

На правах рукописи

ЖЕЛТКО Александр Чеславович



**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ
ОПРЕДЕЛЕНИЙ ОСАДОК, СМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ
ЭЛЕМЕНТОВ
АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТОВ**

Специальность 25.00.32 - Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном унитарном предприятии «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи».

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор

Маркузе Юрий Исидорович

Официальные оппоненты:

Куштин Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», кафедра «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог», профессор

Афонин Дмитрий Андреевич

кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Инженерная геодезия», доцент

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Защита диссертации состоится 27 сентября 2017 г. в 12 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.08 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 26 июля 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СКАЧКОВА
МАРИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известно, что предупредить катастрофу легче, чем бороться с её последствиями. Вместе с тем имеется немало примеров обрушения автомобильных мостов, которые можно было бы предотвратить. Количество катастроф можно уменьшить, организовав периодические наблюдения деформаций мостов. Существует множество различных методов деформационных наблюдений, но самым объективным и независимым является геодезический, который позволяет определять плановое и высотное положение деформационных точек, и следовательно всего моста. Точные геодезические измерения позволяют выявить возможные смещения элементов моста на том этапе, когда смещения ещё не видны при его осмотре. Следовательно, задача совершенствования методов деформационных наблюдений для целей определения осадок, смещений и деформаций элементов автомобильных мостов является достаточно актуальной.

Цель работы: исследование и разработка методов повышения точности определений деформаций элементов мостов.

Идея работы: исследование и разработка методов определения деформаций элементов мостов, которые частично или полностью позволяют решить основные проблемы, связанные с особенностями мониторинга мостов, основными из которых являются: недоступность большинства деталей мостов, неизменность положения которых нужно определять, сложность выбора стабильного места для опорных пунктов из-за весенних паводков, существенные погрешности измерения расстояний тахеометром в безотражательном режиме при острых углах между линией визирования и плоскостью наблюдений.

Основные задачи исследования:

1. Анализ состояния вопросов геодезического определения деформаций мостов и обоснование выбора направлений исследования.

2. Разработка методики определения деформаций элементов мостов и проведение экспериментальных исследований по верификации разработанных алгоритмов, компьютерных программ и оценке точности данной методики.

3. Разработка и исследование методов определения прогибов и изгибов недоступных балок мостов без закрепления опорных и наблюдаемых точек и без измерения расстояний.

4. Разработка и исследование методики исполнительной съёмки нижнего пояса балок моста путём измерения горизонтальных углов и углов наклона на произвольные и незакрепленные точки балок с двух станций.

5. Математическое моделирование разработанных методов, апробация на реальных материалах геодезических съёмок и обоснование возможности использования их на практике.

Методы исследований: анализ, обоснование, математическое моделирование, эксперимент, примеры решения задач и выводы. Широко используются такие прикладные программы ЭВМ как электронные таблицы Ms Excel и Mathcad.

Научная новизна работы:

– разработана и испытана новая методика определения деформаций с учетом специфики геодезических работ на мостах, позволяющая повысить точность геодезических определений за счет исключения исходных пунктов из схемы наблюдений и отсутствия необходимости закрепления станций наблюдений на местности;

– разработаны и испытаны два метода решения задачи определения прогибов и изгибов недоступных балок моста;

– разработан алгоритм и составлены компьютерные программы оценки точности предлагаемых методик измерений на основе методики численного дифференцирования, снимающие проблему нахождения аналитически большого количества частных производных функции неизвестных по измеренным аргументам;

– разработана и испытана методика исполнительной съёмки линии нижнего пояса недоступных балок моста с возможностью

построения двух продольных профилей линии: в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

– выявлены по наблюдениям 25 мостов в Краснодарском крае упругие вертикальные колебания опор моста при изменении уровня воды в реке. Методика измерений на мостах, описанная в диссертации, оказалась достаточно точной для установления зависимости изменения высот марок от уровня воды в реке.

Положения, выносимые на защиту:

1. Использование в очередном цикле деформационных измерений двух осадочных марок вместо отдельно выбранных и закреплённых опорных точек (реперов) позволяет исключить основные погрешности, приводящие к значительной потере точности: погрешности центрирования, редукации визирной цели, погрешности измерения высоты прибора и высоты визирования.

2. По результатам измерений только углов, вертикальных и горизонтальных, с одной или двух станций, решается задача определения непрямолинейности недоступных балок моста в одной или двух плоскостях.

3. Нахождение частных производных функций координат по измеренным вертикальным и горизонтальным углам сразу в численном виде, с последующим нахождением матрицы производных от всех неизвестных по всем измерениям и средних квадратических погрешностей всех неизвестных, снимает проблему нахождения большого количества частных производных в общем виде.

4. Исполнительная съёмка линии нижнего пояса недоступных балок моста с возможностью построения продольных профилей линии по результатам измерений только углов - горизонтальных и вертикальных, позволяет снять проблему труднодоступности балок моста и исключить погрешности измерения расстояний безотражательным способом при острых углах визирования.

5. Опоры моста испытывают вертикальные перемещения в зависимости от уровня воды в реке, по результатам измерений на 25

мостах установлено, что при повышении уровня воды в реке на 1 метр опоры опускаются в среднем на 1,5 мм.

Практическая значимость работы вытекает из актуальности проблемы и заключается в возможности использования результатов исследований на производстве.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций обеспечивались корректной постановкой исследовательских задач, тщательным планированием эксперимента, использованием соответствующего целям и задачам исследования математического аппарата, применением аттестованных измерительных средств, апробированных методик измерения и обработки данных, оценкой точности измерений. Также достоверность полученных результатов подтверждается использованием методов математического моделирования и практическим применением при наблюдениях за деформациями 40 автомобильных мостов в Краснодарском крае.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на конференциях в Ростовском государственном строительном университете в апреле 2011 года и в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) в апреле 2012 года, на заседаниях кафедры геодезии МИИГАиК в мае 2014 года и кафедры инженерной геодезии Горного университета в октябре 2014 года.

Личный вклад автора заключается в выборе темы работы, цели, задач исследования, поиске и анализе информации необходимой для проведения исследований. Результатом самостоятельного исследования соискателя являются разработанные и исследованные методы, теоретические и практические рекомендации, выявленные зависимости.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 статей, из них 5 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинописного текста, содержит 4 главы,

введение и заключение, список литературы из 98 наименования, 48 рисунков, 7 таблиц, 110 формул.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и идея диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе освещено состояние и развитие вопроса, обоснована необходимость проведения исследования по теме диссертации, сделан обзор литературы. В главе описана организация деформационных наблюдений некоторых автомобильных мостов в Краснодарском крае, которые иногда подвергаются предельному воздействию воды в период паводков.

Во второй главе выполнены теоретические исследования предлагаемых новых методов геодезических определений, которые позволяют решить основные проблемы, связанные с особенностями деформационного мониторинга автомобильных мостов, выведен ряд формул для определения деформаций.

В третьей главе выполнена оценка точности результатов определения деформаций и математическое моделирование деформаций деталей мостов с их оценкой точности.

В четвёртой главе рассмотрено применение предлагаемых методов на конкретных объектах.

В заключении изложены основные результаты и выводы, полученные в результате исследований.

Основные результаты диссертационного исследования отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Использование в очередном цикле деформационных измерений двух осадочных марок вместо отдельно выбранных и закреплённых опорных точек (реперов) позволяет исключить основные погрешности, приводящие к значительной потере точности: погрешности центрирования, редукции визирной цели, погрешности измерения высоты прибора и высоты визирования.

Начиная с 2004 года в Краснодарском крае организованы наблюдения за деформациями автомобильных мостов, которые иногда подвергаются предельному воздействию воды в период паводков. Для наблюдений на деталях моста устанавливают марки, координаты которых определяют два раза в год: в мае и октябре.

Размещение марок на деталях моста показано на рисунке 1.

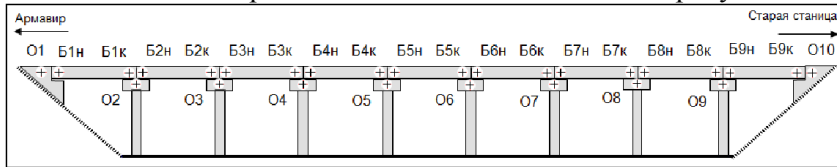


Рисунок 1 - Схема размещения марок на мосту

Марки размещают на опорах и на балках. Методика измерений одинакова в каждом цикле. По разностям измеренных координат марок можно судить о стабильности элементов мостов.

Первоначально координаты определяли от исходных пунктов – реперов. У моста 2 репера: Рп1 и Рп2, заложенные на обоих берегах реки по одну сторону от моста. Измерения координат марок выполняли с 4-х точек: Т1...Т4 (рисунок 2).

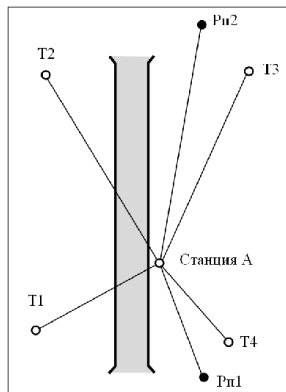


Рисунок 2 - Схема увязки точек тахеометром со станции А

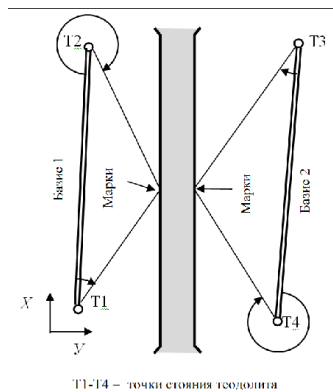


Рисунок 3 - Схема определения координат марок

Эти точки, как правило, нельзя было совмещать с реперами, потому что условия выбора тех и других разные. Точки Т1,...Т4, как концы базисов, выбирали из условия наилучшей геометрии засечек марок, а реперы - из условия наилучшей сохранности между циклами. Поэтому требовался ещё один этап измерений: определение координат базисов от реперов.

Обычно всегда можно было найти точку на мосту (станция А) откуда видны все 6 искомых точек. С этой станции измерялись тахеометром горизонтальные, вертикальные углы и расстояния на все точки. Расстояния измерялись на призму. В результате на мосту создавалась временная сеть из 6 пунктов, координаты и высоты которых определяются из уравнивания всех измерений.

Опыт наблюдений марок на мостах по описанной методике показал, что в ней имеет место значительная потеря точности, несмотря на значительное число избыточных измерений. Основными ошибками являлись ошибки центрирования, редукции визирной цели, измерения высоты прибора и высоты визирования.

В связи с этим программа измерений была изменена и наблюдения мостов сводились только к наблюдениям марок с двух концов базиса (рисунок 3). Реперы не использовались.

Наблюдения марок выполнялись с двух концов базиса, длина которого близка или несколько меньше длины моста. На каждом мосту 2 базиса, по одному с каждой стороны моста.

Наблюдения марок выполнялись двумя электронными тахеометрами, которые устанавливались на обоих концах каждого базиса. Визирование по линии базиса выполнялось одновременно двумя исполнителями способом "труба в трубу". Это позволило практически исключить погрешности центрирования тахеометра над точкой и редукции визирной цели. При визировании "труба в трубу" можно не закреплять на местности точку стояния тахеометра и нет необходимости измерять высоту инструмента.

Вычисления выполняют в такой последовательности. Первоначально координаты одного из концов базиса берут произвольно, а координаты другого конца вычисляют по

приблизённо принятым расстоянию, дирекционному углу и измеренным зенитным расстояниям. По этим координатам, измеренным горизонтальным углам от линии базиса до каждой марки, и измеренным зенитным расстояниям вычисляют все три координаты каждой марки.

Затем произвольно взятую систему координат совмещают с системой координат предыдущего цикла путём её параллельного переноса, вращения и масштабирования таким образом, чтобы вычисленные координаты X и Y максимально удалённых друг от друга двух марок на одной стороне моста (опорные марки) не стали равными координатам этих же марок в предыдущем цикле. На другой стороне моста выполнялось такое же преобразование координат.

По разностям координат в двух циклах для остальных марок можно делать выводы о взаимных смещениях элементов моста.

В этой схеме крайние марки считаются опорными условно. Координаты их неизменны. Однако если эти марки получают смещения, то изменятся координаты остальных марок. Несложный анализ разностей координат марок между циклами позволяет в большинстве случаев без труда выявить нестабильные марки независимо от того, являются они опорными или определяемыми.

В диссертации приведен пример обработки измерений по определению координат марок. Окончательным результатом измерений являются разности координат марок в нынешнем и предыдущем циклах. Приведены графики, которые иллюстрируют изменения координат со временем. В частности показан случай нестабильности двух из 14-ти опор моста длиной 300 метров через реку Уруп у н.п. Садовый Отрадненского района. Разработанная методика измерений при определении координат марок без измерения расстояний и использования реперов показала хорошие результаты и позволила своевременно выявить осадки опор на двух мостах.

Данная методика обладает бесспорными достоинствами: не нужны опорные точки, измерения на осадочные марки выполняют

сразу с двух концов базиса, последующие циклы измерений можно выполнять с новых станций наблюдений, измерения можно делать сразу двумя теодолитами (тахеометрами) способом труба в трубу, не нужно закреплять станции наблюдений, следовательно не нужно измерять высоту прибора, высоту визирования; не нужно делать центрирование над точкой теодолита и визирных целей.

2. По результатам измерений только углов, вертикальных и горизонтальных, с одной или двух станций, решается задача определения непрямолинейности недоступных балок моста в одной или двух плоскостях.

При испытаниях или диагностике мостов бывает необходимо определять прогибы балок. Обычно прогибы измеряют геометрическим нивелированием нижнего пояса балок. В простейшем случае нивелируют три точки балки: начало, середину и конец, вычисляя отклонение отсчёта по рейке в середине балки от среднего отсчёта в начале и конце балки. Если пролёт моста имеет заметный уклон, то середину балки при нивелировании нужно находить достаточно точно, что несколько усложняет измерения. Для части балок выполнить эту работу не представляется возможным из-за их труднодоступности. Кроме прогиба балка может иметь и изгиб, который тоже можно измерять.

Основная идея разработанного метода определения прогибов недоступных балок заключается в том, что прямая линия в пространстве проецируется с любой точки (не лежащей на этой прямой) на сферу дугой большого круга. Поэтому для измеренных горизонтальных и вертикальных углов на эту прямую справедливы формулы сферической тригонометрии. При измерениях теодолитом снимают отсчёты по горизонтальному и вертикальному кругам при наведении крестом сетки нитей на начало А, середину С и конец В линии нижнего внешнего ребра балки (рисунок 4). Если балка прямолинейная, то на сферическом треугольнике она изобразится дугой А, С, В.

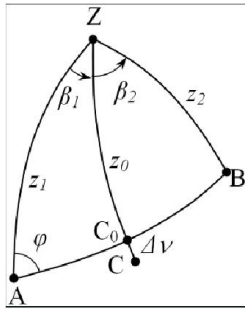


Рисунок 4 – Схема измерений

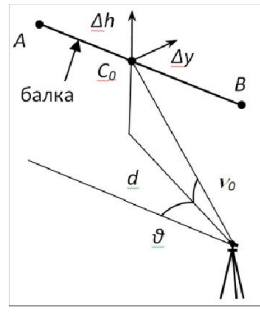


Рисунок 5 – Схема измерений прогиба и изгиба балки

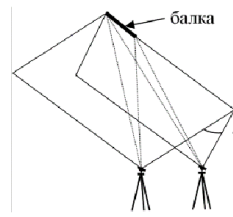


Рисунок 6 – Схема наблюдений с двух точек

На рисунке 4 обозначено: точка Z – зенит; β_1, β_2 - измеренные горизонтальные углы; z_1, z_2 – измеренные зенитные расстояния; φ - вспомогательный угол, z_0 – вычисленное зенитное расстояние для точки C_0 , лежащей в пространстве на прямой AB . Измеренное зенитное расстояние z_c для середины балки относится к точке C , имеющей прогиб, который нужно определить. Из-за прогиба появляется разность зенитных расстояний

$$\Delta \nu = z_0 - z_c. \quad (1)$$

По формулам сферической тригонометрии для двух треугольников выводятся следующие формулы. В них сделана замена зенитных расстояний на углы наклона $\nu = 90^\circ - z$.

Вначале находят угол наклона для точки C_0 :

$$\operatorname{tg} \nu_0 = \frac{\operatorname{tg} \nu_1 \cdot \sin \beta_2 + \operatorname{tg} \nu_2 \cdot \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}. \quad (2)$$

Затем вычисляют прогиб балки, как длину вертикального отрезка Δh

$$\Delta h = \frac{(\nu_c - \nu_0) \cdot d}{\cos^2 \nu_c}, \quad (3)$$

где d – горизонтальное расстояние от теодолита до точки C ; V_c – измеренный угол наклона на середину балки.

Балка может иметь кроме прогиба Δh , ещё и изгиб Δy – непрямолинейность в горизонтальной плоскости (рисунок 5).

Обе составляющие Δy и Δh можно найти, сделав измерения с двух точек (рисунок 6) и решив совместно два уравнения

$$\begin{aligned} a_1 \cdot \Delta y + b_1 \cdot \Delta h &= \Delta v_1, \\ a_2 \cdot \Delta y + b_2 \cdot \Delta h &= \Delta v_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Delta v = v_c - v_0$.

Коэффициенты a и b имеют вид

$$a = \frac{l}{d} \left(\frac{tg v_1 \cdot \cos \beta_2 - tg v_2 \cdot \cos \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} \cos^2 v_c \cdot \cos \theta - \sin v_c \cdot \cos v_c \cdot \sin \theta \right), \quad (5)$$

$$b = \frac{\cos^2 v_c}{d}, \quad (6)$$

где θ - горизонтальный угол между линиями балки и визирования.

Хотя наведения теодолитом на линию балки по вертикали следует выполнять максимально точно, не обязательно точно наводить на середину балки по горизонтали, как и не обязательно точно наводить на одни и те же точки балки при обеих установках теодолита. Нет также необходимости закреплять обе точки стояния теодолита и делать между ними взаимные привязки.

Две точки наблюдений могут находиться недалеко друг от друга и иметь близкие между собой зенитные расстояния на точки балки. Тем не менее, уравнения решаются надёжно. Обусловленность системы двух уравнений зависит не от разности измеренных углов с двух точек, а от угла γ между двумя плоскостями, содержащими линию балки и точку наблюдений (рисунок 6). По аналогии с прямой угловой засечкой можно установить допуск на минимальную величину угла γ в 30° .

В диссертации приведен пример вычислений прогибов балок который взят из отчётов по наблюдениям за деформациями моста, которые проводились по договору, заключённому с организацией, отвечающей за эксплуатацию моста. При длине балки 20 метров и расстояниях визирования до 92 метров максимальные расхождения между 5-ю значениями прогибов составили 6 мм. Для 3-х балок из 10-ти эти расхождения составляют только 2 мм. При этом не было ни одного случая повторных измерений или какой-либо корректировки.

3. Нахождение частных производных функций координат по измеренным вертикальным и горизонтальным углам сразу в численном виде, с последующим нахождением матрицы производных от всех неизвестных по всем измерениям и средних квадратических погрешностей всех неизвестных, снимает проблему нахождения большого количества частных производных в общем виде.

В общем виде оценка точности по приведенным громоздким формулам пространственной геометрии (применительно к методике исполнительной съёмки линии нижнего пояса балок моста) довольно сложна, потому что необходимо найти 216 частных производных в общем виде. Уместно в связи с этим оценить точность на основе численного дифференцирования. Частные производные функции неизвестных по измеренным аргументам (величинам) легко отыскиваются на листе Excel, на котором все ячейки увязаны между собой формулами. Для этого измеренные величины последовательно увеличивались на 1", находились изменения вычисленных координат и вычислялись производные с размерностью мм/сек. дуги.

В результате получим матрицу f размером 18×12 , где 18 строк относятся к производным от функции 3-х координат 6-ти точек балки, а 12 столбцов – к измеренным элементам. Затем получим матрицу обратных весов неизвестных

$$Q = fQ_{\beta}f^T, \quad (7)$$

где Q_β – матрица весов измерений.

Приняв для простоты 12 измерений горизонтальных и вертикальных углов независимыми между собой и имеющими одинаковую точность, получим вместо матрицы Q_β единичную матрицу и вместо (7) будем иметь

$$Q = f f^T. \quad (8)$$

Для точности измерений углов $\sigma_\beta = 5''$ получим средние квадратические ошибки (СКО) для всех неизвестных

$$\sigma_j = 5 \sqrt{Q_j}. \quad (9)$$

Результаты вычислений приведены в таблице 1 для 2-х балок.

Таблица 1 – СКО определения координат точек на балках

| Обозначение координат | x_1 | y_1 | z_1 | x_2 | y_2 | z_2 | x_3 | y_3 | z_3 | x_4 | y_4 | z_4 | x_5 | y_5 | z_5 | x_6 | y_6 | z_6 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Балка 1, СКО, мм | 18 | 4 | 3 | 15 | 4 | 3 | 12 | 4 | 2 | 53 | 4 | 2 | 43 | 4 | 2 | 33 | 3 | 2 |
| Балка 5, СКО, мм | 0,9 | 1,1 | 0,8 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 3,4 | 1,3 | 0,8 |

Представляет интерес (рисунок 7) самая дальняя балка (балка 1). Для неё точность координаты X на порядок ниже точности координат Y и Z. Это объясняется тем, что для координаты X имеем острый угол засечки (рисунок 6). А точность координат Y и Z определяется в основном углом между плоскостями (48°).

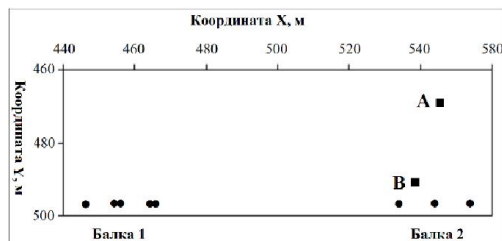


Рисунок 7 – Схема размещения точек

Точность координаты X (вдоль оси моста) в данном случае не существенна. Важны отклонения от прямой вверх (ось Z) и вбок (ось Y).

4. Исполнительная съёмка линии нижнего пояса недоступных балок моста с возможностью построения продольных профилей линии по результатам измерений только углов - горизонтальных и вертикальных, позволяет снять проблему труднодоступности балок моста и исключить погрешности измерения расстояний безотражательным способом при острых углах визирования.

При паспортизации автомобильных мостов, которые проводятся через определённые интервалы времени, всегда делают нивелирование проезжей части моста и строят затем продольные и поперечные профили. По ним судят о неизменности положения элементов моста по высоте. Очевидно, что более объективную оценку стабильности моста можно было бы выполнить путём нивелирования нижнего пояса балок. Однако такое нивелирование не делают вследствие труднодоступности или недоступности балок.

Разработана методика съёмки нижней линии балок моста, по которой можно составить продольный профиль.

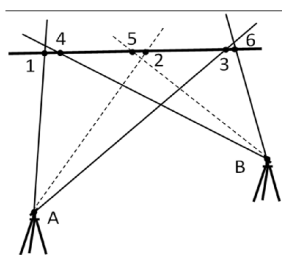


Рисунок 8 – Схема измерений балки с двух станций

С двух станций измерены горизонтальные и вертикальные углы на начало, середину и конец ребра одной балки моста (рисунок 8). Обобщённо задача выглядит так. Через точку A и два измеренных луча 1 и 3 на начало и конец балки можно построить плоскость,

аналогично строится вторая плоскость через точку В и лучи 4 и 6. Пересечением этих плоскостей является единственная прямая в пространстве. Затем вблизи середины балки через лучи 2 и 5 проводим вторую прямую, параллельную первой. Здесь тоже будем иметь единственную прямую. Пересечения соответствующих лучей с этими двумя прямыми дают все 3 координаты каждой из 6 точек. Разумеется, число точек на балке можно увеличить.

В диссертации данная задача решается по формулам пространственной геометрии. В итоге получаем 3 координаты каждой из 6 точек балки. 18 переменных для каждой балки независимы от переменных других балок. Поэтому очередность обработки балок может быть любая. Отличительной особенностью данной методики является большое число неизвестных и отсутствие избыточных измерений. Между тем, если нет грубых ошибок, всё обрабатывается без труда. Возможные ошибки будут видны на профилях. Хотя каждая балка обрабатывается отдельно, на профилях должна быть видна непрерывная линия всех балок.

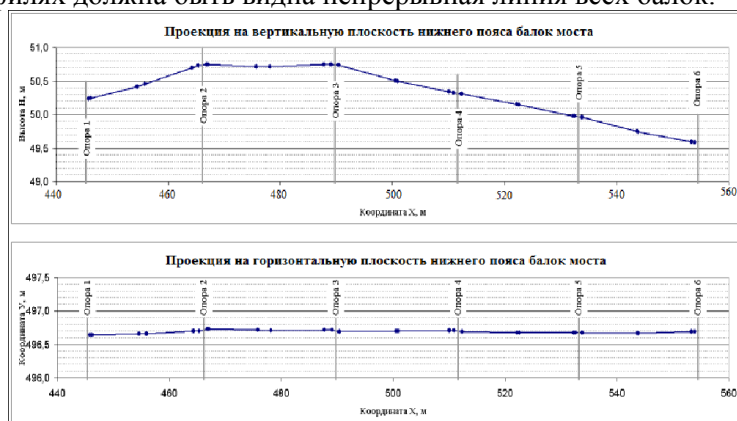


Рисунок 9 – Проекция снимаемой линии: на вертикальную и горизонтальную плоскости

Проведены испытания данной методики съёмки нижнего пояса линии балок моста. Для примера взят тот же мост, для которого

приведены экспериментальные измерения по определению разности координат марок и прогибов балок. Методика показала хорошие результаты и позволяет нарисовать две проекции снимаемой линии: на вертикальную и горизонтальную плоскости (рисунок 9).

5. Опоры моста испытывают вертикальные перемещения в зависимости от уровня воды в реке, по результатам измерений на 25 мостах установлено, что при повышении уровня воды в реке на 1 метр опоры опускаются в среднем на 1,5 мм.

Методика измерений на мостах, особенно для высот марок, оказалась настолько точна, что удалось установить изменения высот марок от уровня воды в реке. Для анализа вертикальных смещений опор моста в зависимости от уровня воды в реке были использованы измерения в двух циклах: весеннем - в мае и осеннем - в октябре. В весеннем цикле уровень воды в реках был заметно выше по сравнению с уровнем воды в осеннем цикле. Было установлено, что для большинства мостов высоты марок в осеннем цикле по сравнению с высотами в весеннем цикле для опор, находящихся в воде, увеличились.

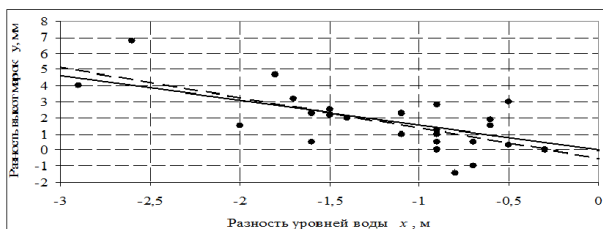


Рисунок 10 – Корреляция между высотами марок и уровнем воды в реке

В среднем подъём опор составил 1-3 мм на 1 метр уменьшения уровня воды в реке. Результаты измерений представлены графически (рисунок 10). Каждая точка на рисунке нанесена по координатам x и y . Всего 25 точек по числу мостов. На рисунке отчётливо видна корреляция между разностями высот марок и разностями уровней воды в реке. Наклонной штриховой линией показан линейный тренд этой зависимости. С целью объективности

проведенного исследования в обработку были включены результаты измерений на всех без исключения 25 мостах и на всех опорах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты диссертации заключаются в следующем:

– разработана и испытана новая методика определения деформаций деталей мостов. Использование данной методики позволяет приводить различные по времени циклы измерений к единой системе координат без использования опорных пунктов и без закрепления станций наблюдений на местности;

– разработаны и испытаны два метода решения задачи определения прогибов и изгибов недоступных балок моста. Использование первого метода позволяет определять с одной станции непрямолинейность балок моста в вертикальной плоскости. Использование второго метода позволяет определять с двух станций составляющие непрямолинейности балки в двух плоскостях;

– разработан алгоритм и составлены компьютерные программы оценки точности предлагаемых методов измерений на основе методики численного дифференцирования, снимающие проблему нахождения в общем виде большого количества частных производных функции неизвестных по измеренным аргументам;

– разработана и испытана методика исполнительной съёмки линии нижнего пояса недоступных балок моста с возможностью построения двух продольных профилей линии: в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Достоинством данной методики является то, что визирование осуществляется на произвольно выбранные, заранее не закрепленные точки на нижней линии балок моста. Съёмка осуществляется путём измерения горизонтальных и вертикальных углов на точки балки с двух станций, расстояния не измеряются, тем самым исключаются ошибки измерения расстояний безотражательным способом при острых углах визирования;

– выявлены вертикальные смещения опор на 25 мостах в зависимости от уровня воды в реке. Методика измерений на мостах, описанная в диссертации, оказалась достаточно точна для установления зависимости изменения высот марок от уровня воды в реке.

Список публикаций по теме диссертации:

1. Желтко А.Ч., Желтко С.Ч., Заречный В.С. Исследование пространственной линейной засечки. Деп. в ОНТИ ЦНИИГАИК 19.06.96 № 609 - гд 96. Опубликовано в БУ ВИНТИ "Депонированные научные работы", 1996, №8 /296/. С.48.

2. Желтко А.Ч., Желтко С.Ч. Определение прогибов балок автомобильных мостов // МГУ им. М.В.Ломоносова, Южный федеральный университет. Труды участников Международной школы-семинара по геометрии и анализу памяти Н.В. Ефимова. 2008. Стр. 179-182.

3. Желтко Ч.Н., Желтко А.Ч. О вертикальных смещениях опор моста при изменении уровня воды в реке // Геодезия и картография. 2008. № 11. Стр.12-13.

4. Желтко Ч.Н., Желтко А.Ч. Измерение прогибов недоступных балок автомобильных мостов // Инженерная геодезия. Сборник научных трудов. Киев. Выпуск 54, 2008. Стр. 67-70.

5. Желтко А.Ч., Желтко С.Ч. Мониторинг безопасности автомобильных мостов по упругим осадкам опор // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 1. С.23-26.

6. Желтко А.Ч., Желтко С.Ч. Об определении прогибов балок автомобильных мостов // Геодезия и картография. 2009. № 1. Стр.23-24.

7. Желтко А.Ч. Анализ пространственной обратной засечки по двум исходным пунктам. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 2. Стр.43-48.

8. Маркузе Ю.И., Желтко А.Ч. Способ исполнительной съемки нижнего пояса балок автомобильного моста. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 3. Стр.20-25.