

На правах рукописи

Назаров Игорь Александрович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОБМЕРНЫХ РАБОТ ПРИ ВОССОЗДАНИИ  
ЖИВОПИСНОГО ОБЛИКА ХРАМА ХРИСТА СПАСИТЕЛЯ

Специальность - 25.00.32  
«Геодезия»

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Москва-2007

Работа выполнена на кафедре инженерной геодезии Московского государственного строительного университета (МГСУ-МИСИ)

**Научный руководитель:**

доктор технических наук Рязанцев Геннадий Евгеньевич.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор Васютинский Игорь Юрьевич;  
кандидат технических наук Фельдман Вилен Данилович.

**Ведущая организация:**

ФГУП ГНЦ «Институт физики высоких энергий» (ИФВЭ)

Защита диссертации состоится «15» ноября 2007 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер. 4, МИИГАиК, ауд. 101, 4 копр.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан «09» октября 2007г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Ю.М.Климков

## Общая характеристика диссертации

**Актуальность темы.** Настоящее время характеризуется бурным развитием строительства в г. Москве. Строятся крупные промышленные и жилые объекты, воссоздаются или реставрируются здания и сооружения, представляющие историческое или культурное богатство нашей страны.

Применение новых строительных технологий позволяет проводить строительные и реставрационные работы в короткие сроки и с хорошим качеством. Качество строительных работ (одним из параметров которого является соблюдение геометрических параметров строящегося здания и сооружения) напрямую зависит от точности их геодезического обеспечения. При этом требования к повышению точности и оперативности геодезических измерений непрерывно растут.

При восстановлении Храма Христа Спасителя в г. Москве были предъявлены повышенные требования к точности и оперативности проведения обмерных работ геодезическими методами, характеризующиеся средней квадратической погрешностью определения площади 0,2 % от величины снимаемого участка. Воссоздание художественного убранства интерьеров Храма Христа Спасителя явилось крупнейшим достижением современного российского искусства и строительства. Работу по воссозданию Храма невозможно было выполнить без точных измерений границ, формы и площади поверхностей интерьеров Храма.

Определение размеров, формы и площади интерьеров Храма с заданной точностью при отсутствии доступа к обмеряемым поверхностям, в стесненных условиях проведения работ, при больших перепадах высот, невозможно выполнить без использования современных технологий и разработки специальных дополнительных средств и методов измерений.

Первые годы нового тысячелетия характеризуются стремительным внедрением в практику геодезических измерений новых технологий и компьютер-

ной техники. Открылись широкие возможности для создания точных, высокопроизводительных методов геодезических работ.

Актуальность темы диссертации состоит в том, что до последнего времени в технической литературе не освещались вопросы разработки технологии проведения геодезических обмерных работ при воссоздании живописного облика храмового сооружения на основе современных высокотехнологических методов измерения.

В девяностых годах прошлого столетия в арсенале геодезии появились приборы безотражательного измерения расстояния. На первом этапе это были лазерные рулетки, затем лазерные безотражательные электронные тахеометры. С появлением таких приборов впервые в геодезии измерение расстояния с точностью от 2 до 5 мм стало возможно производить без непосредственного физического контакта с объектом измерения. Прежде измерения в основном выполнялись угловыми засечками или до отражателя, расположенного рядом с наблюдаемой конструкцией. От отражателя, обычной рулеткой, контактным способом измерялся домер до строительной поверхности. Естественно, безотражательные способы намного оперативней традиционных. Однако практика показала, что точность безотражательных способов измерения зависит от физико-технических параметров отражающей поверхности. Без исследования влияния этих факторов на точность безотражательных способов измерения, которые в настоящее время завоевали передовые позиции в обмерных работах, дальнейший прогресс невозможен. Именно эти исследования автор диссертации положил в основу разработки современных геодезических технологий, позволяющих выполнять обмерные работы повышенной точности и надежности.

**Целью работы** является разработка современной геодезической технологии повышенной точности при проведении геодезических обмерочных работ, как интерьеров, так и фасадов строящихся и реставрируемых зданий, на базе применения новых более совершенных электронных безотражательных тахеометров и лазерных рулеток.

**Объектом исследования** являются безотражательные способы измерения расстояний при разработке технологии обмерных работ восстанавливаемого Храма Христа Спасителя.

**Предметом исследования** являются методы и точности определения площади интерьеров и фасадов зданий, основанные на использовании как традиционных геодезических приборов, так и современных лазерных рулеток и электронных безотражательных тахеометров.

**В соответствие с целью работы поставлены следующие задачи:**

1. Систематизировать и обобщить существующие методы геодезических обмерочных работ и получить аналитические выражения в виде рабочих формул вычисления площадей обмеряемых объектов.
2. Получить формулу вычисления площади основных видов сводов (главного, свода придела и крестового) Храма Христа Спасителя, выполнить их анализ и разработать методику расчета погрешностей вычисления площади сводов.
3. Проанализировать и обобщить формулы вычисления горизонтального проложения и превышения при выполнении измерений лазерной рулеткой, укрепленной с помощью адаптера на теодолите.
4. Экспериментально исследовать влияние на точность измерения безотражательными электронными тахеометрами угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности.
5. Разработать технологию геодезических обмерных работ для основных сферических поверхностей внутренних интерьеров Храма на основе безотражательных способов измерения.
6. Применить разработанные технологии при воссоздании Храма Христа Спасителя, оценить результаты и дать рекомендации по их дальнейшему использованию.

## **Методика исследования**

При выполнении исследований автор использовал методы дифференциального и интегрального исчисления, теорию ошибок измерений, способ наименьших квадратов и методы вычислительной математики.

## **Научная новизна работы**

1. Получены и исследованы аналитические выражения в виде конечных формул для вычисления площадей основных видов церковных сводов Храма Христа Спасителя.
2. Получены формулы оценки точности определения площадей основных сводов храма по результатам обмерных работ.
3. Получены рабочие формулы вычисления горизонтального проложения и превышения при выполнении измерений лазерной рулеткой, для четырех вариантов закрепления ее на теодолите.
4. Экспериментально исследовано влияние на точность измерения безотражательными электронными приборами угла падения лазерного луча на измеряемую поверхность и исследовано влияние отражающих свойств основных строительных поверхностей. Уточнена формула расчета погрешности безотражательных лазерных тахеометров с учетом большого числа факторов, влияющих на точность измерения в строительстве.
5. Разработаны технологии для проведения обмеров основных сводов Храма на основе лазерных безотражательных способов измерения.

## **На защиту выносятся следующие результаты:**

1. Формулы вычисления и оценки точности определения площадей основных видов церковных сводов.
2. Формулы вычислений горизонтальных проложений и превышений при выполнении измерений лазерной рулеткой, укрепленной на теодолите с помощью адаптера.
3. Экспериментальное исследование влияния на точность измерения безотражательных лазерных электронных тахеометров угла падения ла-

зерного луча и отражающих свойств основных строительных поверхностей.

4. Технологию геодезических обмерочных работ интерьеров Храма Христа Спасителя.

### **Достоверность результатов**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и практических рекомендаций обеспечиваются разработкой программ экспериментальных исследований и подтверждается большим объемом результатов измерений на различных объектах.

### **Практическое значение работы**

1. Разработаны технологии, позволяющие на основе бесконтактных методов измерения расстояния надежно выполнять геодезические работы без потери точности в стесненных, неблагоприятных условиях строительства.
2. Разработаны технологии проведения геодезических обмерочных работ основных сферических поверхностей интерьеров храмовых зданий.
3. Экспериментально исследовано влияние на точность безотражательных методов угла падения на поверхность и отражающих свойств поверхности. Уточнена формула расчета погрешности безотражательных лазерных светодальномеров с учетом факторов, влияющих на точность измерения в строительных условиях.
4. Получены формулы и разработаны алгоритмы вычисления и оценки точности площадей основных видов церковных сводов.
5. Выведены формулы вычисления горизонтального проложения и превышения при выполнении измерений лазерной рулеткой, укрепленной на теодолите с помощью адаптера, в четырех основных вариантах.

### **Внедрение результатов работы**

Результаты исследований и разработок автора позволили выполнить работы по: геодезическим обмерам внутренней части Храма Христа Спасителя, проведению оперативного деформационного контроля при строительстве Ле-

фортовского тоннеля и выполнению мониторинга при воссоздании и реконструкции ЦВЗ "Манеж" в г. Москве.

### **Апробация работы и публикация работы**

Основные положения и результаты исследований, изложенные в диссертации, опубликованы в шести печатных работах и докладывались на 2 научно-технических конференциях и семинарах (МИИГАиК-2004, МГСУ-2006).

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Основное содержание диссертации изложено на 127 страницах, содержит 24 таблиц и 27 рисунков. Список литературы включает 38 наименования.

## **Содержание работы**

В основу диссертации положены результаты экспериментальных исследований и опытно-производственных работ, выполненных при геодезическом обеспечении воссоздания Храма Христа Спасителя.

**Введение** содержит обоснование выбора темы и ее актуальности, определение целей и задач диссертации, новизну и практическую значимость.

### **1. Обзор современных технологий геодезических обмерных работ в строительстве применительно к задачам воссоздания Храма Христа Спасителя**

В первой главе диссертантом описана история воссоздания Храма Христа Спасителя, приведены основные архитектурно-геометрические характеристики Храма Христа Спасителя, являющегося крупнейшим православным храмом России (рисунок 1), и особенности проведения обмерных работ при воссоздании Храма.

Четыре тридцатиметровых столба, расположенных внутри Храма, поддерживают здание. От этих столбов и порталов образуются две стены: внутренняя и наружная, а между ними на нулевой отметке и на отметке 11 метров про-

ходят коридоры, идущие вокруг всего Храма. Коридоры представляют собой комнаты 4:4 метра, увенчанные крестовыми сводами и отделенные друг от друга арками шириной в один метр. Высота коридоров в нижней части храма колеблется от 7 до 9 метров. Высота коридоров в верхней части храма (хоры) колеблется от 9 до 12 метров.

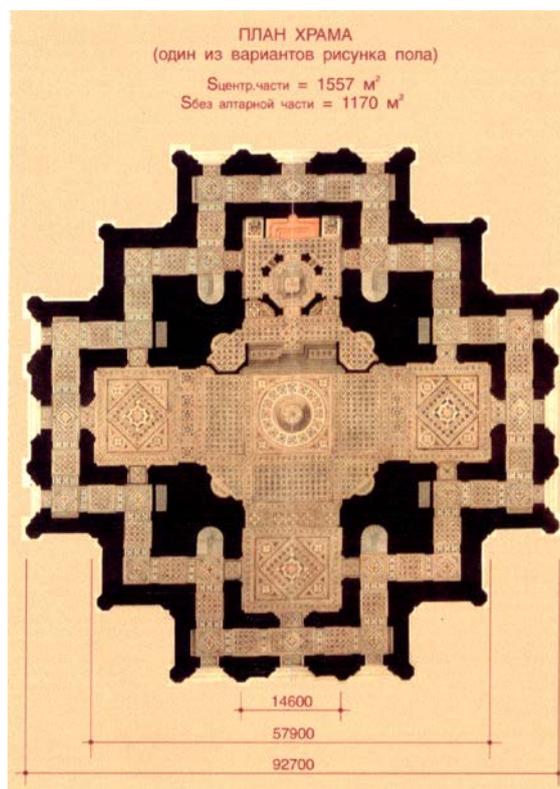
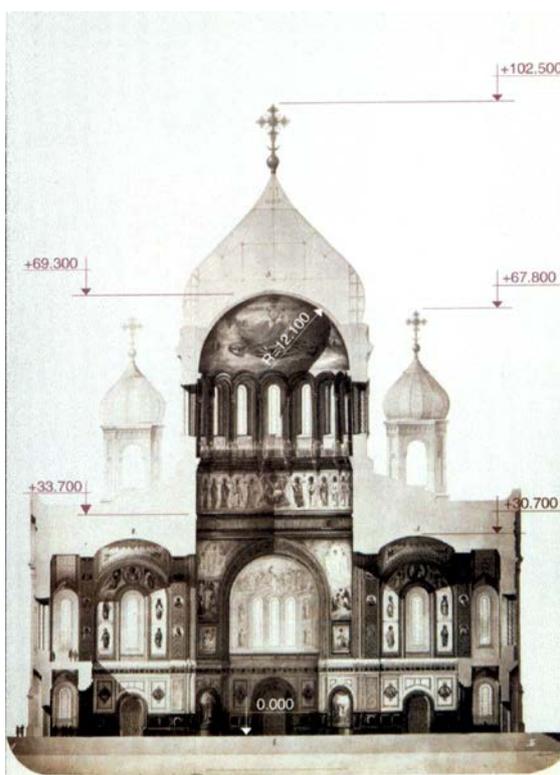


Рисунок 1- Основные архитектурно-геометрические характеристики Храма

Главный купол храма представляет собой полусферу радиусом 12 метров, центральная точка которой имеет высоту 57,3 м.

Каждый из четырех приделов храма покрывает купольный свод радиусом 9,7 м, центральная точка которого имеет высоту 30,8 м.

Геодезические обмерные работы при восстановлении храма имеют следующие особенности:

- необходимость выполнения работ в условиях интенсивного непрерывающегося строительства (отсутствие удобных и постоянных мест установки приборов, перекрытие строительной техникой видимости, большая запыленность воздуха и т.д.);
- стесненность церковных помещений и значительная высотой потолков и сводов, что вынуждает работать геодезическими приборами при вертикальных углах визирования от 30 до 75 градусов, а отсутствие строительных лесов не позволяет выполнять прямые линейные обмеры снимаемых участков;
- невозможность маркировки снимаемых точек;
- отсутствие математических формул для вычисления площадей поверхностей сводов Храма Христа Спасителя;
- отсутствие формул предрасчета точности проведения обмерочных работ при вычислении площадей основных сводов.

Диссертантом проанализированы преимущества и недостатки доступных в последнее время средств и геодезических методов проведения обмерных работ. Отмечено, что применение безотражательных электронных тахеометров или лазерных рулеток, закрепленных на теодолитах, позволяет более оперативно и надежно выполнить обмерные работы. В то же время, при проведении обмерных работ более широкому использованию электронных рулеток, закрепленных на теодолитах и безотражательных тахеометрах, препятствует ряд нерешенных вопросов, таких как:

- учет поправок в результаты измерения электронной рулеткой при различных способах крепления рулетки на теодолите;
- отсутствие данных о влиянии на точность измерения лазерными безотражательными электронными приборами угла падения лазерного луча на измеряемую поверхность и отражающих свойств данной поверхности, что необходимо в связи с использованием в строительстве большой гаммы материалов.

## 2. Теоретические исследования формул вычисления площадей и погрешностей их определения для основных видов церковных сводов

В данной главе приведены полученные диссертантом математические формулы вычисления площадей основных видов церковных сводов (свода главного подкупольного плафона, купольного свода придела, классического крестового свода). Выполнены теоретические исследования и получены формулы для оценки точности полученных площадей церковных сводов.

Под основной формой церковного подкупольного плафона понимается поверхность, образованная вращением выпуклой непрерывной кривой вокруг вертикальной оси. Кривая, равная четверти окружности, образует при вращении купол в виде полусферы – свод главного подкупольного плафона (рисунок 2.1).

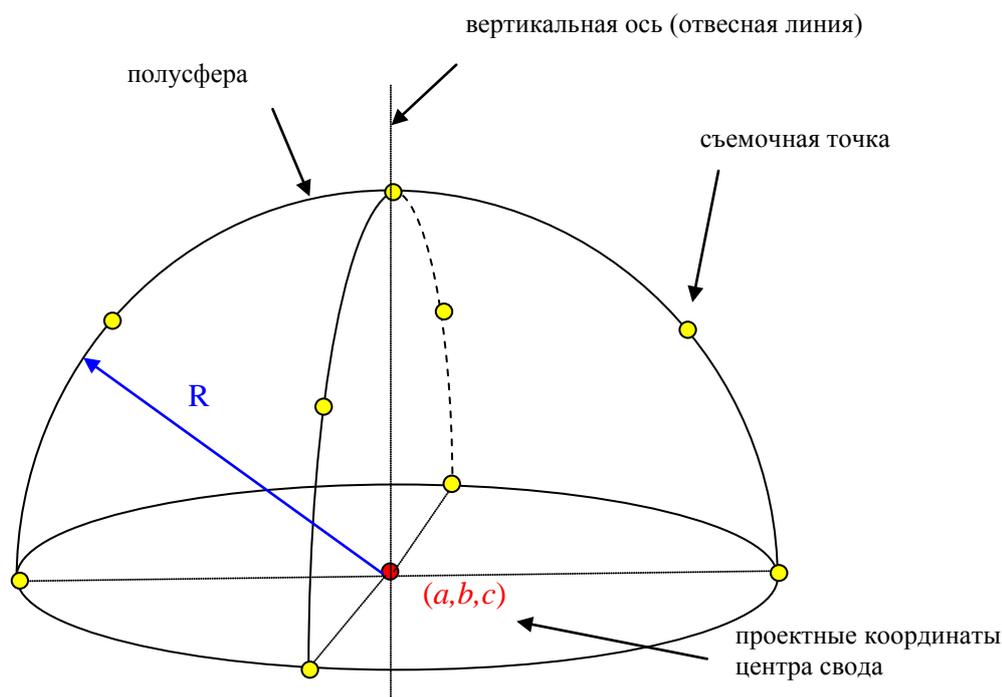


Рисунок 2.1 - Свод главного подкупольного плафона

В результате проведения теоретических исследований для свода главного подкупольного плафона были получены следующие формулы:

1. Вычисления площади  $S$  главного подкупольного плафона:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 + (z_i - c)^2}}{n} \right)^2, \quad (2.1)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  - координаты съёмочной точки на поверхности сферы;

$a, b, c$  – проектные координаты центра сферы;

$n$  – число съёмочных точек.

2. Расчета погрешности  $m_s$  определения площади главного подкупольного плафона по результатам обмеров:

$$m_s = \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot m_T}{\sqrt{3n}}, \quad (2.2)$$

где  $R$  - радиус сферической поверхности;

$m_T$  - ср. кв. погрешность определения пространственных координат съёмочной точки;

$n$  – количество съёмочных точек, участвующих в определении среднего радиуса главного церковного свода;

Купольный свод придела является частью поверхности сферы, вырезанной четырьмя вертикальными плоскостями (1,2,3; 3,4,5; 5,6,7; 7,8,1) в зонах примыкания свода купола с арками (рисунок 2.2).

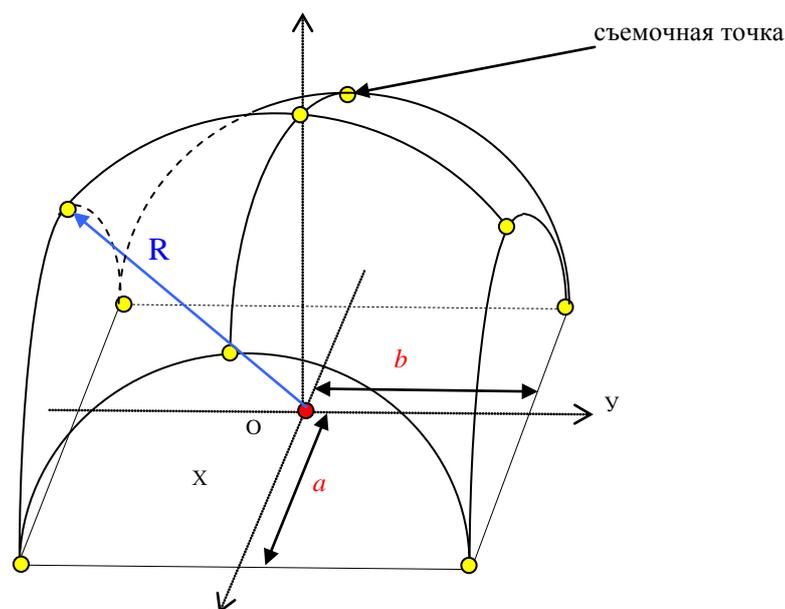


Рисунок 2.2 - Купольный свод придела

В диссертации для купольного свода придела получены следующие формулы:

1. Формула вычисления площади  $S$  купольного свода придела:

$$S = 4R \left\{ a \cdot \arcsin \frac{b}{\sqrt{R^2 - a^2}} + b \cdot \arcsin \frac{a}{\sqrt{R^2 - b^2}} - R \cdot \arctan \left[ \frac{b}{R} \cdot \tan \left( \arcsin \frac{a}{\sqrt{R^2 - b^2}} \right) \right] \right\}, \quad (2.3)$$

Для уменьшения влияния погрешностей проведения строительных работ на величину вычисляемой площади в формуле (2.3) используются средние значения величин  $a$ ,  $b$ ,  $R$ .

2. Формула расчета погрешности  $m_s$  определения площади купольного свода придела по результатам обмеров:

$$m_s = 4R \cdot \arcsin \frac{b}{\sqrt{R^2 - a^2}} m_T, \quad (2.4)$$

где  $m_T$  - ср.кв. погрешность определения пространственных координат съемочной точки.

Классическая геометрическая форма крестового свода, применяемая на галереях хоров Храма Христа Спасителя, образуется пересечением под прямым углом двух цилиндрических сводов одинаковой высоты и радиуса (рисунок 2.3).

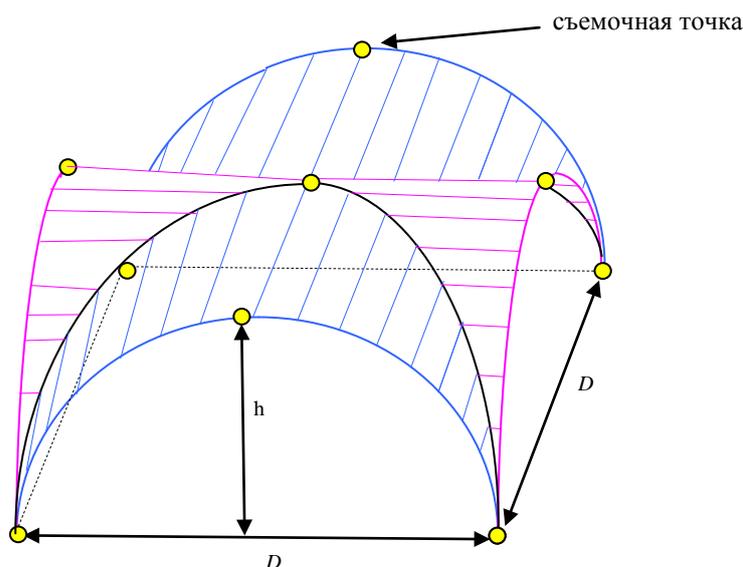


Рисунок 2.3 - Классический крестовый свод

Для классического крестового свода в диссертации получены следующие формулы:

1. Вычисления площади  $S$  классического крестового свода:

$$S = \frac{(D^2 + 4h^2) \cdot \arcsin\left(\frac{4 \cdot D \cdot h}{D^2 + h^2}\right)}{4h\rho^\circ} \quad (2.5)$$

2. Формула расчета погрешности  $m_s$  определения площади классического крестового свода по результатам обмеров:

$$m_s = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial D}\right)^2 m_D^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial h}\right)^2 m_h^2} = m_T \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial D}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial h}\right)^2}, \quad (2.6)$$

где

$$\frac{\partial S}{\partial D} = \frac{1}{4\rho^\circ h} \left\{ (D^2 + 4h^2) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{16D^2h^2}{(D^2+h^2)^2}}} \cdot \left[ \frac{4h(D^2+h^2) - 8D^2h}{(D^2+h^2)^2} \right] + 2D \cdot \arcsin\left(\frac{4Dh}{D^2+h^2}\right) \right\}, \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial h} = \frac{\left\{ (D^2 + 4h^2) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{16D^2h^2}{(D^2+h^2)^2}}} \cdot \left[ \frac{4h \cdot (D^2+h^2) - 8D^2h}{(D^2+h^2)^2} \right] + 8h \cdot \arcsin\left(\frac{4Dh}{D^2+h^2}\right) \right\}}{16(\rho^\circ)^2 h^2}. \quad (2.8)$$

Выполненные разработки и исследования позволили на основе требований техзадания получить необходимые данные для выбора инструментов и схемы организации работ по геодезическим обмерам церковных сводов Храма Христа Спасителя.

### **3. Разработка формул вычисления горизонтального проложения и превышения для основных способов крепления лазерной рулетки на теодолите**

В настоящее время при проведении геодезических работ широко используются лазерные рулетки. Простота обращения с ними, возможность проводить бесконтактные измерения, малые габариты, быстродействие и высокая точность при относительно низкой стоимости обеспечат лазерным рулеткам широкое

применение в будущем. В то же время неустойчивое ручное нацеливание ограничивает применение лазерных рулеток в обмерочных работ сложных по геометрии объектов. Решение данного вопроса возможно посредством закрепления корпуса лазерной рулетки на неподвижном основании теодолита. Лазерная рулетка закрепляется на теодолите с помощью адаптера.

В настоящей главе автором диссертации получены формулы вычисления горизонтальных проложений и превышений при выполнении измерений расстояний лазерной рулеткой, укрепленной с помощью адаптера на теодолите.

Конструкция адаптера выбирается в зависимости от условий проведения измерений. При проведении работ, когда вертикальные углы не превосходят 45 градусов, рекомендуется применять крепление рулетки на колонке или ручке теодолита, так обеспечивается возможность контроля наведения лазерной рулетки с помощью зрительной трубы теодолита. Если вертикальные углы находятся в диапазоне от 45 до 90 градусов, единственно возможным является крепление рулетки сбоку на трубе теодолита.

Предложенные в диссертации формулы позволили при проведении геодезических обмерных работ в Храме Христа Спасителя исключить из результатов линейных измерений рулетками, укрепленными на теодолите, погрешность, вызванную планово-высотным эксцентриситетом «нуль-пункта» лазерной рулетки и точки пересечения вертикальной оси теодолита и оси вращения трубы, и тем самым повысить точность измерений.

Разработанные для различных видов крепления рулеток формулы повышают точность результата и расширяют возможность использования при обмерных и других геодезических работ достаточно недорогую и хорошо себя зарекомендовавшую геодезическую технику – теодолиты и лазерные рулетки.

#### **4. Экспериментальное исследование влияния на точность измерения безотражательным тахеометром угла падения лазерного пучка и отражающих свойств поверхности**

В данной главе приведена разработанная диссертантом программа исследования влияния на точность измерения безотражательным тахеометром угла падения лазерного пучка и отражающих свойств поверхности, описана оснастка, разработанная для исследования, приведены результаты и анализ исследований.

Развитие полупроводниковой технологии, разработка полупроводниковых лазеров, светодиодов и приемников излучения привели к созданию легких и портативных светодальномеров.

В строительной геодезии из-за возможности видимого точечного наведения широко используются лазерные безотражательные рулетки и электронные тахеометры, где осветителями являются полупроводниковые лазеры или светодиоды.

Точность светодальномеров, работающих на оптические отражатели, характеризуется формулой

$$m_{D_0} = \pm(a + b \cdot 10^{-6} D), \quad (4.1)$$

где  $a$  – постоянная составляющая, равная сумме погрешностей, не зависящих от величины измеряемого расстояния;

$b$  – коэффициент, учитывающий влияние погрешностей, зависящих от величины измеряемого расстояния;

$D$  – измеряемое расстояние, мм.

В руководствах по эксплуатации безотражательных электронных тахеометров их точность также описывают с помощью формулы (4.1).

Современное строительство характеризуется следующими особенностями:

- большим количеством разнообразных строительных и отделочных материалов, имеющих различные отражающие способности;
- необходимостью проводить геодезические измерения при больших углах падения лазерного пучка на отражающую поверхность.

Эти свойства сказываются на точности измерений расстояний безотражательными электронными тахеометрами.

Экспериментальные исследования в этом направлении были проведены автором по специально разработанной программе. В исследованиях использовался электронный безотражательный тахеометр SET 1030R3 (ср. кв. погр. измерения расстояния в безотражательном режиме по тех. паспорту – 3 мм) с универсальной подставкой для закрепления образцов отделочных материалов и двенадцать наиболее часто используемых в настоящее время образцов типовых строительных и отделочных материалов.

При проведении исследований электронный тахеометр SET 1030R3 устанавливался в т. А, универсальная подставка с закрепленным «образцом» строительного материала в т. В. Плоскость «образца» ориентировалась перпендикулярно линии АВ. Тахеометром трижды измерялось горизонтальное положение АВ. «Образец» с помощью микрометричного винта поворачивался против часовой стрелки вокруг точки В на угол  $\varphi = 5^\circ$  и измерения расстояния повторялись. Значения угла  $\varphi$  последовательно увеличивались на  $5^\circ$ . Для каждого значения  $\varphi$  выполнялись аналогичные линейные измерения. Прямой ход заканчивался при  $\varphi = 80^\circ$ . Далее выполнялся обратный ход с теми же установками лимба.

Данные измерения были выполнены с каждым из двенадцати «образцов» на линиях длиной 9,8 и 16,9 м и шестью образцами на линии 63,6 м. В процессе измерений поддерживались постоянная температура и освещение.

Используя разности двойных измерений, определялись средние квадратические погрешности измерений ( $m_D$ ). Сопоставляя эти данные с допустимой средней квадратической погрешностью измерения расстояния данным тахеометром в безотражательном режиме ( $m_{доп} = 3$  мм), получен вывод, что для большей части исследуемых строительных и отделочных материалов (под данное условие не попадает только «оцинкованное железо») выполняется условие  $m_D \leq m_{доп}$ .

Полученные в ходе исследований данные по каждому расстоянию и виду отражающей поверхности сведены в таблицы, по ним построены графики зависимости точности измерения безотражательного светодальномера от угла падения лазерного пучка. На графиках рисунка 4.1 в качестве отражающих поверхностей – дерево и белый пластик.

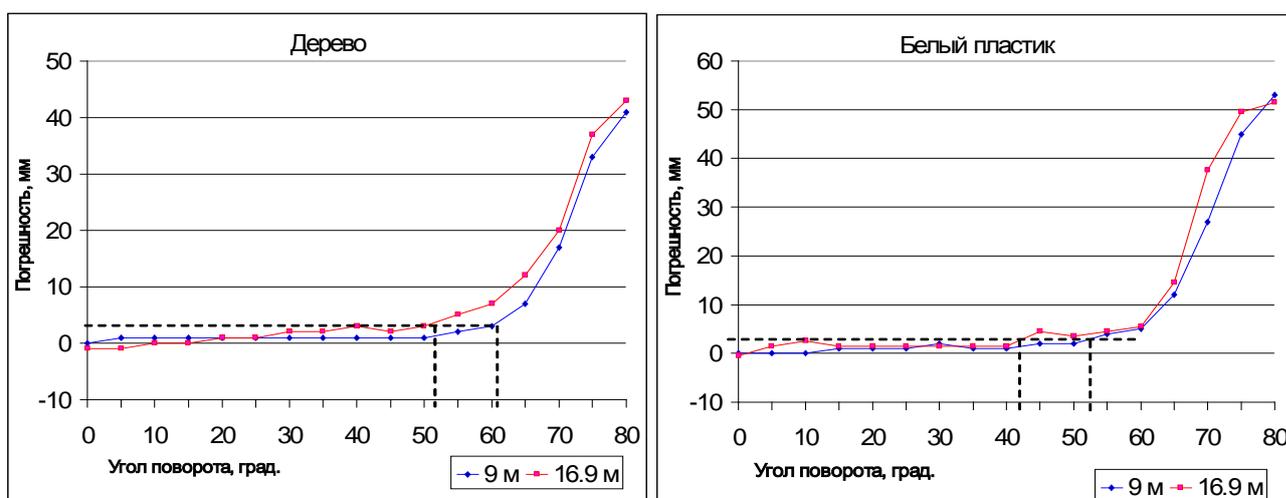


Рисунок 4.1- Графики зависимости точности измерения безотражательного светодальномера от угла падения лазерного пучка на дерево и белый пластик

Для проведения анализа исследуемой зависимости составлена таблица, показывающая для каждого исследуемого материала максимальную величину угла падения (в градусах), после которого точность измерения линии безотражательным светодальномером не соответствует заявленной в техпаспорте точности, то есть  $m_D \geq m_{доп}$ . Фрагмент расчёта приведен в таблице 1.

Таблица 1- Величина угла падения после которого  $m_D \geq m_{дон}$

Материал отражателя	Величина угла падения после которого $m_D \geq m_{дон}$		
	дон..		
	D = 9,8 м	D = 16,9 м	D = 63,6 м
Ржавая сталь	55°	50°	70°
Дюраль	20°	50°	45°
Черный гранит	35°	55°	45°
Коричневый гранит	45°	45°	55°

Анализ проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Погрешность измерения расстояний безотражательным тахеометром возрастает при увеличении угла падения лазерного луча на отражающую поверхность.
2. Величина погрешности зависит не только от величины угла падения луча на отражающую поверхность, но и от отражающих свойств материала поверхности.
3. При малых углах падения (от 0 до 30 градусов) погрешность, вызванная различием отражающими свойствами большинства современных строительных и отделочных материалов, не превышает заявленной точности измерения безотражательным тахеометра.

На основе полученных результатов исследований для повышения точности и качества безотражательных линейных измерений тахеометром можно рекомендовать:

1. При выполнении исполнительной съемки объекта, где используется «новый» отделочный материал, рекомендуется предварительно провести исследования на «полевом стенде» для выявления зависимости точности измерения длины линии от угла падения и отражающих свойств данного отделочного материала. Данные исследования позво-

лят построить график зависимости и определить «допустимые» углы, при которых обеспечивается нужная точность.

2. При наблюдениях плоских, прямолинейных объектов данный график позволяет вычислить поправку в измеренную линию, тем самым расширяется диапазон съемки и повышается ее точность.
3. При определении погрешности измерения линии безотражательным лазерным светодальномером в строительстве при углах падения больше 30 градусов использовать следующую формулу:

$$m_{D_s} = \pm(a + b \cdot 10^{-6} D) + k, \quad (4.2)$$

где  $k$  – переменная величина, зависящая от угла падения лазерного луча и от материала отражающей поверхности;

$a$  – постоянная составляющая, равная сумме погрешностей, не зависящих от величины измеряемого расстояния;

$b$  – коэффициент, учитывающий влияние погрешностей, зависящих от величины измеряемого расстояния;

$D$  – измеряемое расстояние, мм.

## **5. Результаты внедрения разработанных технологий при обмерных работах на Храме Христа Спасителя и на стройках г. Москвы**

В главе подробно описаны следующие технологии проведения обмерных работах в Храме Христа Спасителя:

- вертикальных промеров электронной рулеткой с точек, фиксированных в плановом положении;
- обмеров с использованием теодолита, электронной рулетки и лазерного указателя цели;
- обмеров с использованием прямой угловой засечки и лазерного указателя цели.

Технология вертикальных промеров электронной рулеткой разработана для выполнения обмерных работ свода главного подкупольного плафона.

Технология обмеров с использованием теодолита, электронной рулетки и лазерного указателя цели более универсальна и разработана для выполнения обмерных работ любых сферических поверхностей как с использованием лазерной рулетки, установленной на теодолите, так и безотражательного электронного тахеометра.

Технология обмеров с использованием прямой угловой засечки и лазерного указателя цели разработана для выполнения обмерных работ подкупольного плафона церковного купола прямой угловой засечкой с использованием двух теодолитов и лазерного указателя цели.

Разработанные технологии проведения обмеров и формулы вычисления площадей церковных сводов по результатам исполнительных геодезических съемок были применены при проведении работ по определению площадей под роспись восстанавливаемого Храма Христа Спасителя в г. Москве. По разработанным технологиям были проведены обмеры интерьеров приделов, галереи хоров, нижних коридоров и центральной части Храма. За указанный период были определены координаты более 4000 съемочных точек и выполнено около 1000 контрольных линейных промеров. По полученным данным с помощью программы AutoCAD построено 370 компьютерных разверток и вычислены их площади. Полученные развертки передавались художникам для макетирования и живописных проработок, что позволило начать воссоздание живописи и орнамента до построения лесов внутри храма и выполнить роспись Храма всего за восемь месяцев.

В результате выполнения большого объема инструментальных обмеров и компьютерных разверток определены площади интерьеров Храма Христа Спасителя под роспись. Общая площадь внутренних помещений, подлежащих росписи (без ниш) составляет 18 540,6 м<sup>2</sup>. Предельная относительная расчетная ошибка определения площадей интерьеров Храма составила от 0,02 до 0,2%.

Основные положения разработанных технологий проведения обмерочных работ с использованием безотражательных светодальномеров и программы AutoCAD были использованы при разработке технологий оперативного деформационного мониторинга строящегося Лефортовского тоннеля и восстанавливаемого после пожара ЦВЗ «Манеж».

## **Заключение**

В диссертации рассмотрен комплекс вопросов, связанных с разработкой и исследованием современных технологий геодезических обмерных работ при воссоздании живописного облика Храма Христа Спасителя.

В результате выполненных исследований и разработок получены следующие результаты:

1. Разработаны технологии, позволяющие на основе бесконтактных методов измерения расстояния надежно выполнять геодезические работы без потери точности в стесненных, неблагоприятных условиях строительства.
2. Разработаны технологии проведения геодезических обмерочных работ основных сферических поверхностей интерьеров храмовых зданий.
3. Экспериментально исследовано влияние на точность безотражательных методов угла падения на поверхность и отражающих свойств поверхности. Разработана новая формула расчета погрешности безотражательных лазерных светодальномеров с учетом факторов, влияющих на точность измерения в строительных условиях.
4. Получены формулы и разработаны алгоритмы вычисления и оценки точности площадей основных видов церковных сводов.
5. Выведены формулы вычисления горизонтального проложения и превышения при выполнении измерений лазерной рулеткой укрепленной на теодолите с помощью адаптера в четырех основных вариантах.

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах автора:**

1. Назаров И. А., Жидков А.А., Горелов В. А. «Инструментальные обмеры Храма Христа Спасителя: воссоздание духовного величия». Геодезист, №5 за 2001 г.
2. Назаров И. А., Жидков А. А., Титов П.В. «Оперативный деформационный мониторинг Лефортовского тоннеля». Сборник трудов МИИГАиК «Международная научно-техническая конференция посвященная 225-летию МИИГАиК». Москва, 2004 г.
3. Седельникова И.А., Назаров И. А. «Комбинированный способ геодезической съемки фасадов зданий». Сборник трудов МГСУ 2005 г. Москва, 2005 г.
4. Назаров И. А., Глухов Г. В., Титов П. В., Фрейдин А. Я. «Геодезический мониторинг при воссоздании и реконструкции ЦВЗ «Манеж». Сборник трудов МГСУ 2006 г. Москва, 2006 г.
5. Назаров И. А. «Исследование влияния на точность измерения безотражательным электронным тахеометром угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности». Сборник трудов МГСУ 2006 г. Москва 2006 г
6. Рязанцев Г. Е., Седельникова И. А., Жидков А.А., Назаров И. А. Смирнов В. Н. «Состояние и возможности современной геодезии при строительстве высотных зданий и комплексов». Сборник трудов МГСУ 2006 г. Москва 2006 г.
7. Назаров И. А., Жидков А.А., Горелов В. А. «Расчетные формулы вычисления площадей основных видов сводов Храма Христа Спасителя». «Геодезия и аэрофотосъемка» №3. Известие вузов 2006г.