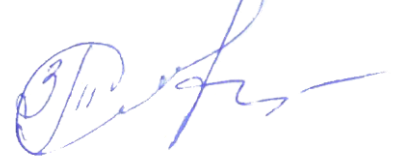


На правах рукописи



Зверева Татьяна Геннадьевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА
ДЕФОРМАЦИЯМИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Специальность 25.00.32 - Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)

Научный руководитель: кандидат технических наук **Швидкий Валентин Яковлевич**

Официальные оппоненты: **Буюкян Сурен Петросович**
доктор технических наук, АО
«Государственный
специализированный проектный
институт» (АО «ГСПИ»)
ГК «РОСАТОМ», главный специалист

Симонян Владимир Викторович
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет» (НИУ «МГСУ»), кафедра
Инженерных изысканий и геоэкологии,
доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Государственный
университет по землеустройству»
(ГУЗ)

Защита диссертации состоится 30 сентября 2021 г. в 12 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК) по адресу: 105064, г. Москва, Гороховский переулок, д. 4, зал заседаний Ученого совета.

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

<http://www.miigaik.ru/science/councils/dissertation/>

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



О.В. Вшивкова

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Дальнейшее социально-экономическое развитие страны, освоение территории и природных богатств требует развития дорожной сети, включая строительство мостовых переходов. Строительство мостов всегда сопровождается деформационными процессами, прогнозируемыми и не прогнозируемыми, на различных этапах строительства, их изучение и учет крайне необходимы для достижения высокой точности сборки конструкций мостовых переходов. Повышение требований к безопасности строительства и эксплуатации сложных мостовых переходов обуславливает необходимость совершенствования методов и технологий выполнения геодезических работ на объектах данного типа, в связи с чем тема диссертационной работы является актуальной.

Степень разработанности темы исследования. Крупнейшие ученые – мостостроители России Д.И. Журавский, С.В. Кербедз, Н.А. Белелюбский, Г.П. Передерий, Л.Д. Проскуряков, К.С. Силин - Герой Труда СССР, А.С. Платонов, выдающиеся строители-мостовики В.И. Шмидт, А.В. Островский - Герой Труда России, В.Н. Коротин, В.В. Коротин, В.А. Климов О.И. Чемеринский и другие, ученые-геодезисты Х.К. Ямбаев, Г.П. Левчук, Н.Н. Лебедев, Е.Б. Ключин, В.Е. Новак, В.Я. Швидкий и другие внесли вклад в мостостроение, в учет деформаций конструкций. В связи с появлением новых строительных материалов и техники совершенствуются как конструкции мостов, так и технологии их возведения. Проблеме учета деформаций элементов мостовых сооружений в процессе строительства и эксплуатации уделяется большое внимание. Это относится и к геодезическим методам наблюдений за деформациями. Сегодня в геодезическом сопровождении строительства мостов используются высокоточные электронные тахеометры (ЭТ), глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), цифровые нивелиры, что позволяет разрабатывать новые методики выявления деформаций, измерения их

величин, предотвращения влияния на размеры и геометрию конструкции, в конечном итоге - продлевает срок эксплуатации мостов. Естественно, это приводит к большому экономическому эффекту.

Целью работы явилась разработка методики геодезического обеспечения исследований зависимостей величин деформаций, возникающих при сборке стальных пролетов моста коробчатой конструкции на стапеле и надвигке на капитальные опоры в зависимости от влияния качества сварочных работ, изменения температуры окружающей среды, уровня солнечной радиации, точности монтажных работ с использованием электронных тахеометров, нивелиров, а также исследований влияния деформаций на положение опалубки при изготовлении железобетонных плит автосъездов эстакад виражей, и, как следствие, разработка мер предотвращения влияния деформаций и построение геодезической разбивочной основы для обеспечения строительства мостов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

- разработать методику геодезического контроля за деформациями мостовых сооружений в процессе строительства, включающая контроль за надвигкой пролетного строения на капитальные опоры и замыкания двух плетей в единую конструкцию пролетного строения;

- разработать схему уравнивания плановой сети ГРО, обеспечивающую требуемую точность координат пунктов разбивочной основы;

- исследовать зависимости величин деформаций пролетного строения, возникающих под влиянием технологических процессов, внешней среды и других факторов;

- выполнить расчеты необходимой и достаточной точности измерения углов наклона при различных расстояниях отметок, удовлетворяющих СП 46.13330.2012 «Мосты и трубы».

Научная новизна работы:

- разработана новая схема уравнивания ГРО, позволяющая эффективно учитывать возможные ограничения точности определения координат исходных геодезических пунктов, обеспечивая высокую точность создаваемой сети;
- доказано, что при использовании электронного тахеометра (ЭТ) метод тригонометрического нивелирования обеспечивает создание высотной основы сооружения в увеличенном диапазоне длин сторон (до 1000 м);
- по результатам исследований установлена эмпирическая зависимость изменения величины деформаций стального пролета коробчатой конструкции при его сборке на стапеле от суммарного эффекта, вызванного влиянием сварки металла, изменением температуры внешней среды, солнечной радиацией.

Теоретическая значимость. Результаты использования разработанных теоретических положений обосновывают возможность повышения точности уравнивания сети ГРО для строительства стальных мостов при привязке к опорным геодезическим пунктам, координаты которых определены с недостаточной точностью. Доказана возможность использования метода тригонометрического нивелирования для передачи высот через препятствия при расстояниях до 1 км.

Практическая значимость. Предложенные методические разработки и рекомендации, включая схему построения и уравнивания ГРО, предложения по развитию высотной основы с использованием метода тригонометрического нивелирования, комплексную методику геодезического контроля за деформациями мостовых сооружений в процессе строительства, охватывают практически весь технологический цикл геодезического обеспечения строительства, позволяя обеспечить постройку объекта на местности с точностными характеристиками, соответствующими нормативным документам с использованием штатного геодезического оборудования, без привлечения специальных приборов. Результаты работы внедрены в производство, успешно используются при строительстве стальных мостов коробчатого сечения, съездов

разноуровневых автомобильных развязок мостовыми строительными организациями, что подтверждается справками о внедрении, выданными ведущими мостостроительными организациями: ПАО «МОСТОТРЕСТ», ООО «АВТОБАН–МОСТ», АО «МОСИНЖПРОЕКТ-ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО».

Методология и методы исследования. Исследования выполнялись теоретическими расчетами необходимой и достаточной точности измерений при создании плановой и высотной ГРО; расчетами точности предлагаемых методов контроля монтирования конструкции ПС коробчатого сечения на стапеле; натурными измерениями положения в плане и по высоте монтируемой плети стального ПС на стапеле, определение и учет деформаций при его сборке в зависимости от температуры окружающей среды и монтажных операций; циклической нагрузке на капитальные опоры геодезическими методами. Полученные эмпирические данные положения ПС в плане и по высоте, при различных температурах окружающей среды и металла в процессе строительства, являлись исходными данными для построения графиков зависимостей деформаций ПС на разных стадиях строительства.

По данным натурных измерений положения опалубки изготовления монолитной железобетонной плиты проездов (виражей), по месту, разноуровневых эстакад автосъездов на развязках, до нагрузки и после нагрузки стальными каркасами и бетоном, установлены зависимости величин деформаций от расстояний относительно осей опирания плиты на капитальных опорах. Построен график зависимостей величин вертикальных деформаций опалубки в пролетах 14 м, 16 м.

Объекты исследований – строящиеся стальные мосты со сборкой на стапельных площадках, с последующей продольной циклической нагрузкой ПС на капитальные опоры, с замыканием пролетов в единую конструкцию и без замыкания. Строящиеся эстакады виражей с крутыми радиусами автосъездов на

развязках, с изготовлением железобетонной плиты проезда, по месту, с длинами пролетов 14 м, 16 м.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Изменение требований п. 2.9. СП 46. 13330. 2012 «Мосты и трубы».
2. Особенности построения и уравнивания ГРО для строительства мостов (высокая точность взаимного положения объединяемых элементов мостовых конструкций в плане и по высоте) с использованием ЭТ, ГНСС
3. Методика геодезического обеспечения монтажа главных несущих балок и пролета в целом, с заданной точностью, на стапеле, исключая или минимизирующая деформации ПС.
4. Исследования зависимостей величин деформаций, вызываемых сварочными работами, изменением температуры окружающей среды, солнечной радиацией; построенные графики зависимостей величин деформаций для опускания концов главных балок (хвоста) по высоте на стапеле пристыковываемого блока на величину деформаций, с целью исключения или минимизирования деформации.
5. Методика инструментального геодезического контроля за положением пролетного строения в процессе его надвигки на капитальные опоры (деформации, положение лидирующего торца в пространстве в плане и по высоте - прогиб) с использованием ЭТ, момент остановки надвигки.
6. Методика геодезического обеспечения объединения двух плетей пролета, надвинутых с противоположных берегов, в цельную конструкцию (замыкание).
7. Исследование зависимости величин деформаций опалубки по высоте, для изготовления железобетонной плиты проезда, по месту, вызываемые нагрузкой стального каркаса, уложенного бетона и расстояния от осей опирания. Построенный график зависимости величин деформаций опалубки от расстояний, относительно осей опирания плиты на капитальных опорах, в пролетах длиной 14 м, 16 м эстакад виражей автосъездов.

Степень достоверности и обоснованности результатов подтверждается:

- успешным использованием разработок в строительстве мостов и полнотой постановки задач исследования, адекватностью использованных методов и алгоритмов;
- корректностью применения математического аппарата оценки точности геодезических построений с использованием строгих методов и обработки результатов измерений;
- проверкой теоретических и методических положений на основе эмпирических исследований и использования фактической измерительной информации, полученной на реальных строительных объектах с использованием поверенных геодезических приборов;
- последовательностью и непротиворечивостью выводов и рекомендаций, полученных в результате исследований;
- успешным опытом практического использования выполненных разработок в специализированных производственных организациях.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на:

1. 74-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, посвященной 240-летию основания МИИГАиК», 15-19 апреля 2019 г., г. Москва;
2. Международной научной конференции «Геодезическое и геоинформационное обеспечение киберфизических систем на транспорте», 03-04 декабря 2020 г., г. Москва, МИИТ, МИИГАиК.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия:

- п. 5 «Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительного-монтажных, маркшейдерских работ»;
- п. 6 «Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов».

В рамках диссертационного исследования **лично автором получены** следующие научные результаты:

- разработана методика геодезического контроля за деформациями мостовых сооружений в процессе строительства, обеспечивающая сборку стального пролета моста на стапеле с учетом его деформаций, вызываемых сварочными работами и изменением температуры окружающей среды;

- предложена новая схема уравнивания сети ГРО, позволившая учесть возможные ограничения по точности определения координат исходных геодезических пунктов;

- выявлены эмпирические зависимости величин деформаций стального пролета коробчатой конструкции при его сборке на стапеле, вызванные суммарным влиянием сварки металла и температурой внешней среды, а также зависимости величин деформаций опалубки, вызываемые нагрузкой стального каркаса и уложенным бетоном в опалубку, от расстояний относительно осей опирания пролета на капитальных опорах к его середине (длины 14 м, 16 м) минимизирующие и исключаящие деформацию путем изменения строительного подъема блоков монтируемого пролета;

- теоретически обоснована возможность передачи высот на пункты ГРО, с заданной точностью, через препятствия при расстояниях до 1 км, методом тригонометрического нивелирования. Теоретические расчеты апробированы в производственных условиях.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 статей (все из списка ВАК), 2 тезиса докладов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка источников использованной литературы (95 наименований) и 3-х приложений. Работа изложена на 185 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и 6 таблиц.

Основное содержание работы

Во **введении** указана актуальность и научная новизна исследовательской работы, перечислены решаемые задачи, способствующие достижению поставленной цели, дана историческая справка строительства мостов в России.

В **главе 1** приведены общие сведения о мостах, их названиях по назначению, классификации по различным признакам. Даны определения мостового перехода и моста, отдельных его элементов, регуляционных устройств.

Глава 2 посвящена созданию геодезической разбивочной основы, для осуществления строительства моста, с высокой точностью монтажа элементов конструкций (взаимное расположение 2-3 мм).

Согласно СП «Мосты и трубы» средние квадратические погрешности (**скп**) положения пунктов ГРО не должны превышать относительно исходного пункта при строительстве больших и внеклассных мостов 6 мм в плане и 3 мм по высоте для отметок постоянных реперов на берегах и опорах и временных – 5 мм. Построенная мостовая ГРО для решения всех строительных задач на объекте может быть ориентирована по одной из выбранных сторон съёмочной сети, созданной при изысканиях, или опираться на пункты, координаты которых определены из наблюдений ГНСС. При строительстве мостов длиной свыше 300 м, вантовых мостов, мостов на кривых, мостов с высотой опор более 15 м геодезические разбивочные работы и контроль следует выполнять по проекту производства геодезических работ (**ППГР**), который разрабатывает Генеральная проектная организация, в составе рабочей документации на строительство моста.

Рассматриваются особенности проектирования и создания ГРО. Число пунктов ГРО и их размещение зависит от протяженности мостового перехода, конструкции опор и местных условий. Плановая ГРО может быть реализована любым известным в геодезии методом, обеспечивающим требуемую точность. Схема сети, её форма, методы реализации зависят от условий окружающей среды, степени открытости участка строительства, формы объекта и требуемой точности его возведения.

Линейно-угловая сеть в 1,5 раза точнее по сравнению с другими методами, при этом форма треугольников практически не влияет на точность определения координат. Недостатком является требование наличия видимости между пунктами, большой объем измерительных и вычислительных работ.

Преимуществом метода полигонометрии является достаточная видимость на смежные два пункта хода, что и используется при строительстве объекта в закрытой местности. Особенностью полигонометрии инженерного назначения является наличие коротких сторон (до 80 м), а также повышенная точность угловых и линейных измерений ($m_s \leq 1-2$ мм, $m_\beta \leq 2''-3''$).

При создании ГРО любым из указанных методов, исключая спутниковый, работа сводится к измерениям углов поворота и расстояний между пунктами сети. В диссертации приведены расчёты для хода полигонометрии $S_{P4} - ПЗ 12 - ПЗ 14 - S_{P2}$ (Рисунок 1) по известным формулам. В расчетах принято: координаты опорных геодезических пунктов № $S_{P1}, S_{P2}, S_{P3}, S_{P4}$ получены из спутниковых наблюдений с погрешностью $m_{ИС} = 2$ мм.

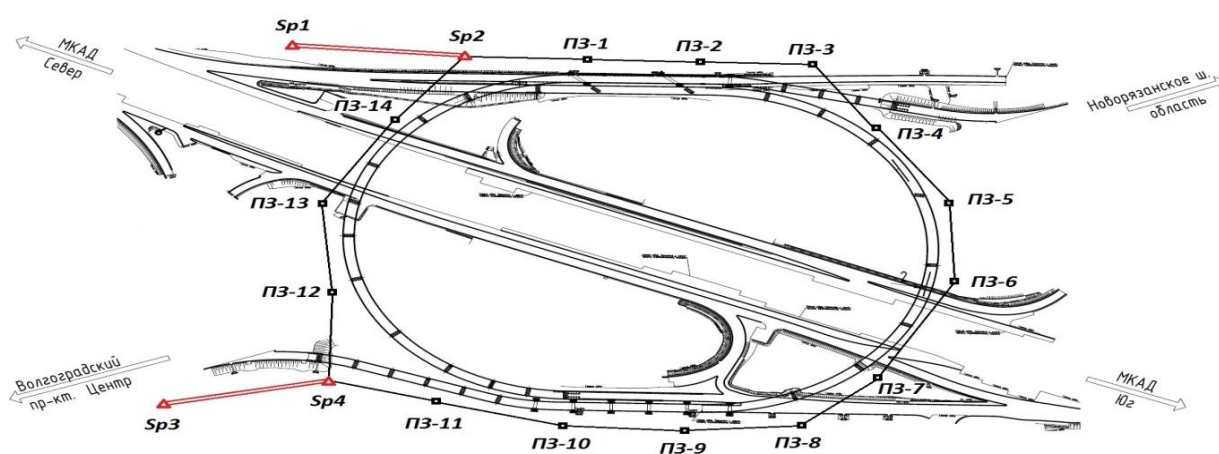


Рисунок 1. Схема создания ГРО методом полигонометрии с опорой на базисы пунктов спутниковых наблюдений (автомобильная развязка на МКАД, Волгоградский просп., г. Москва)

При $n = 12$, $[S] = 1200$ м, $m_S = 2$ мм, – допустимая погрешность измерений углов $m_\beta \leq 1,5''$. Если используется прибор с $3''$ точностью угловых измерений, например, SET350RX, то число приемов измерений горизонтальных углов поворота в ходе (p)

$$p = \frac{m_{\text{пр}}^2}{m_{\text{из}}^2} = \frac{3^2}{(1.5)^2} = 4 \text{ приёма}, \quad (1)$$

где $m_{\text{пр}}$ – скп измерения угла одним приёмом, $m_{\text{из}}$ – требуемая точность измерения горизонтальных углов хода.

Плановую сеть ГРО мостового перехода уравнивают на ЭВМ с использованием имеющихся программ «строгим» методом, т.е. наименьших квадратов.

Вследствие того, что ГРО примыкает к пунктам государственной или городской сети, точность которых часто не удовлетворяет требованиям инженерной сети, возникают недопустимые невязки по осям координат несмотря на высокую точность выполненных линейных и угловых измерений. Значения поправок в результате уравнивания превосходят точность измерений, что в конечном итоге искажает сеть. Это обнаруживается при полевой приёмке уравненной сети.

В этом случае уравнивание сети следует выполнять под условием: в измеренные стороны и углы, связывающие пункты сети, с которых будут выполняться разбивочные и контрольно-измерительные геодезические работы, поправки в стороны и углы не должны превышать точность их измерений. Оставшаяся часть поправок распределяется на подходные стороны сети (не используемые в разбивочных работах). Такой метод уравнивания позволяет получить «жесткое» взаимное расположение пунктов, используемых непосредственно в строительстве.

Второй вариант: сеть уравнивается как свободная, в условной системе координат. По имеющимся привязкам сети ГРО к пунктам государственной или городской сети (необходимо уточнить по рабочей документации – в какой

системе координат составлен проект) выбираются два пункта. Используя координаты одного пункта и дирекционный угол этой стороны, перевычисляются координаты пунктов сети ГРО в проектную систему. В этом случае уравненная сеть ГРО не подвергается искажениям, которые могут быть вызваны недостаточной точностью опорной сети. Однако будет иметь место некоторая сдвигка строящегося объекта на местности (на величину невязки) в целом, что практически ничтожно.

При высотном обеспечении строительства мостов методами геометрического и тригонометрического нивелирования жесткие требования к взаимному расположению мостовых конструкций при их монтаже требуют высокой точности высотного обоснования.

В диссертации выполнены расчеты необходимой и достаточной точности измерения углов наклона при различных расстояниях передачи отметок, удовлетворяющих требованиям СП «Мосты и трубы», $m_H \leq 3$ мм. Приведена таблица числа приемов измерений для ЭТ с точностью измерений углов одним приемом 1" и 3".

Предлагается увеличить число опорных пунктов плановых и высотных не менее 3-х на каждом берегу, с наличием взаимной видимости между ними, для мостов протяженностью 100 м и более. Внести изменения в СП 46.13330. 2012. Рекомендуется использовать метод тригонометрического нивелирования при передаче высот на пункты ГРО на расстояниях до 1 000 м, используя электронный тахеометр, уголкового отражатель и подставку-адаптер.

В главе 3 рассматриваются виды деформаций, причины их возникновения, а также их учет при монтаже пролёта цельносварного металлического моста коробчатого сечения на стапеле (Рисунок 2).

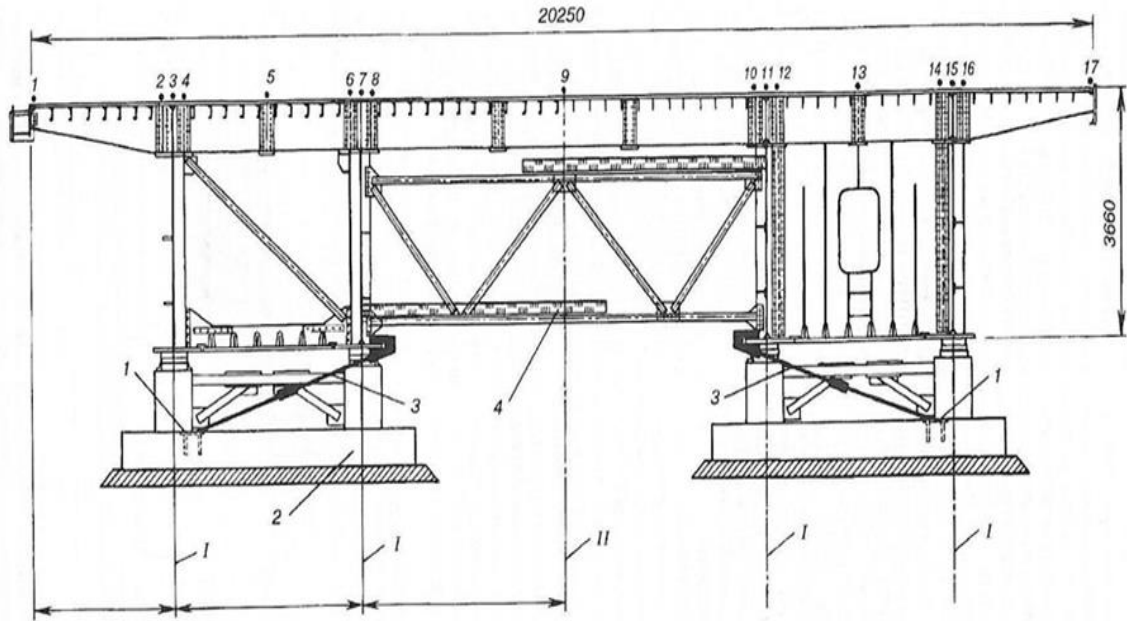


Рисунок 2. Поперечный разрез конструкции цельносварного металлического моста

Одной из главных задач в мостостроении является исключение или минимизация влияния деформаций на конструкцию сооружения, что обусловлено высокой точностью взаимного расположения в плане и по высоте, объединяемых мостовых элементов в единую конструкцию сварочными и болтовыми соединениями, а также точностью расположения осей опирания мостового пролета (опорных диафрагм) на капитальных опорах. Деформация тела вполне определяется, если известен вектор перемещения каждой точки тела. В мостостроении помимо определения изменения положения элементов объекта или всего объекта в целом в пространстве, относительно зафиксированного начального положения в какой-то момент времени, добавляется ещё определение изменения размеров и формы наблюдаемых элементов или объекта в целом.

Выполнены исследования «усадки» металла после сваривания элементов моста (ортотропных плит) - 2 мм на шов в поперечном сечении, 24 мм – на мостовое полотно в целом (Рисунок 2). Учитывается в увеличении ширины зазора шва при монтаже плит под сварку, внедрено в производство, является предметом защиты.

Исследованиями установлена суммарная величина сварочных деформаций при сварке нижних и верхних поясов главных балок, вертикальных вставок в стенки главных балок в зависимости от температуры воздуха во время выполнения сварочных работ. Построены графики зависимости деформаций, позволяющие определить величину опускания концов наружных и внутренних балок (хвост) в зависимости от температуры окружающей среды (Рисунок 3), что в конечном итоге исключает сварочные деформации.

Результаты выполненных исследований используются при объединении главных балок в коробки, самих коробок - верхней ортотропной плитой, чтобы выдержать проектный размер между внутренними балками пролетного строения, а также при монтаже консольных плит для обеспечения проектного размера в целом полотна моста.

Предложен метод фиксации хвоста пролета, т.е. главных балок, с использованием талрепов, обеспечивающий их проектное положение и прямолинейность при пристыковывании последующего блока (Рисунок 2). Выполненные геодезические работы и исследования в процессе сборки пролетных строений на стапельных площадках в пространственную конструкцию позволили произвести монтажные работы с требуемой точностью, в конечном итоге успешно выполнить продольную надвижку и установку пролетного строения на капитальные опоры моста.

Глава 4 посвящена устройству стапельной площадки для монтажа части ПС с его последующей линейной надвижкой на капитальные опоры.

Для сокращения сроков строительства моста, если позволяют условия местности, сборочные стапельные площадки устраивают на обоих берегах препятствия. В этом случае сборка пролетов выполняется на двух стапелях одновременно, а затем производится их надвижка. Замыкание двух плетей пролета происходит на середине самого протяженного интервала между капитальными опорами, как правило, центрального. Именно эта технология позволяет перекрыть длинное расстояние, так как объединяются в замке две

консоли по 0,5 пролета с каждого берега. Это чрезвычайно важно с точки зрения деформации пролета, как консоли, при продвижке.

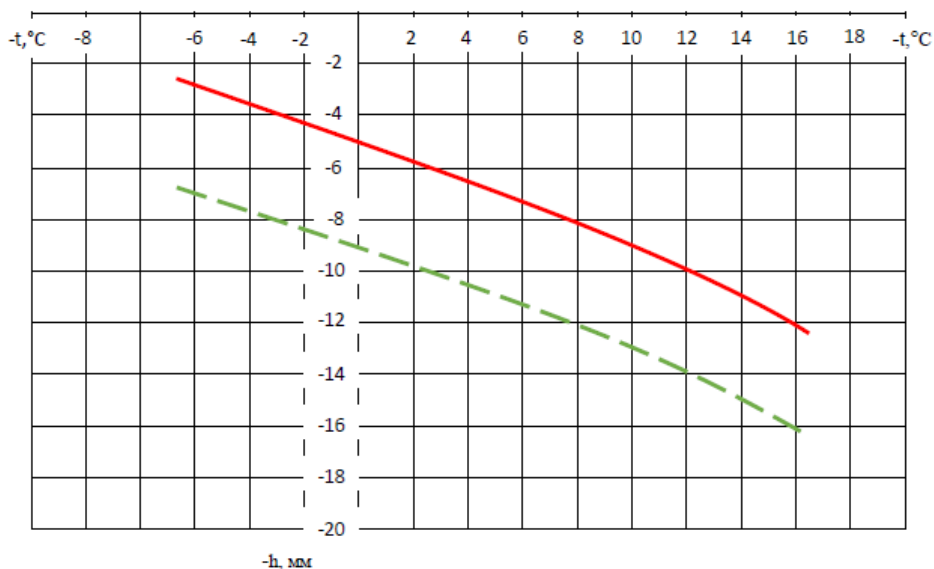


Рисунок 3. Зависимость положения концов балок внутренних (красная кривая) и наружных (зеленая кривая) по высоте от температуры воздуха и сварочных работ (изменение стройподъема)

Ось стапельной площадки должна строго совпадать с осью моста (± 3 мм).

На качество и точность монтажа пролетного строения моста оказывают влияние:

- заводское изготовление элементов конструкции моста, обусловленное «Сводами правил» (СП 46.13330.2012, СП 126.13330.2012, СП 24.13330.2011 и др., СТО 01393674-735-2006);

- профессиональная подготовка и добросовестность труда всех звеньев мостостроителей;

- климатические условия;

- деформации, возникающие в процессе сварки;

- солнечная радиация;

- геодезическое обеспечение строительства.

Рассмотрено сгущение ГРО для обеспечения точности монтажа ПС на стапеле и в целом. У каждого стыка главных балок закладываются знаки. Используя ЭТ, на верх закладных пластин выносятся кернением ось ПС с точностью 1-2 мм. Высотные пункты (реперы) совмещаются с плановыми. Отметки передаются от реперов ГРО нивелированием III класса. Погрешность полученных отметок не превышает 1 - 2 мм.

Изложена разработанная методика геодезического обеспечения монтажа конструкции ПС на стапеле, используются ЭТ и нивелир. Рекомендуется использовать метод «бокового нивелирования». Погрешность (скуп) метода составляет 1,1 мм на расстоянии 50 м от прибора до рейки.

Разработана методика геодезических наблюдений с использованием ЭТ. Выбрав в «меню» программу «базовая линия», задается проектная ось надвигки, определяются координаты (расстояние и отступ) положения марок-катафотов, закрепленных на торце и оси ПС, а также высоты марок. Эти данные являются исходными, с ними сравниваются текущие определения положения марок при надвигке. По разностям определяется отклонение в плане, оно не должно превышать величины 0,0005 длины консоли, но не более 50 мм, по разности высот марок - деформация (прогиб и перекося) в процессе надвигки.

Предложены методы контроля за деформациями капитальных опор при наезде ПС. Величина деформации определяется по разностям расстояний, измеренным от прибора до марки-катафота, наклеенной на стенке у верхнего обреза опоры с противоположной наезду стороны, до наезда (S_H) и при наезде на опору (S_i). Разности $S_H - S_i = d$ (мм) являются величиной деформации верха опоры. ЭТ устанавливается в удобном для измерений месте.

В главе 5 излагаются геодезические работы на стадии последнего цикла надвигки ПС, определение момента остановки работы тяговых домкратов на их последней выкачке, что определяет точность установки опорных диафрагм ПС на осях опирания на капитальных опорах, что чрезвычайно важно. Изложена методика геодезических работ по установке пролета по высоте на капитальных

опорах с использованием нивелира В 30 (другие, равные по точности), обеспечивая точность 3 мм между опорами и 5 мм в абсолютных отметках относительно проекта.

Излагается методика геодезических наблюдений, по данным которых определяется момент замыкания плетей при определенной температуре, когда концы ПС в замке занимают в пространстве установленное проектом положение по высоте, что определяется по построенным графикам (Рисунок 4).

Разработанная методика реализована при строительстве мостов Чубук и Байиндир (кольцевой автобан г. Анкары, Турция).

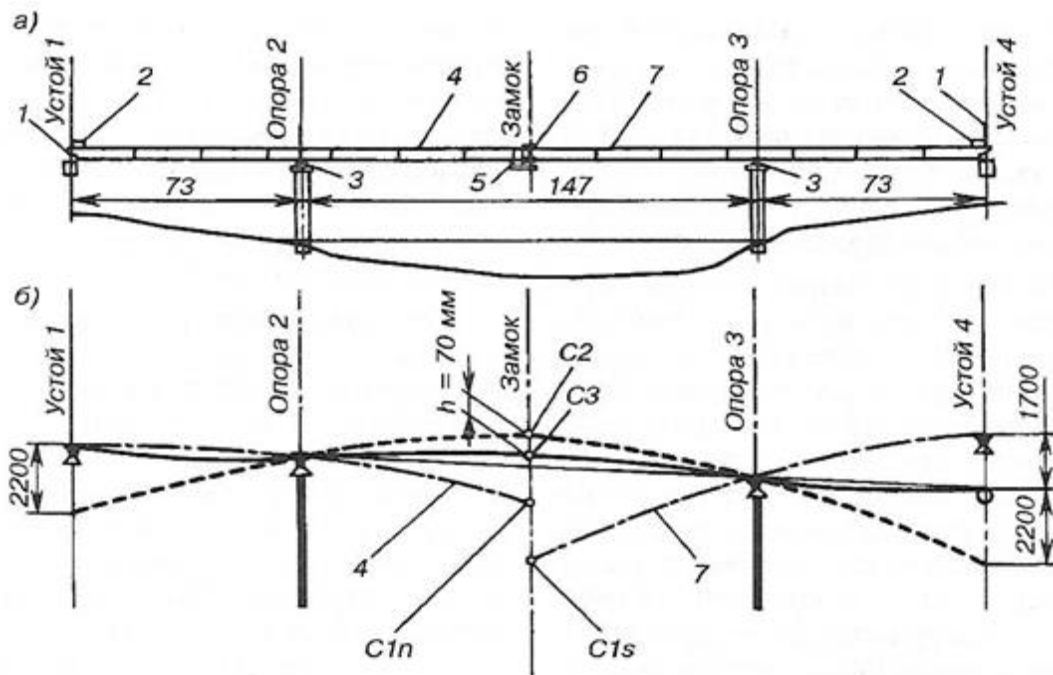


Рисунок 4. Схема моста Чубук (а) и схема, поясняющая регулирование его пролетного строения (б): 1 – устройства для подъема и опускания; 2 – противовес; 3 – перекаточные устройства; 4 – северное пролетное строение; 5 – подвесные подмости; 6 – временные замыкающие элементы; 7 – южное пролетное строение; устой 1 – северный, устой 4 – южный; $C1n$ и $C1s$ – отметки консоли по окончании надвигки; $C2$ – отметка до замыкания (после опускания на устоях); $C3$ – проектная отметка (после замыкания и подъема на устоях).

В главе 6 изложены исследования инструментальным геодезическим методом деформаций, возникающих при строительстве железобетонных мостовых пролетов в виде монолитной плиты, изготовляемых непосредственно на месте их установки (Рисунок 5).



Рисунок 5. Съемка низа бетона ПСС электронным тахеометром SET 350 RX (Sokkia). Авторазвязка МКАД – г. Люберцы

Выполненные исследования деформаций опалубки позволили построить графики просадки опалубки для пролетов длиной 14 м, 16 м в зависимости от расстояний относительно осей опирания плиты на опорах. Графики позволяют определить изменение проектного стройподъема опалубки на величины прогнозируемых деформаций опалубки в определенных поперечных и продольных сечениях между осями опирания пролета на капитальных опорах, что исключает или минимизирует деформации (Рисунки 6, 7).

Разработанная методика геодезического обеспечения строительства монолитной плиты автопроезда предусматривает использование ЭТ, имеющего безотражательный режим измерений.

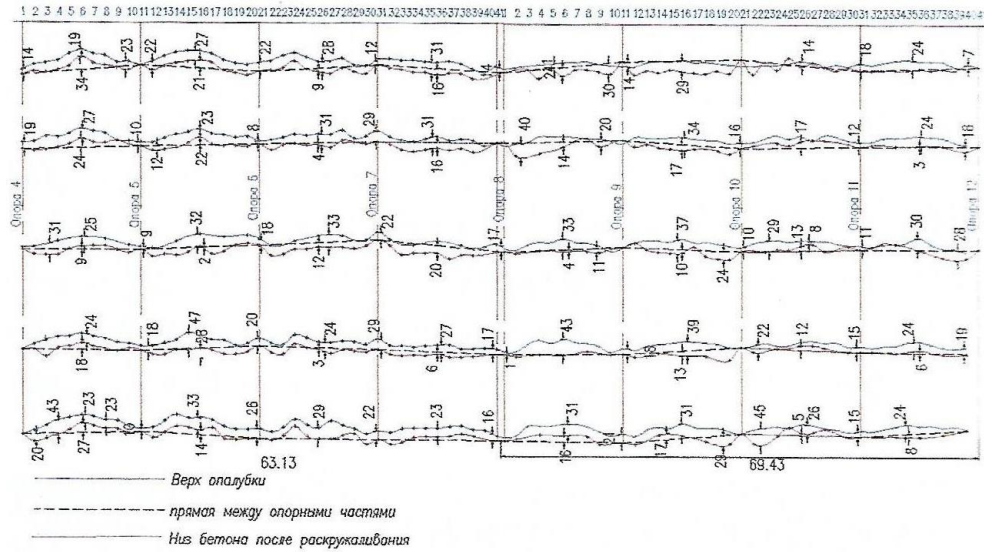


Рисунок 6. Графики положения верха опалубки и низа железобетонной плиты (величины просадок опалубки)

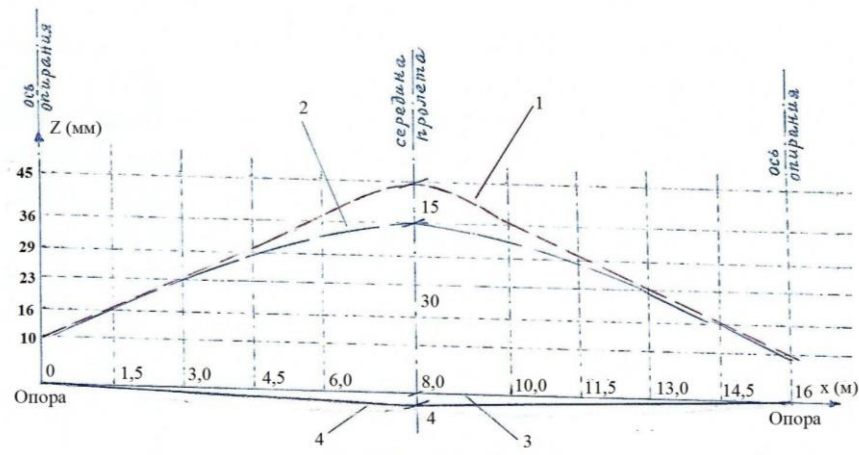


Рисунок 7. Графики дополнительного стройподъема опалубка пролета виража, где 1 - предлагаемый дополнительный стройподъем, 2- фактический дополнительный стройподъем (по осредненно-обобщенным данным), 3 – прямая, соединяющая опорные площадки (для определения прогиба плиты), 4 – фактическое положение низа железобетонной плиты пролета (по осредненно-обобщенным данным).

В заключении отмечено следующее.

Итоги. Таким образом, в результате выполненных в диссертации исследований влияния деформаций на сборку металлического пролетного

строения несущей коробчатой конструкции на стапеле, вызываемых сварочными работами, болтовыми соединениями, изменением температуры окружающей среды, солнечной радиации, а также при продольной циклической нагрузке ПС на капитальные опоры вследствие собственного веса, позволили установить их величины, построить графики зависимостей суммарного влияния указанных факторов, используя которые возможно исключение или минимизация до требуемых допустимых проектом значений, деформаций дополнительным изменением стройподъема монтируемых блоков пролета на стапеле.

Предложены новые методы уравнивания сети геодезической разбивочной основы, позволяющие исключить недостаточную точность опорных пунктов государственной или городской сети, что встречается на практике довольно часто, на строительстве моста.

Разработана методика оперативного геодезического контроля, с использованием ЭТ, за положением лидирующего торца ПС в пространстве при нагрузке и наезде на капитальные опоры, что чрезвычайно важно для предотвращения возможных деформаций пролета, т.е. исключения тяжелых материальных потерь.

Разработана методика геодезического контроля замыкания двух пролетов, надвинутых со стапелей, расположенных на противоположных берегах препятствия, в единую плетель мостового полотна и его окончательной установки на опорные части.

В диссертации выполнены исследования деформаций железобетонной плиты проезда автомобилей на эстакадах виражей крутых радиусов на съездах, изготавливаемых по месту. Построен график зависимостей величин деформаций опалубки плиты съезда, вызываемых нагрузкой стального каркаса и уложенным бетоном, в зависимости от удаления от осей опирания плиты на капитальных опорах. Используя график, изменяется стройподъем положения опалубки, что в конечном итоге исключает или минимизирует деформации до допустимых проектом значений.

Рекомендации. Выполненная диссертационная работа позволяет, используя разработанные геодезические методики, исключить или минимизировать величины деформаций при строительстве мостов, повысить точность их изготовления, что в конечном итоге повысит срок эксплуатации этих дорогостоящих объектов, принеся, тем самым, существенный экономический эффект.

Перспективы. Методика исследований величин деформаций пролетных строений, изготавливаемых на стапеле, с последующей надвижкой на капитальные опоры, или по месту, геодезическими методами, может быть использована для других конструкций мостов, что позволит повысить точность их монтажа, следовательно, и сроки эксплуатации объектов, не требуя при этом приобретения другого дополнительного оборудования и приборов, что тоже немаловажно для строительного комплекса России.

Основные выводы по данной работе:

1. Обосновано внесение изменений в СП 46. 13330. 2012 «Мосты и трубы».
2. Выполнены инженерно-технические расчеты необходимой точности построений планово-высотной ГРО для монтажа стального пролетного строения коробчатой конструкции на стапеле и его надвижки на капитальные опоры.
3. Предложены особые методы уравнивания плановой сети ГРО.
4. Доказана возможность использования метода тригонометрического нивелирования при создании высотной основы при длинах сторон до 1 000 м, с использованием ЭТ. Изложена методика производства измерений, условия измерений.
5. На основе исследований величин деформаций стального пролетного строения коробчатой конструкции при его монтаже на стапеле разработана методика геодезического обеспечения сборки стального пролета моста на стапеле.
6. Предложен метод учета движения ПС по инерции после выключения работы тяговых домкратов, позволяющий установить в плане пролет на осях

опирания капитальных опор. Изложен метод геодезического контроля установки ПС в проектное положение по высоте на капитальных опорах с использованием нивелира. Выполнены исследования по определению момента замыкания двух плетей пролета надвинутых со ступеней, расположенных на противоположных берегах. Построены графики зависимостей величин деформаций от нагрузки и удаления от осей опирания на капитальных опорах к середине пролета. Для исключения деформаций предложен дополнительный строительный подъем опалубки для плиты ПС длиной 14 м, 16 м, широко используемых при устройстве съездов с крутыми радиусами кривых.

Все перечисленные разработки внедрены в производство, позволяют успешно строить мостовые сооружения, о чем имеются Свидетельства о внедрении, функционирующие мосты и авторазвязки в России и за рубежом.

Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:

Статьи:

1. Швидкий В.Я. Деформации и их учет при сборке пролета цельносварного металлического моста на ступени [Текст] / В.Я. Швидкий, Т.Г. Зверева // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. Т. 61. № 2. С. 36-41.
2. Швидкий В.Я. Геодезическое обеспечение продольной надвижки железобетонного пролетного строения эстакады на капитальные опоры и его установка на опорные части [Текст] / В.Я. Швидкий, Т.Г. Зверева // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. Т. 62. № 3. С. 265-270.
3. Швидкий В.Я. Контроль геодезическими методами деформаций пролетного строения эстакады при надвижке на опоры [Текст] / В.Я. Швидкий, Т.Г. Зверева // Транспортное строительство. – 2018. № 5. С. 16-18.
4. Зверева Т.Г. Геодезические методы наблюдений за деформациями сборки стальных мостов на ступени [Электронный ресурс] / Т.Г. Зверева // Московский экономический журнал. – 2020. № 1. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-zhurnal-1-2020-31/>

5. Швидкий В.Я. Геодезические работы при замыкании двух плетей пролетного строения моста [Электронный ресурс] [Текст] / В.Я. Швидкий, Т.Г. Зверева // Московский экономический журнал. - № 2/ 2020/19 по электронному адресу: URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskkij-zhurnal-2-2020-19/>

Тезисы докладов:

1. Зверева Т.Г. Геодезические методы наблюдений за деформациями сборки стальных мостов на стапеле [Текст] / Т.Г. Зверева // 74-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, посвященная 240-летию основания МИИГАиК: сб. тезисов докладов, 15-19 апреля 2019 г., г. Москва.
2. Зверева Т.Г. Геодезические методы контроля за деформациями мостовых сооружений при их строительстве [Текст] / Т.Г.Зверева // Международная научная конференция «Геодезическое и геоинформационное обеспечение киберфизических систем на транспорте», 03-04 декабря 2020 г., г. Москва, МИИТ, МИИГАиК.