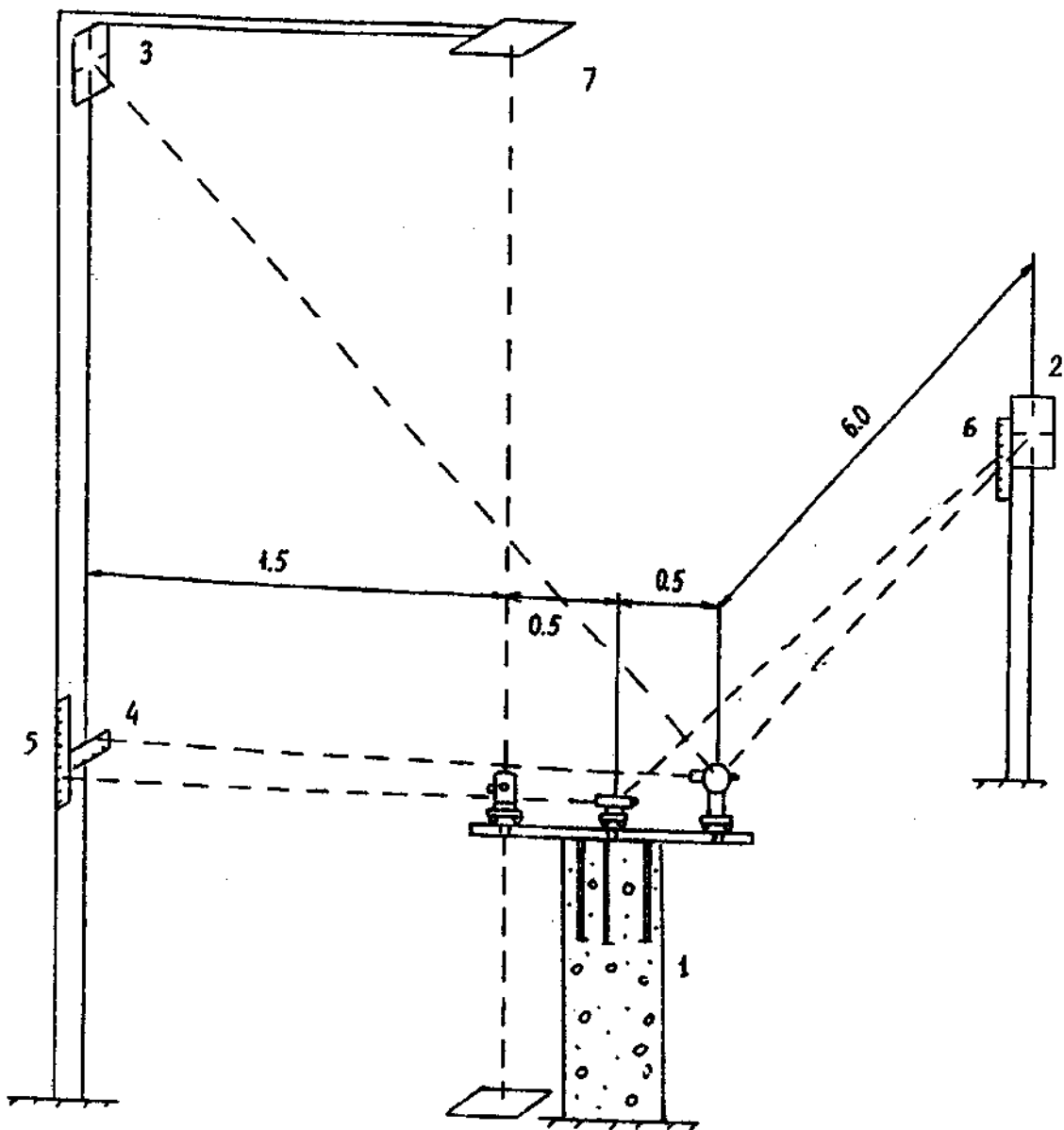


Рис. 2. Схема стенда стационарной лаборатории.

Таблица 4

№ п/п	Средства измерений				Средства контроля		
	Вид контроля	Наименование, тип	Метрологические характеристики		Наименование, тип	Метрологические характеристики	
			Диапазон измерений	Погрешность Цена деления		Диапазон измерений	Погрешность Цена деления
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Технологический	Теодолиты	(0-360)°	СКП (5-60) "	1.Стенд 2.Линейка измерительная металлическая	200мм	0.1мм ц.д. 1мм
2	Технологический	Нивелиры	± (3-4)м на станции	СКП станции 2мм	1.Высотный стенд 2.Рейки нивелирные РНЗ 3. Рулетка Р50У2К	(2-42)м (0-3000)мм (0-50)м	0.7мм 0.2мм ц.д. 10мм [±0.30+0.15(L-1) мм
3	Технологический	Рейки нивелирные	(0-3000)мм	0.2мм ц.д. 10мм	1.Штриховая мера длины 4 типа класса точности 5	(0-1000)мм	15мкм
4	Технологический	Тахеометры	(0-360)° (0-800)м	(5-60) " (5 – 10)мм + (3 – 5) · 10 <sup>-6</sup> D	1.Стенд 2.Эталонный базис 3.Термометр	(0-200)м (-30+50)°С	1.5 · 10 <sup>-6</sup> D ц.д. 0.5°С
5	Технологический	Приборы вертикального проектирования	(0-100)м	(1-10)мм	Вертикальный стенд	-	-

В пятой главе представлены результаты, полученные в процессе внедрения оперативных способов контроля работоспособности приборов в строительстве. В процессе внедрения был выполнен контроль 34 геодезических приборов на 15 строительных объектах. Для оценки способа контроля были определены его объективность и производительность. Объективность определялась на основе трёх видов анализа: сравнения с традиционным методом, сравнения результатов разных наблюдателей и многократной проверки отдельных средств измерений. На основании проведённых исследований сделаны следующие выводы:

- 1) При сравнении с традиционным способом отсутствуют различия в определении пригодности отдельных приборов. По количеству недопустимых параметров есть разница, в способе, предлагаемом для строительства, определяются только те характеристики, которые имеют существенное влияние на надёжность измерений, поэтому определяется меньше характеристик, следовательно, большее количество приборов может быть признано годными.
- 2) Результаты отдельных операций контроля, полученные разными наблюдателями, имеют некоторые незначительные расхождения. При этом отсутствует различие в определении работоспособности приборов в целом.
- 3) Анализ результатов многократной проверки отдельных средств измерений показывает достаточную объективность определения параметров приборов разных типов.

Для определения производительности оперативных способов были установлены затраты времени на проведение отдельных операций контроля. Для теодолитов и нивелиров затраты определялись на основании данных хронометража. Для сравнения продолжительности контроля в таблице 5 представлены затраты времени, полученные при апробировании и принятые в топогеодезической отрасли.

Таблица 5

Метод контроля	Временные затраты (часы)				
	2НЗЛ	3НЗКЛ	2Н10КЛ	3Т5КП	4Т30П
Традиционный	6.9	7.9	4.9	16.2	9.1
Оперативный	1.1	1.7	1.7	1.7	1.2

На основании данных таблицы сделан вывод о том, что усовершенствованные методы контроля дают возможность значительно увеличить производительность по сравнению с традиционным методом.

На основании исследований, выполненных в главе 5, сделаны следующие выводы.

- 1) Оперативные способы контроля дают достаточно объективную оценку работоспособности геодезических приборов, при этом значительно повышается производительность работ.
- 2) Передвижную лабораторию целесообразно использовать для оперативного контроля работоспособности средств измерений при строительстве небольших объектов. При этом на строительной площадке организуется временный стенд.
- 3) При строительстве крупных объектов с использованием большого количества геодезических приборов рекомендуется создание стационарной лаборатории на базе временных строительных сооружений.

В настоящее время в строительной отрасли осуществляется переход от государственного надзора к саморегулируемым организациям. Организуются СРО строителей, проектировщиков и изыскателей, формируется научно-техническая база СРО и предложенные автором способы технологического контроля могут стать частью общей системы обеспечения качества строительства.

В заключении представлены основные выводы теоретических и экспериментальных исследований.

- 1) Анализ технологических операций и специфики производства геодезических измерений в строительстве показывает необходимость повышения надёжности измерений и разработки способов контроля работоспособности приборов соответствующих специфике производства работ. При этом операции контроля необходимо включить в состав геодезического обеспечения строительства.
- 2) Выполнены экспериментальные исследования влияния на точность измерений основных производственных факторов: вибрации и ударных воздействий. С целью повышения надёжности измерений определены требования к условиям измерений на строительной площадке.

- 3) Выполнены исследования и разработки различных способов технологического контроля, среди которых следует отметить разработку способа определения погрешности из-за перефокусировки зрительной трубы теодолита, разработку способа определения СКП измерения вертикального угла электронным тахеометром, исследование способов контроля главного условия нивелира.
- 4) Выполнены исследования работоспособности более 200 геодезических приборов на основе данных, полученных при проведении контроля в условиях строительной площадки, постановке приборов на подконтрольную эксплуатацию, техническом обследовании приборов в центрах метрологии; установлена периодичность изменения характеристик приборов в рабочих условиях строительства, произведена выборка приборов с характерными отказами за различные интервалы времени, сделан вывод о необходимости обеспечения постоянного контроля прибора в процессе выполнения работ для повышения надёжности геодезических измерений.
- 5) На основе анализа результатов исследования работоспособности приборов, способов определения межконтрольных интервалов, условий производства, методов измерений и инструментальных погрешностей установлен состав и периодичность операций контроля для геодезических приборов, используемых в строительстве.
- 6) Определён состав средств контроля приборов используемых при выполнении геодезических измерений в строительстве.
- 7) Выполнена разработка, экспериментальные исследования и внедрение оперативных способов контроля работоспособности геодезических приборов для повышения надёжности измерений при геодезическом обеспечении на объектах строительства.

#### Общие выводы и решения.

- 1) Комплекс выполненных исследований позволил разработать способы и средства контроля работоспособности приборов, соответствующие специфике производства работ при геодезическом обеспечении строительства.
- 2) Выполненные автором разработки дают возможность повысить надёжность геодезических измерений путём обеспечения оперативного контроля приборов в условиях строительства.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Соловьёв С.В., Корнеев С.М. Исследование надёжности геодезических приборов в условиях строительства. - Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 2010, №3.
2. Соловьёв С.В., Корнеев С.М. Исследование условий и разработка способов контроля надёжности геодезических приборов в строительстве. - Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 2009, №6.
3. Соловьёв С.В., Спиридонов А.И. Сертификационные испытания нивелира НИК-3. – Геодезия и картография, 1999, №12 .
4. Соловьёв С.В., Ефремов А.Д. Комбинированный способ контроля средней квадратической погрешности электронных тахеометров. - Геодезия и картография, 2002, №9 .
5. Соловьёв С.В. Анализ нормативных документов по метрологическому обеспечению геодезических работ в строительстве. М., Российская ассоциация геоинформационных систем (РАГС). 2000.
6. Соловьёв С.В. Метрологическое обеспечение геодезических измерений в строительстве. Сборник докладов 7 отраслевого семинара по метрологии. М., ЦНИИГАиК, 2001.
7. Соловьёв С.В., Спиридонов А.И. О новой инструкции по технологической поверке геодезических средств измерений. – Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 2000, №3.
8. Соловьёв С.В. Проект передвижной поверочной лаборатории для метрологического обеспечения геодезических работ в строительстве. – Геопрофи, 2003, №5.
9. Соловьёв С.В. Разработка и исследование методов метрологического обеспечения геодезических измерений в строительстве. Сборник трудов Московского государственного строительного университета. М., МГСУ, 2006.