

На правах рукописи



Раскаткин Юрий Николаевич

**Геометрические методы определения параметров пространственного
положения и формы строительных конструкций**

Специальность 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель
профессор, доктор технических наук
Шеховцов Геннадий Анатольевич

Официальные оппоненты:

Замятин Александр Витальевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геометрии и компьютерной графики ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»

Майстренко Игорь Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Защита состоится «07» июня 2016 года в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 999.048.02 при ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.А. Алексеева» по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, аудитория 202 (5 корп.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте организации www.nngasu.ru.

Автореферат разослан «29» апреля 2016 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат педагогических наук, доцент

Н.Д.Жилина

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Жизненный цикл всех типов изделий, в число которых входят строительные конструкции и сооружения, состоит из нескольких стадий: проектирование, производство, эксплуатация и утилизация. На всех стадиях основным видом формируемой и обрабатываемой информации является геометро-графическая информация, то есть информация о форме, размерах и положении изделия в пространстве. На стадии проектирования и производства строительных конструкций важнейшей задачей является обеспечение соответствия геометрических параметров положения и формы расчетным значениям. Для обеспечения решения данной задачи необходимо наличие точных и надежных средств определения геометрических параметров реального изделия и сопоставления их с аналогичными параметрами электронной модели изделия. На стадии возведения и эксплуатации здания и строительные сооружения вследствие их конструктивных особенностей и постоянного влияния техногенных и природных факторов могут претерпевать различного вида деформации и изменения формы, размеров и пространственного положения. При этом главным требованием является стабильность значений геометрических параметров их положения и формы. Применительно к строительным конструкциям параметры положения отражают горизонтальность, вертикальность, прямолинейность, а параметры формы выражают соответствие размеров элементов проектным значениям. В этой ситуации наличие надежных, простых и эффективных методов определения численных значений параметров положения и формы строительных конструкций приобретает главенствующее значение. Полученные численные значения параметров положения и формы на данном этапе являются основой для формирования заключений экспертизы промышленной безопасности о несущих способностях строительных конструкций, допустимых условий эксплуатации или при разработке мероприятий по обеспечению этих условий.

Несмотря на многообразие и хорошую разработанность измерительных методов, в настоящий момент наблюдается дефицит доступных и эффективных средств и методов определения параметров положения формы крупногабаритных и труднодоступных объектов, к которым относится большинство строительных зданий и сооружений. В связи с этим является крайне актуальным создание методов определения геометрических параметров, которые могут быть применены к объектам любого размера, основаны на использовании бесконтактного оборудования доступной стоимости, что позволит в значительной степени эффективно реализовать так называемые «косвенные» и «дистанционные» подходы.

Объект исследования. Параметры пространственного положения и формы строительных конструкций.

Предмет исследования. Методы определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций.

Цель исследования. Совершенствование традиционных и разработка новых геометрических методов определения пространственного положения и формы строительных конструкций.

Задачи исследования:

– на основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта разработать классификацию геометрических методов определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций;

– модифицировать односторонний координатный метод определения параметров положения и формы сооружений башенного типа;

– разработать линейно-угловой метод определения геометрических параметров крупногабаритных и труднодоступных строительных конструкций;

– разработать метод обработки цифровых изображений для определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций различных типов;

– теоретически обосновать и исследовать разработанные методы определения геометрических параметров инженерных сооружений путем сопоставления полученных результатов с экспериментальными данными.

Методы исследования. Решение поставленных в работе задач базируется на использовании теории и методов инженерной геометрии и компьютерной графики, теории ошибок измерений, теории математической обработки и геометрической интерпретации результатов измерений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе анализа классов решаемых задач по определению параметров пространственного положения и формы строительных конструкций и способов получения исходных данных для них разработана классификация геометрических задач и методов их решения.

2. Модифицирован односторонний координатный метод определения геометрических параметров положения и формы сооружений башенного типа различной формы. Главное преимущество нового варианта метода по сравнению с существующими состоит в том, что измерения могут производиться только с одной точки обзора, а для повышения точности и надёжности получаемых при необходимости результатов количество наблюдаемых точек можно увеличить.

3. Разработан линейно-угловой метод определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций. Главное преимущество данного метода по сравнению с существующими состоит

в возможности измерения из одной точки стояния прибора только горизонтального проложения, превышения, горизонтального угла и применимости теоремы косинусов для решения большинства практических задач.

4. Разработан метод обработки цифровых изображений объектов для определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций различных типов. Главное преимущество разработанного метода по сравнению с существующими состоит в возможности использовать фотоснимки, полученные обычной цифровой фотокамерой.

Практическая значимость и внедрение. В основу исследования положены результаты, полученные автором в ходе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках хоздоговорной тематики с ПАО «Нижегородский авиастроительный завод «СОКОЛ», Новогорьковской ТЭЦ; результаты диссертационной работы использованы ОАО «Нижегородский Промстройпроект», ООО «Алгоритм» при обследовании строительных конструкций.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались соискателем на семинарах и научно-технических конференциях различных уровней: 14-й и 15-й международные научно-промышленные форумы «Великие реки» (Н.Новгород, 2012, 2013), международная научно-практическая конференция «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы» (Москва, 2013), международная научно-практическая конференция «Наука, образование, бизнес: проблемы, перспективы, интеграция» (Москва, 2013), международная научно-практическая конференция «Современная наука: теоретический и практический взгляд» (Уфа, 2013).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Классификация геометрических задач и методов определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций.

2. Модифицированный односторонний координатный метод определения геометрических параметров положения и формы сооружений башенного типа различной формы.

3. Линейно-угловой метод определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций.

4. Метод обработки цифровых изображений для определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций различных типов.

5. Анализ результатов сопоставления теоретических исследований разработанных методов определения пространственного положения и формы строительных конструкций с экспериментальными данными.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований опубликованы в 29 научных работах соискателя, в том числе 7 научных работ, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка литературы. Общий объём составляет 130 страниц, 46 рисунков, 19 таблиц. Библиографический список включает 128 наименований, в том числе 10 иностранных.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы. Определена цель исследований, поставлены задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** рассмотрены основные виды измерений для определения параметров пространственного положения и формы инженерных сооружений. Обоснован корректный переход от допусков СНиП к среднеквадратическим ошибкам (СКО) измерений геометрических параметров.

На основе анализа методов определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций разработана классификация геометрических задач и методов, в частности, изучены научные труды Ганьшина В.Н., Жукова Б.Н., Кала В.В., Попова Е.В., Раинкина В.Я., Роткова С.И., Савиных В.П., Шеховцова Г.А. и др. Классификация разработана на базе классов геометрических задач определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций и способы получения исходных данных для их решения с помощью геометрических методов (рис.1).

Уточняются понятия «прямые», «косвенные» и «дистанционные» методы геометрических измерений. В частности, уточнено, что под «дистанционными» измерениями следует понимать измерение геометрических параметров на расстоянии, бесконтактным способом. Эти методы применяются в случаях, когда требуется произвести измерения крупногабаритных, труднодоступных объектов при невозможности выполнить это с помощью приборов, непосредственно в точке замера.



а) Классификация основных геометрических задач в строительстве



б) Классификация основных геометрических методов в строительстве

Рис. 1. Классификация основных геометрических задач и методов

Сделан вывод о необходимости развития и совершенствования дистанционных методов.

Во **второй главе** автором на основе анализа существующих методов сделан вывод о том, что определение геометрических параметров положения и формы строительных конструкций зданий и сооружений в процессе эксплуатации вызывает появление целого ряда существенных проблем, связанных с доступностью этих объектов для проведения измерений. Кроме того, учитывая,

что строительные сооружения зачастую обладают значительными размерами, решение этих проблем обычными контактными методами еще более затрудняется. В данном случае применимы *косвенные* методы, а в подавляющем большинстве случаев наиболее эффективными являются методы *бесконтактные* или *дистанционные*. Однако для восполнения части информации, теряемой при проведении замеров со значительного расстояния, необходимо производить замеры как минимум с двух точек стояния измерительного прибора. В силу данного обстоятельства, большинство дистанционных методов традиционно являются *двусторонними*.

Автором подробно описаны и проанализированы некоторые наиболее распространенные двусторонние дистанционные методы. В то же время необходимость использования более чем одной точки стояния измерительного прибора существенно повышает трудоемкость процесса определения геометрических параметров сооружения. Кроме того, зачастую из-за плотной застройки вокруг сооружения использование более одной точки стояния прибора бывает просто невозможно. Это обстоятельство определяет необходимость разработки *односторонних* методов определения геометрических параметров сооружений, которые делают возможным ограничиться только одной точкой стояния прибора. Разработка таких методов стала возможной с появлением доступных высокоточных электронных приборов дистанционного определения геометрической информации, какими являются электронные тахеометры. Их применение позволяет использовать разницу в координатах разных точек сооружения по глубине для восполнения необходимой геометрической информации с целью однозначного восстановления трехмерных геометрических параметров объекта с использованием только одной точки стояния прибора.

Автором разработаны следующие односторонние методы определения геометрических параметров:

1. Модифицированный односторонний координатный метод. Сущность данного метода определения геометрических параметров положения и формы сооружений башенного типа круглой формы заключается в определении координат x_1, x_2, x_3 и y_1, y_2, y_3 любых трёх точек 1, 2, 3 нижнего, промежуточных и верхнего сечений сооружения в условной системе координат с одной точки стояния электронного тахеометра (рис. 2).

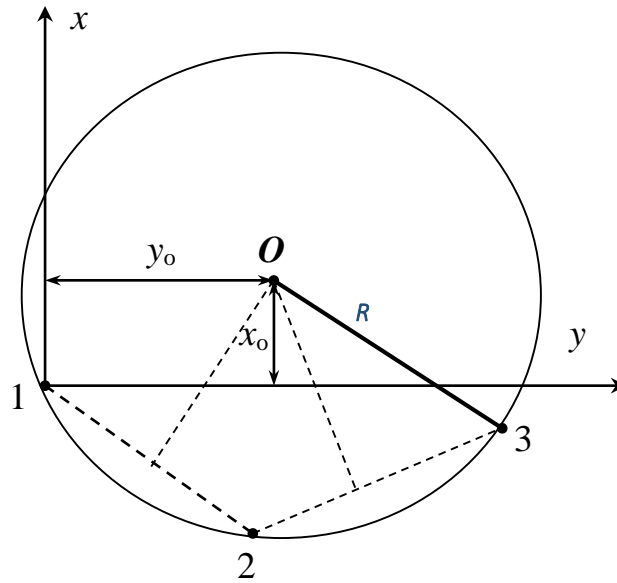


Рис. 2. Модификация одностороннего координатного метода

Выведены формулы для вычисления координат x_0 и y_0 центров наблюдаемых сечений. Частные и общий крен сооружения определяется путем сравнения координат центров между собой.

Рассмотрим три уравнения окружности:

$$\begin{aligned} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= R^2, \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 &= R^2, \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 &= R^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Определители Δ_x и Δ_y будут иметь вид:

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) & 2(y_1 - y_2) \\ (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}, \quad (2)$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(x_1 - x_3) & (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) \end{vmatrix}.$$

Вычислив Δ_x и Δ_y , находим координаты центра окружности x_0 и y_0 : $x_0 = \Delta_x / \Delta$, $y_0 = \Delta_y / \Delta$, подставив которые в выражения (1), можно при необходимости определить радиус рассматриваемого сечения R_i .

В общем виде точность такого одностороннего координатного метода определения крена сооружения зависит от точности координат x_0 , y_0 центров его наблюдаемых сечений, которая в свою очередь зависит от точности определения координат точек 1 (x_1, y_1), 2 (x_2, y_2) и 3 (x_3, y_3).

Рассмотрим схему одностороннего координатного способа, когда точка 3 лежит на оси y , а точка 2 – на перпендикуляре к этой оси, проходящем через центр O круга.

В этом случае координаты $x_1 = 0$, $y_1 = 0$, $x_3 = 0$, $y_3 = 2y_2$. Подставляя эти значения в вышеприведенные формулы получим, после соответствующих преобразований, координаты центра:

$$x_0 = \frac{x_2^2 - y_2^2}{2x_2}, \quad y_0 = y_2. \quad (3)$$

Среднеквадратическая ошибка m_{x_0} координаты x_0 определяется с использованием следующей формулы

$$m_{x_0}^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 m_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2} \right)^2 m_{y_2}^2, \quad (4)$$

где выражения в скобках представляют собой частные производные, а m_{x_2} и m_{y_2} – среднеквадратические ошибки измерения x_2 и y_2 .

Примем $m_{x_2} = m_{y_2} = m$, в результате чего после соответствующих преобразований получим:

$$m_{x_0}^2 = \left[\frac{1}{4} + \frac{y_2^2}{2x_2^2} + \frac{y_2^2(y_2^2 + 4)}{4x_2^4} \right] m^2. \quad (5)$$

Среднеквадратическая ошибка m_{y_0} координаты y_0 равна $m_{y_0} = m$ и практически не зависит от величины измеряемых координат, в то время как на ошибку определения x_0 оказывает существенное влияние соотношение y_2 и x_2 .

Главное преимущество разработанного метода по сравнению с существующими состоит в том, что для повышения точности и надёжности получаемых результатов количество наблюдаемых точек можно увеличить в нужное количество раз. Является перспективным выполнение предлагаемого метода с помощью приборов наземного лазерного сканирования, позволяющих получать изображение сооружения и координаты любой его точки.

Также основные положения одностороннего дистанционного метода автором были адаптированы для определения геометрических параметров сооружений башенного типа треугольной и квадратной формы.

2. Для определения расстояний между двумя недоступными или труднодоступными точками или размеров строительных конструкций разработан **линейно-угловой метод**, позволяющий использовать специальные измерительные возможности электронного тахеометра (рис. 3).

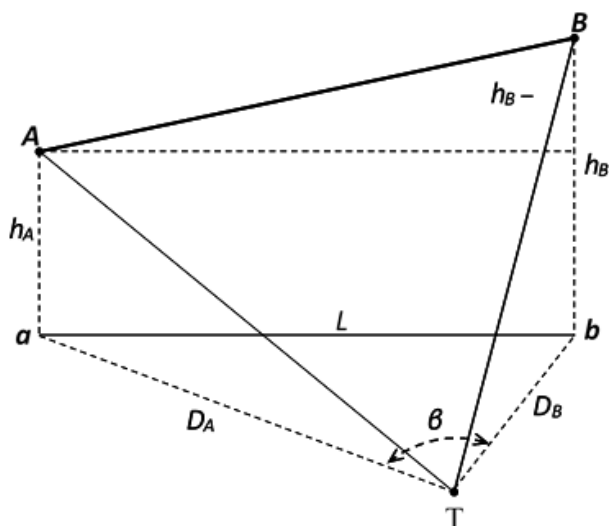


Рис. 3. Схема определения недоступного расстояния с помощью функций клавиши SDh электронного тахеометра

Сущность метода заключается в следующем (рис. 3). Устанавливают тахеометр в некоторой точке **Т** и ориентируют его по линии **ТА**. С помощью клавиши SDh выводят на экран дисплея горизонтальное проложение D_A и превышение h_A . Визируют на точку **В** и читают на экране значение горизонтального угла β , а при включённой клавише SDh – значения D_B и h_B . Горизонтальное проложение $ab = L$ наклонной линии **АВ** вычисляют по формуле косинусов:

$$L^2 = D_A^2 + D_B^2 - 2D_A D_B \cos \beta . \quad (6)$$

Точность определения горизонтального проложения L будет зависеть от точности измерения горизонтальных проложений D_A , D_B и горизонтального угла β .

Используя формулу (6), можно определить среднеквадратическую ошибку определения горизонтального проложения m_L :

$$m_L^2 = \left(\frac{\partial L}{\partial D_A} \right)^2 m_{D_A}^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial D_B} \right)^2 m_{D_B}^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial \beta} \right)^2 m_{\beta}^2 , \quad (7)$$

где выражения в скобках представляют собой частные производные, а m_{D_A} , m_{D_B} и m_{β} – среднеквадратические ошибки измерения D_A , D_B и β .

Были подсчитаны среднеквадратические ошибки m_L для различных значений $L = 5; 10; 20; 30; 40$ м и различных соотношений L/D от 2,0 до 0,01 при $m_D = 5$ мм и $m_{\beta} = 5''$. Пределы значений L от 5 до 40 м выбраны исходя из опыта геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций промышленных предприятий Нижегородской области. Эта ошибка достигает своего минимального значения при соотношении L/D в пределах от 0,5 (40 м) до 0,2 (5 м). До этих пределов L/D основное влияние на точность

определения L оказывает ошибка линейных измерений. Дальнейшее уменьшение соотношения L/D приводит к уменьшению влияния на величину среднеквадратической ошибки m_L ошибки линейных измерений и увеличению влияния на m_L ошибки угловых измерений.

Главное преимущество разработанного метода по сравнению с существующими состоит в возможности сразу определять превышения наблюдаемых точек над точкой стояния прибора и применимости теоремы косинусов.

Разработанный линейно-угловой метод определения геометрических параметров строительных конструкций применен для определения пространственного положения путей мостовых кранов. Его сущность заключается в измерении горизонтальных углов β с использованием осевых точек рельсов, а с помощью клавиши SDh – горизонтальных проложений D и превышений каждой точки над точкой стояния тахеометра (рис. 4). Этот метод позволяет совместить три отдельных операции: определение ширины колеи подкранового пути, определение непрямолинейности рельсов и их нивелирование (рис. 4).

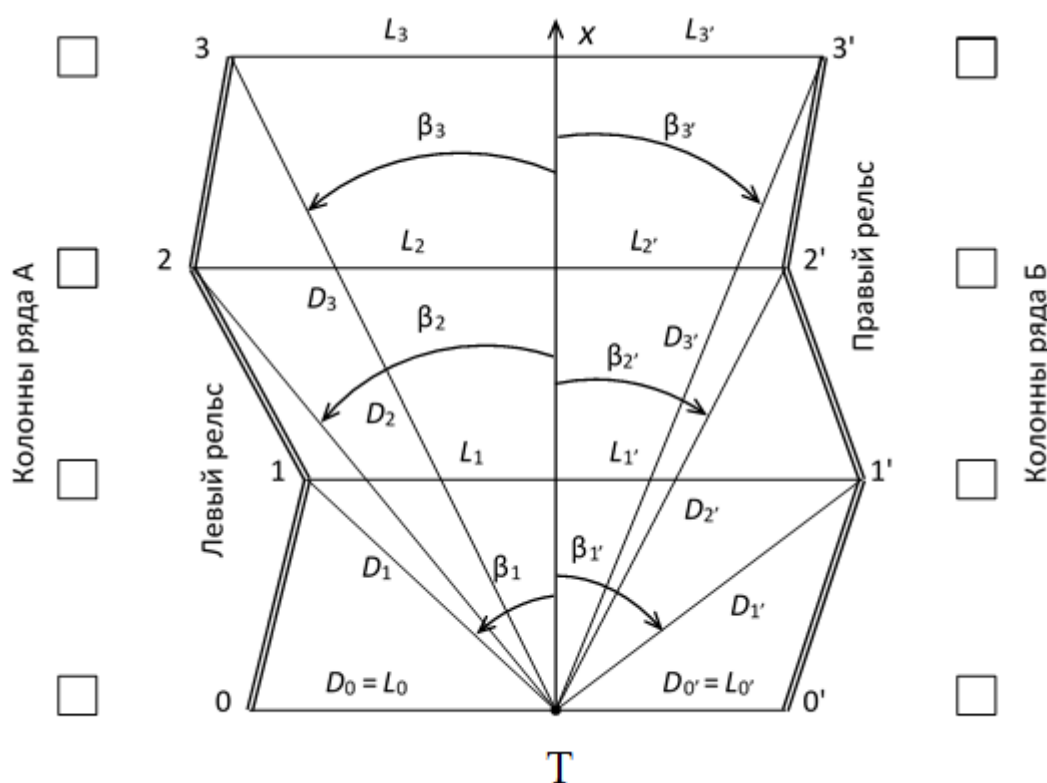


Рис. 4. Схема применения линейно-углового метода измерений

По измеренным горизонтальным проложениям D_i и $D_{i'}$ находят ширину колеи $L_{i-i'}$:

$$L_{i-i'} = L_i + L_{i'} = D_i \sin \beta_i + D_{i'} \sin \beta_{i'}, \quad (8)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $i' = 1', 2', 3', \dots, n'$.

В общем виде среднеквадратическую ошибку m_L определения ширины колеи по формуле (8) найдём, используя известную из теории ошибок формулу ошибки функции общего вида:

$$m_L^2 = \sin^2 \beta_i m_{D_i}^2 + \sin^2 \beta_{i'} m_{D_{i'}}^2 + \frac{D_i^2 \cos^2 \beta_i}{\rho^2} m_{\beta_i}^2 + \frac{D_{i'}^2 \cos^2 \beta_{i'}}{\rho^2} m_{\beta_{i'}}^2. \quad (9)$$

В окончательном виде формула для определения среднеквадратической ошибки ширины колеи L будет выглядеть следующим образом:

$$m_L^2 = \frac{L^2}{2D^2} m_D^2 + \frac{4D^2 - L^2}{2\rho^2} m_\beta^2. \quad (10)$$

По формуле (10) подсчитаны среднеквадратические ошибки m_L для различных значений $L = 10; 20; 30; 40$ м и различных соотношений L/D от 2,0 до 0,01 при $m_D = 5$ мм и $m_\beta = 5''$. Пределы значений L от 10 до 40 м выбраны исходя из опыта геодезического контроля пространственного положения подкрановых путей промышленных предприятий Нижегородской области.

Главное преимущество разработанного метода по сравнению с существующими состоит в возможности измерения из одной точки стояния прибора только горизонтального проложения, превышения и горизонтального угла, что достаточно, чтобы совместить три отдельных операции: определение ширины колеи подкранового пути, определение непрямолинейности рельсов и их нивелирование.

Также метод применен для определения крена высокого сооружения. Применительно к решению задачи определения крена высокого сооружения (труба, колонна, стена и т. п.) в двух взаимно перпендикулярных направлениях линейно-угловой метод сводится к выполнению линейных и угловых измерений с одной точки стояния прибора.

3. Метод обработки цифровых изображений. Применение метода проиллюстрировано на примере определения прямолинейности рельсов подкрановых путей. Разработано два варианта данного метода. В первом варианте отклонения рельса от прямой определяются на основе референтной линии, проведенной от фотоаппарата, установленного в начальной точке рельса, по направлению к конечной точке рельса. Во втором варианте производятся измерения от произвольной референтной линии.

Метод обработки цифровых фотоизображений автором был использован для определения радиуса сооружений башенного типа. Для получения фотоизображения сооружение фотографируют с приложенной к нему горизонтально нивелирной рейкой, расположенной на некотором расстоянии от точки съемки. Нивелирная рейка в дальнейшем служит для масштабирования

снимка с целью получения результатов измерений на нём в метрической системе. После обработки снимка с учетом данных калибровки фотокамеры и поправки на искажение изображения, вычисляемой по схеме, описанной в диссертации, определяется радиус сооружения.

Также метод обработки цифровых изображений применен для мониторинга геометрии температурных швов и трещин. Первый вариант – метод горизонтальной базы – заключается в следующем (рис. 5). По обе стороны температурно-осадочного шва или трещины закрепляют на одной горизонтальной линии три наблюдательных марки A , B и C , где отрезок AB известной длины играет роль вспомогательной базы-эталона, а отрезок BC – рабочая база, величину которой необходимо определять в каждом цикле наблюдений.

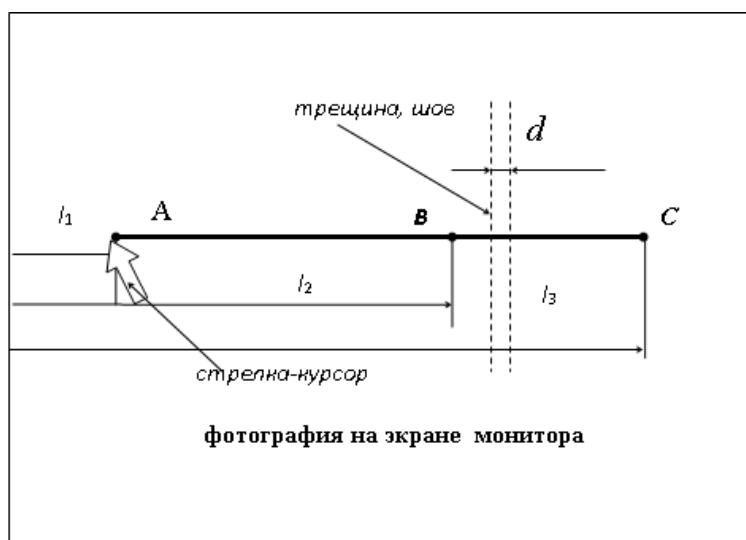


Рис. 5. Схема использования горизонтальной базы AB

Для этого в каждом цикле фотографируют наблюдательные марки, выводят фотографию на экран монитора и, подводя последовательно стрелку-курсор к точкам A , B и C , сразу читают на экране монитора значения расстояний l_1 , l_2 , l_3 в некоторых условных единицах (замерено в программе редактирования растровых изображений). По результатам измерений вычисляют длину рабочей базы по формуле

$$BC = AB(l_3 - l_2)/(l_2 - l_1), \quad (11)$$

где BC – длина рабочей базы, мм; AB – длина базы-эталона, мм; $(l_3 - l_2)$ – длина базы BC в условных единицах; $(l_2 - l_1)$ – длина базы AB в условных единицах.

Сравнивая между собой длины рабочей базы в разных циклах наблюдений, судят об изменениях ширины d шва или трещины за период времени между этими циклами.

Марки A , B и C могут быть сфотографированы с любой точки, а в обработке могут участвовать снимки любого размера.

Второй вариант – метод вертикальной базы – заключается в том, что по обе стороны шва или трещины закрепляют три наблюдательных марки A , B и C (рис.6). При этом отрезок AB располагают вертикально, а точку C закрепляют так, чтобы треугольник ABC был равносторонним или близким к нему, хотя это условие и не имеет решающего значения.

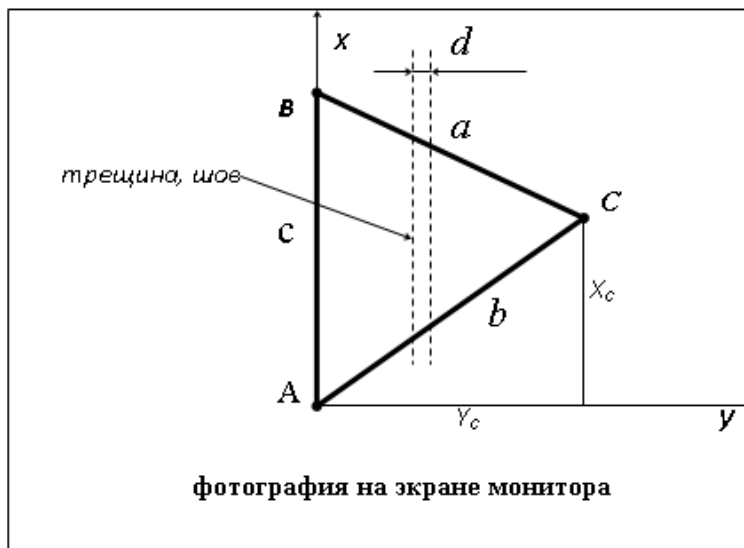


Рис. 6. Схема использования вертикальной базы AB

Измеряют в мм стороны треугольника a , b , c и вычисляют в принятой прямоугольной условной системе xAy исходные координаты точки C по формулам

$$X_c = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c}, \quad Y_c = \sqrt{b^2 - X_c^2}. \quad (12)$$

Затем в каждом цикле фотографируют наблюдательные марки A , B и C , выводят фотографию на экран монитора и измеряют расстояния a , b , c в некоторых условных единицах, замеренных в программе редактирования растровых изображений. Снимок масштабируют по эталону AB , переводя результаты измерений в метрическую систему единиц (миллиметры) и вычисляют по формулам (12) координаты точки C . Сравнивая эти координаты с первоначальным их значением, судят о горизонтальных и вертикальных смещениях марки C и об изменениях ширины d шва или трещины за период времени между этими циклами.

Так же, как и для рассмотренных выше методов, была рассчитана среднеквадратическая ошибка m_x координаты X_c точки C . Здесь имеет место обратная тенденция к её уменьшению с увеличением угла между стороной AC и осью y . Таким образом, оптимальной формой, обеспечивающей равноточное определение координат точки C , является равносторонний треугольник ABC .

Главное преимущество разработанного метода по сравнению с существующими состоит в возможности использовать фотоснимки, полученные обычной цифровой фотокамерой.

В третьей главе были исследованы условия применения разработанных геометрических методов определения параметров положения и формы строительных конструкций для решения целого ряда важнейших прикладных задач по определению геометрических параметров строительных конструкций. К рассмотренным задачам относятся: определение отклонения дымовых труб от вертикального положения на целом ряде предприятий Нижегородской области; определение расстояния между колоннами в ряду на уровне их оголовка двух производственных цехов Нижегородского авиационного завода «Сокол»; определение ширины пролетов цехов Нижегородского авиационного завода «Сокол»; определение прогибов ферм перекрытий; определения вертикальности колонн, в том числе определения одновременной вертикальности двух соседних колонн в ряду; определение планового положения (прямолинейности) подкрановых рельсов и измерение ширины колеи крановых путей. Проведенные исследования показали, что предложенные методы дают сопоставимые по точности результаты по сравнению с традиционными методами, отличаются высокой производительностью и обеспечивают надежность и безопасность работ.

Основные результаты и выводы

В процессе исследования получены следующие результаты.

1. Разработана классификация существующих геометрических методов определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций. Классификация разработана на основе анализа классов решаемых задач по определению параметров пространственного положения и формы инженерных сооружений и методов их решения. Сделан вывод о том, что практически всем традиционным методам определения геометрических параметров строительных конструкций присущи недостатки, связанные с их зависимостью от застроенности территории, насыщенностью цехов технологическим оборудованием, необходимостью использования мостовых кранов, выходом наблюдателя на крановый путь или его подъёмом к оголовку колонн и т.п.

2. Модифицирован односторонний координатный метод определения геометрических параметров положения и формы сооружений башенного типа круглой формы. Метод применен для определения параметров объектов башенного типа треугольной и квадратной формы.

3. Для определения расстояний в недоступных и труднодоступных зонах строительных конструкций разработан линейно-угловой метод, использующий измерительные возможности электронного тахеометра. Линейно-угловой метод применен для определения пространственного положения путей мостовых кранов, а также крена сооружений башенного типа.

4. Разработан метод обработки цифровых изображений объектов для определения геометрических параметров пространственного положения и формы строительных конструкций различных типов. Метод применен для определения прямолинейности рельсов подкрановых путей, радиусов сооружений башенного типа и мониторинга геометрии температурных швов и трещин.

5. Проведен анализ результатов исследования условий применения разработанных методов для решения ряда практических задач путем сопоставления данных, полученных с применением новых методов определения пространственного положения и формы строительных конструкций, с экспериментальными величинами.

Публикации по теме диссертационной работы

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Раскаткин, Ю. Н. Об одновременном определении соосности колонн здания в ряду и расстояния между ними в пролёте / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 3. – С. 181-187.

2. Раскаткин, Ю. Н. Односторонний координатный способ определения крена высоких сооружений башенного типа круглой формы / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 4. – С. 172-178.

3. Раскаткин, Ю. Н. Результаты моделирования одностороннего координатного способа определения крена сооружений башенного типа круглой формы / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 1. – С. 156-162.

4. Раскаткин, Ю. Н. Теоретические основы одностороннего линейно-углового способа определения крена сооружений башенного типа круглой формы и результаты его моделирования / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 134-140.

5. Раскаткин, Ю.Н. Новые способы определения радиуса сооружений круглой формы / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 131-137.

6. Раскаткин, Ю. Н. Теоретические основы фотографического способа определения радиуса сооружений круглой формы / Ю. Н. Раскаткин, Г. А.

Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Приволжский научный журнал. – 2015. – №3. – С. 198-205.

7. Раскаткин, Ю. Н. Определение положения и радиуса сечений сооружений башенного типа круглой формы односторонним координатным способом / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, М.М. Шульц // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 26-31.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

8. Раскаткин, Ю. Н. О новом методе определения крена колонн / Ю.Н. Раскаткин// Технические науки: сб. тр. аспирантов и магистрантов. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 2004. – С. 220-223.

9. Раскаткин, Ю. Н. Лазерно-зеркальный способ контроля вертикальности колонн / Ю. Н. Раскаткин // Промышленная безопасность–2012: сб. статей. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 2012. – С. 186-191.

10. Раскаткин, Ю. Н. О точности одностороннего координатного способа определения крена высоких сооружений башенного типа круглой формы /Ю. Н. Раскаткин// Архитектура. Науки о Земле. Экология: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – Т. 2. – С. 237-240.

11. Раскаткин, Ю. Н. Контроль пространственного положения путей мостового крана с помощью электронного тахеометра и его клавиши SDh / Ю. Н. Раскаткин// Архитектура. Науки о Земле. Экология: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – Т. 2. – С. 217-221.

12. Раскаткин, Ю. Н. Определение недоступного расстояния электронным тахеометром с использованием клавиши SDh/ Ю. Н. Раскаткин// Промышленная безопасность–2013: сб. ст. - Н.Новгород: ННГАСУ. – 2013. – С. 175-179.

13. Раскаткин, Ю. Н. Использование клавиши SDh и ОНР электронного тахеометра при определении деформаций инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин// Великие реки – 2013: сб. матер. науч.-пром. форума. – Н.Новгород: ННГАСУ, – 2013. – Т.1. – С. 171-174.

14. Раскаткин, Ю. Н. О методике и точности определения постоянной слагаемой лазерно-зеркального устройства/ Ю. Н. Раскаткин, М. Е. Цыганов// Архитектура. Науки о Земле. Экология: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – Т. 2. – С. 212-217.

15. Раскаткин, Ю. Н. Дистанционные и фотографические способы геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов// Великие реки – 2012: сб. матер. науч.-промыш. форума.– Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – С. 163-166.

16. Раскаткин, Ю. Н. Перспективы использования фотографического способа определения пространственного положения строительных конструкций инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова//

Промышленная безопасность-2012: сб. ст. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – С. 35-38.

17. Раскаткин, Ю. Н. Определение радиуса сооружений круглой формы фотографическим способом/ Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова// Промышленная безопасность-2012: сб. ст. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – С. 46-49.

18. Раскаткин, Ю. Н. О фотографическом способе наблюдений за трещинами несущих конструкций инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Промышленная безопасность-2012: сб. ст. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – С. 39-45.

19. Раскаткин, Ю.Н. О точности определения радиуса сооружений круглой формы линейно-угловым способом/ Ю.Н. Раскаткин, Г.А.Шеховцов// Промышленная безопасность-2013: сб. ст. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – С. 54-57.

20. Раскаткин, Ю.Н. Односторонний линейно-угловой способ определения крена высоких сооружений с помощью электронного тахеометра/ Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова// Промышленная безопасность-2013: сб. ст. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – С. 58-66.

21. Раскаткин, Ю.Н. Методические и классификационные аспекты определения деформаций инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов// Великие реки - 2013: сб. матер. науч.-пром. форума. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – Т.1. – С. 175-177.

22. Раскаткин, Ю.Н. Новые способы геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин// Современная наука: теоретический и практический взгляд: тез. докл. науч.-практ. конф. – Уфа, 2013. – С. 83-86.

23. Раскаткин, Ю. Н. Новые способы геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений / Ю. Н. Раскаткин// Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: тез. докл. науч.-практ. конф. – М.: изд-во «АР-Консалт», 2013. – Ч.V. – С. 139-140.

24. Раскаткин, Ю. Н. Односторонний способ определения крена высоких сооружений с помощью электронного тахеометра / Ю. Н. Раскаткин// Наука, образование, бизнес: проблемы, перспективы, интеграция: тез. докл. науч.-практ. конф. – М.: изд-во «АР-Консалт», 2013. – Ч.IV – С. 16-18.

25. Раскаткин, Ю.Н. Референтные прямые как основа геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений/ Ю.Н.Раскаткин, Г.А. Шеховцов, В.Н. Мамонов// Великие реки - 2014: сб. докл. науч.-пром. форума.– Н.Новгород: ННГАСУ, 2014. – Т.1. – С. 194-197.

26. Раскаткин, Ю.Н. О необходимом количестве слагаемых в формуле для определения радиуса сооружения линейно-угловым способом / Ю. Н. Раскаткин, К.А. Бутырёв// Технические науки: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2014. – Т.1. – С. 161-164.

27. Раскаткин, Ю.Н. О геометрической интерпретации пространственного положения высоких сооружений башенного типа / Ю. Н. Раскаткин, М.И. Огурцов// Технические науки: сб. тр. аспирантов, магистрантов и соискателей. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2014. – Т.1. – С. 164-168.

28. Раскаткин, Ю.Н. Методические и классификационные аспекты геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений/ Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 4. – С.123-131.

29. Раскаткин, Ю.Н. Калибровка цифровой фотокамеры с целью измерения расстояний/ Ю. Н. Раскаткин, Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова, Е.В. Попов // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 4. – С.131-141.