

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Б.Ф. Азаров

В статье дается обзор как классических методов геодезических наблюдений, так и современных приборов и технологий, применяемых для определения количественных характеристик деформаций мостов. Приведены сведения об организации геодезического мониторинга Обского моста через р.Обь в районе г.Барнаула. Изложены основные принципы геодезического мониторинга Обского моста и варианты его функционирования.

Ключевые слова: мост, мониторинг, геодезические наблюдения, деформации.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основным нормативным документом, определяющим вопросы определения деформаций зданий и сооружений, является ГОСТ 24846-81 [1]. В этом нормативном документе в качестве основного метода измерения вертикальных перемещений рекомендовано геометрическое нивелирование, выполняемое оптическими нивелирами. Горизонтальные перемещения фундаментов зданий и сооружений рекомендуется измерять одним из следующих методов или их комбинированием: створных наблюдений, отдельных направлений, методами триангуляции и фотограмметрии. Эти методы также предполагают использование оптических приборов – теодолитов или фототеодолитов.

Для оценки значимости выявленных деформаций полученное значение деформационной характеристики сравнивают с предельной погрешностью ее определения. Если абсолютное значение деформационной характеристики не превышает предельной погрешности ее определения, считается, что контролируемая точка не изменила своего положения (деформации отсутствуют).

Классические геодезические методы наблюдений за деформациями

Геометрическое нивелирование

Для определения осадок сооружений наиболее широко используют способ геометрического нивелирования, обладающий высокой точностью и быстротой измерений. Превышения между точками на расстоянии 5-10 м можно определять с точностью до 0,05-0,1 мм, а на расстоянии сотен метров - с точностью до 0,5 мм. При определении осадок промышленных и гражданских зданий используют нивелирование I и II классов, СКП превышений на станции в этих случаях равны

0,4 и 0,9 мм соответственно. Отметки деформационных точек (марок) на весь период наблюдений определяют относительно исходного опорного репера или группы реперов.

Полученные результаты уравнивают, оценивают фактическую точность отметок, по разностям отметок в циклах строят графики осадок. В процессе наблюдений за осадками в каждом цикле измерений выполняется контроль стабильности реперов высотной основы. Для этого все они включаются в замкнутый полигон. Такие построения составляют деформационную сеть первого порядка. Измерения в ней производятся с максимальной точностью. Для определения высот деформационных марок их включают в нивелирные ходы, опирающиеся на реперы деформационной сети первого порядка. Эти построения составляют деформационную сеть второго порядка. В ней измерения производятся с меньшей точностью, чем в сети первого порядка.

Методы определения горизонтальных смещений и кренов

Горизонтальные смещения точек сооружения определяют как разность их координат, полученных в разных циклах измерений в единой системе координат. Имеется два вида решения задачи определения величины смещений: по двум координатам или по одной координате [2]. В первом случае для определения координат точек используют линейно-угловые построения, во втором - створные методы.

Линейно-угловые построения создают в виде специальных сетей триангуляции и трилатерации, ходов полигонометрии, комбинированных сетей, угловых и линейных засечек, сетей из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами. Углы измеряют с высокой точностью (0,5-2,0") при коротких сторонах, большом количестве связей.

Уравнивание линейно-угловых сетей выполняются строгим способом. Величины смещений определяют по разностям координат в различных циклах. При наблюдениях за деформациями главным является вопрос надёжности их определения. Если заранее известно, что наблюдаемые деформации значительны, их количественные характеристики будут определены достаточно надёжно. В случае если абсолютные значения фиксируемых деформаций сопоставимы с ошибками их определения, надёжность определения деформаций зависит от метода обработки результатов измерений.

При определении кренов отдельных конструктивных элементов, например, колонн фундаментов опор мостов, достаточно часто прибегают к методам, где используются угловые измерения с помощью высокоточных и точных оптических теодолитов. К таким методам относятся способ координат (или прямой угловой засечки), способ горизонтальных углов, способ малых углов [2].

Электронные тахеометры и цифровые нивелиры

Современные электронные тахеометры (ЭТ) одновременно могут измерять горизонтальные и вертикальные углы, расстояния и превышения. Фактически электронный тахеометр представляет собой объединение теодолита, светодальномера с полупроводниковым излучателем и микропроцессора или микрокомпьютера в единую неразъёмную или модульную конструкцию. В электронных тахеометрах неразъёмной конструкции вычислительное устройство встроено в сам прибор, а клавиатура управления выведена на переднюю панель прибора. При этом теодолит и светодальномер объединены не только конструктивно, но и имеют единое программное обеспечение.

Принцип работы тахеометра основан на отражении узконаправленного лазерного пучка от отражающей цели и измерении расстояния до нее. Отражателем в общем случае служит специальная призма, закрепленная на поверхности объекта. Измерение двух углов (вертикального и горизонтального) даёт возможность вычислить трехмерные пространственные координаты точки отражения. Скорость измерения тахеометра невысока (не более 2 измерений в секунду). Появление безотражательных тахеометров, имеющих возможность работать без специальных отражателей, произвело революцию в геодезии. Теперь можно проводить измерения без отражателя. Достаточно просто навести при-

бор на необходимую точку. Луч может отражаться от любой ровной поверхности.

ЭТ позволяют создавать системы полностью автоматизированного картографирования, звеньями которого являются: Электронный тахеометр - стационарный компьютер - графопостроитель. Предусмотрена также возможность использования "тахеометрических" данных совместно с данными, получаемыми от спутниковых приёмников.

Современные ЭТ условно можно разделить на три группы: *простейшие, универсальные и роботизированные.*

К первой группе относятся тахеометры с минимальной автоматизацией и ограниченными встроенными программными средствами. Такие тахеометры обеспечивают точность измерений углов $\pm 5 \div 10''$, линий $\pm 3 \div 5$ мм/км.

Ряд тахеометров этой группы не имеет внутренней памяти или же имеет ограниченную память, позволяющую хранить информацию лишь на 500 или 1000 точек (пикетов).

Ко второй группе относятся тахеометры с расширенными возможностями. Они оснащены большим количеством встроенных программ и имеют объёмную внутреннюю память – на 10000 и более точек. Точность измерения углов, обеспечиваемая этими приборами, как правило, $\pm 1 \div 10''$, линий $\pm 2 \div 3$ мм/км.

К третьей группе относятся роботизированные тахеометры с сервомоторами, обладающие всеми возможностями приборов предыдущей группы. Именно наличие сервомоторов, встроенных радиокommunikационных устройств, а также систем автоматического поиска и слежения за отражателем позволяет отнести эти приборы к категории приборов – роботов.

В настоящее время наибольшая степень автоматизации геометрического нивелирования достигается при использовании цифровых нивелиров. В качестве приемного устройства в них используется ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью), устанавливаемая в плоскости изображений, создаваемых зрительной трубой цифрового нивелира. С помощью ПЗС-матрицы распознается кодовая маска на нивелирной рейке, изображение которой получают с помощью объектива зрительной трубы прибора в плоскости сетки нитей и в плоскости чувствительной поверхности ПЗС-матрицы. В отличие от традиционных оптических нивелиров, при работе с цифровым нивелиром отсчет производится автоматически и вносится в память прибора.

С помощью цифрового нивелира можно автоматически осуществлять отсчеты по ни-

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

велирной рейке, определять расстояния до реки и вычислять превышения между нивелируемыми точками. Внутренняя память рассчитана на хранение измерений нескольких тысяч (8-10) точек. Данные нивелирных ходов могут быть обработаны с помощью встроенного программного обеспечения. Возможности цифровых нивелиров обеспечивают увеличение производительности на 50 % по сравнению с традиционными оптико-механическими приборами.

Все цифровые нивелиры имеют компенсаторы. При работе с высокоточными приборами для нивелирования обычно используются инварные рейки, для менее точных приборов - фиброгласовые, имеющие несколько больший температурный коэффициент расширения, и поэтому менее точные. На эти рейки наносится кодовая маска, по которой автоматически считываются отсчеты в процессе нивелирования.

Все фирмы выпускают специальные штрих-кодовые рейки к цифровым нивелирам, которые не могут быть использованы для визуального отсчета.

Определение деформаций с применением современных технологий

Лазерное сканирование

Лазерное сканирование [3] – это метод, позволяющий создать цифровую модель окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Основное отличие от ЭТ – гораздо большая скорость измерений, наличие сервопривода, автоматически поворачивающего измерительную часть прибора как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях и самое главное – скорость (от 5000 измерений в секунду) и плотность (до десятков точек на 1 см² поверхности). Полученная после измерений модель объекта представляет собой гигантский набор точек (от сотен тысяч до нескольких миллионов), имеющих координаты с точностью в несколько миллиметров. Суть технологии лазерного сканирования [4] заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта. Это реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек с помощью лазерного безотражательного дальномера.

Прибор, реализующий на практике приведенную технологию измерений, называется *лазерным сканером*. Результатом работы сканера является множество точек с вычисленными трехмерными координатами. Такие наборы точек принято называть *облаками точек* или *сканами*. Обычно количество точек в одном облаке может варьировать от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов.

Все управление работой прибора осуществляется с помощью *портативного компьютера со специальным ПО*. Полученные значения координат точек из сканера передаются в компьютер и накапливаются в специальной базе данных.

Лазерные наземные сканеры часто классифицируют по принципу определения пространственных координат [3] на импульсные, фазовые и триангуляционные.

В *импульсных сканерах* реализован метод определения расстояний, основанный на точном определении времени прохождения импульса до цели и обратно. Так как в этом методе используется световой импульс для непосредственного измерения расстояния, то главное достоинство таких сканеров – в большой дальности измерений (несколько сотен метров). Дальность действия *фазовых сканеров* ограничена 100 м. В сканерах этого типа расстояние определяется на основе измерения сдвига фаз излучаемого и отраженного сигналов. Поскольку в этом методе используется модулированный световой сигнал, для определения расстояния, в отличие от импульсного метода, большой мощности лазера не требуется, поэтому расстояния могут быть измерены с ошибкой в несколько мм. Скорость измерений фазовых сканеров на несколько порядков (1-2) превосходит скорость импульсных сканеров. Триангуляционный метод реализован в *высокоточных сканерах*. Конструктивной особенностью сканеров такого типа является то, что излучатель и приёмник сигнала разнесены на известное расстояние (базис). Такие сканеры позволяют достичь точности измерений в десятые и даже сотые доли миллиметра, но на коротких дистанциях (в несколько метров) (таблица 1). Последовательность производства работ по лазерному сканированию показана на рисунке 1.

Таблица 1 –Классификация наземных лазерных сканеров по принципу измерения расстояния

Принцип измерения	Максимально измеряемое расстояние, м	Точность определения расстояний, мм	Фирмы-производители лазерных сканеров данного типа
Импульсный метод	50-300	до 10	Callidus, Leica, Trimble, Optech, Riegl
	до 1000	до 20	Optech, Riegl
Фазовый метод	до 100	до 10	IQSun, Leica, Vismage, Z+F
Оптическая триангуляция	до 5	до 1	Trimble, Minolta

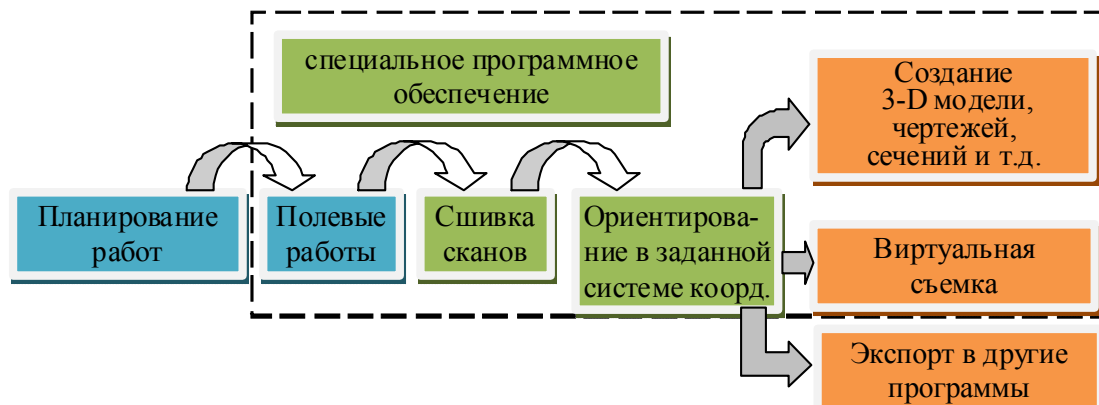


Рисунок 1 – Последовательность производства работ по лазерному сканированию

Мониторинг объектов с применением ГНСС

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, при помощи которой можно получить координаты в любой точке земной поверхности путем обработки спутниковых сигналов. Любая ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского. Космический сегмент представлен созвездием спутников, передающих информацию о своем положении на орбите; наземный сегмент состоит из не подвижных станций, обеспечивающих мониторинг и контроль положения спутников, а также их технического состояния; пользовательский сегмент - это люди различных профессий, использующие спутниковые приемники для определения своего местоположения на земной поверхности.

Определение координат по наблюдениям навигационных спутников возможно следующими методами [5]:

1) абсолютным, когда координаты получают одним приёмником в системе координат искусственного спутника Земли (ИСЗ) методом засечки положения приёмника от КА с известным положением. Метод также носит название «точечное позиционирование»;

2) дифференциальным, когда наблюдения выполняются не менее чем двумя приёмниками, один из которых расположен на опорном пункте с известными координатами,

а второй – на определяемом. В этом методе по результатам наблюдений на опорном пункте получают поправки к параметрам наблюдений для определяемого пункта или к его координатам, т.е. наблюдения обрабатываются отдельно. Метод обеспечивает «мгновенные» решения, или решения в реальном времени;

3) относительным, когда одновременно выполненные на опорном и определяемом пунктах наблюдения обрабатываются совместно. В этом методе определяют вектор, соединяющий опорный и определяемый пункты, или так называемый «вектор базовой линии».

В каждом из указанных методов определение координат возможно путём измерения как по фазе кода (по кодовым псевдодальностям), так и по фазе несущей частоты сигнала (обычно просто по фазе несущей). Точность кодовых дальностей имеет метровый уровень, точность фазовых измерений составляет несколько мм. Точность дифференциального и относительного методов выше, чем у абсолютного (ошибки на уровне см и меньше). В каждом из методов наблюдения могут быть выполнены в режимах статики и кинематики. В первом случае оба приёмника стационарны, во втором – один приёмник неподвижен, а другой перемещается. Статическое позиционирование позволяет повысить точность определений за счёт накопления данных. Относительное позиционирование по фазовым измерениям является наиболее

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

точным методом определения координат и используется в геодезии наиболее часто. Кинематическое позиционирование даёт возможность получать траекторию движения объекта, на котором установлен подвижный приёмник - *ровер*.

В широком смысле под мониторингом понимается наблюдение за окружающей средой, представляющей собой динамическую, то есть постоянно изменяющуюся систему с целью ее контроля, изучения, прогноза и охраны [6]. По уровню охвата территории различают глобальный, региональный и локальный мониторинг, по оперативности получения результата – от долей секунды до нескольких часов и даже суток и более. Мониторинг объектов, очевидно, можно разделить на две категории: мониторинг состояний (например, деформаций) и мониторинг положений [7]. Мониторинг деформаций инженерных сооружений (мостов, башен, труб и т.д.) с применением спутниковых технологий становится обычным явлением. Главное преимущество мониторинга с применением ГНСС состоит в его непрерывном характере, что возможно и в реальном масштабе времени, и с пост-обработкой. Это особенно важно, когда альтернативой является выполнение работ классическими геодезическими методами, проводимых с интервалом в год, полгода или ежемесячно. Когда проводится долгосрочный и непрерывный мониторинг деформаций сооружений с применением ГНСС, суточные или сезонные эффекты легко выявляются как фоновый шум в числовых диаграммах, таблицах и графиках, показываемых системой. Истинное движение различается как отступление от этого фонового шума. Весьма важным считается темп записи данных. Для зданий темп наблюдений должен быть очень высоким (до 20 Герц), но для плотин он может быть намного ниже (5 минут). Высокие частоты лучше подходят для захвата начала динамических деформаций у сооружений типа высоких зданий и мостов с длинным пролетом при их длительном мониторинге, в то время как низкие частоты лучше подходят для медленно или импульсивно деформирующихся сооружений, типа дамб с земляным заполнением и оползневых явлений [8].

Организация геодезического мониторинга на примере Обского моста

Мостовой переход через р. Обь у г. Барнаула – крупный объект, оказывающий существенное влияние на окружающую среду. Строительство его было начато в 1988 г. В 1997 г. основные работы были завершены

и 25 июля 1997 г. было открыто движение автотранспорта по новому мосту через р. Обь. Сооружение нового Обского моста позволило пустить транзитный поток автомобилей, составляющий 7-8 тыс. авт./сутки, в обход г. Барнаула. Полностью работы были закончены в 2000 г. Мостовой переход имеет в своём составе подходы и регуляционные сооружения: мосты через р. Барнаулку, каналы спрямления рек Лосиха и Талой, подходы ко всем мостам, 4 транспортные развязки, струенаправляющую дамбу, автодорогу от Обского моста до Новосибирского тракта и др.

При проектировании было рассмотрено два варианта моста через Обь. Вариант № 1 предусматривал перекрытие русла Оби двумя отдельными мостами через левую и правую протоки с устройством насыпи на острове Помазкин. Вариант № 2 предполагал перекрытие русла реки Оби одним мостом в левой протоке с засыпкой насыпью правой протоки и большей части острова Помазкин. В результате сравнительной оценки вариантов Обского моста и согласований с заинтересованными организациями был принят вариант мостового перехода 2-Б – с одним мостом и неразрезными металлическими пролётными строениями из трёх цельноперевозимых коробок и ортотропной плиты по схеме $84 + 6 \times 126 + 84$.



Рисунок 2 – Главные балки пролётного строения Обского моста

В 2000 г сотрудниками НИДЦ СГУПС было выполнено обследование Обского моста и составлен его Паспорт [9]. Основные геометрические характеристики моста, согласно паспорту: Длина моста с учетом длины устройств деформационных швов 943,18 м; ширина пересеканного препятствия (водотока) 517,5 м. Общая ширина моста – 32,3 м. Мост имеет проезжую часть шириной 26,5 м, разделённую

в середине полосой безопасности в 0,71 м. Пешеходные тротуары расположены с внешней стороны пролётных строений и имеют ширину по 2,15 м. Уклоны проезжей части: продольный 0,8%, поперечный 2% .

Характеристика пролётных строений

Главная несущая конструкция моста – балочная неразрезная, представленная коробчатыми металлическими балками в виде трёх отдельных коробок (рисунок 2).



Рисунок 3 – Поперечные балки пролётного строения Обского моста

Конструкция проезжей части представлена ортотропной плитой с асфальтобетонным покрытием по главным балкам. Проектные нагрузки А11,НК-80. Пролёты выполнены по индивидуальному проекту. Опорные части моста на береговых опорах подвижные с двумя круглыми катками, на русловых опорах, кроме средней – подвижные с четырьмя срезными катками. На средней русловой опоре опорная часть неподвижная балансирующая. Мост имеет 2 деформационных шва в виде плавающих гребенчатых плит. Поперечное объединение пролётов выполнено по плите и поперечным связям. Плита проезжей части имеет толщину 0,01 м; одежда ездово-

го полотна выполнена из асфальтобетона толщиной 0,08 м. Всего главных балок у Обского моста - 6. Высота главной балки в пролёте 3,18 м; толщина ребра 0,014-0,02 м. Строительная высота пролётного строения на опоре 3,93 м. Поперечные балки – сквозные металлические (рисунок 3). Общее число поперечных балок (диафрагм) в пролёте – 309 (через 3 м), высота балки 1,85 м.

Характеристика опор моста

Все опоры моста разрабатывались по индивидуальным проектам. Устои, промежуточные опоры, сопряжения с подходами бетонные и железобетонные общим объёмом 58863 м³, в т.ч. сборный железобетон 2901 м³. Устой левобережный - сборно-монолитный на 36 сваях-оболочках диаметром 0,6 м. Высота массивной части 4,88 м; глубина заложения железобетонных свай 7,5 м. Протяжённость массивной части опоры на уровне обреза фундамента вдоль моста – 7,3 м; поперек моста – 33,6 м (рисунок 4).

Устой правобережный - обсыпной, сборно-монолитный, фундамент из 21 буронабивной сваи-оболочки диаметром 1,6 м. Высота массивной части фундамента правобережной опоры 2,5 м; глубина заложения свай – 39 м. На уровне обреза фундамента массивная часть опоры имеет протяжённость вдоль моста 4 м, поперёк него – 33,2 м (рисунок 5).

Промежуточные русловые опоры (7 штук) сборно-монолитные с применением бетонных контурных блоков, фундаменты на сваях-оболочках диаметром 1,6 м. Высота опор – разная: для опор №1, 6, 7 высота до обреза фундамента 24,63 м; высота опор № 2-5 до обреза фундамента – 25,63 м.

Все русловые опоры имеют одинаковые размеры массивной части на уровне обреза фундамента: вдоль моста 5,52 м; поперёк моста 30,1 м. Опоры №№1, 5-7 имеют по 52 сваи-оболочки, опоры №2-4 – по 65 сваи-оболочек. На рисунке 6 представлены чертежи фундаментов средней русловой опоры.

Согласно схеме, составленной сотрудниками НИДЦ СГУПС при обследовании в 2000 г., Обской мост в продольном профиле имеет следующие параметры:

фактическая суммарная длина моста между деформационными швами по пикетажу (от центра правобережной опоры до центра левобережной) составляет 924,00 м. Суммарный уклон (понижение) проезжей части в начале и конце моста составляет -4,025 метров, что соответствует среднему уклону - 0,4%. Максимальный уклон имеет место на

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

участке между опорами № 7 и 8 (в обозначениях АлтайТИСИЗа; соответственно - № 8 и 9 в нумерации НИДЦ) – 1,4%, минимальный – между опорами № 3 и 4 (в обозначениях Ал-

тайТИСИЗа; соответственно - № 4 и 5 в нумерации НИДЦ) - 0,3%. Согласно рисунку 7 продольный профиль Обского моста не является линейным.

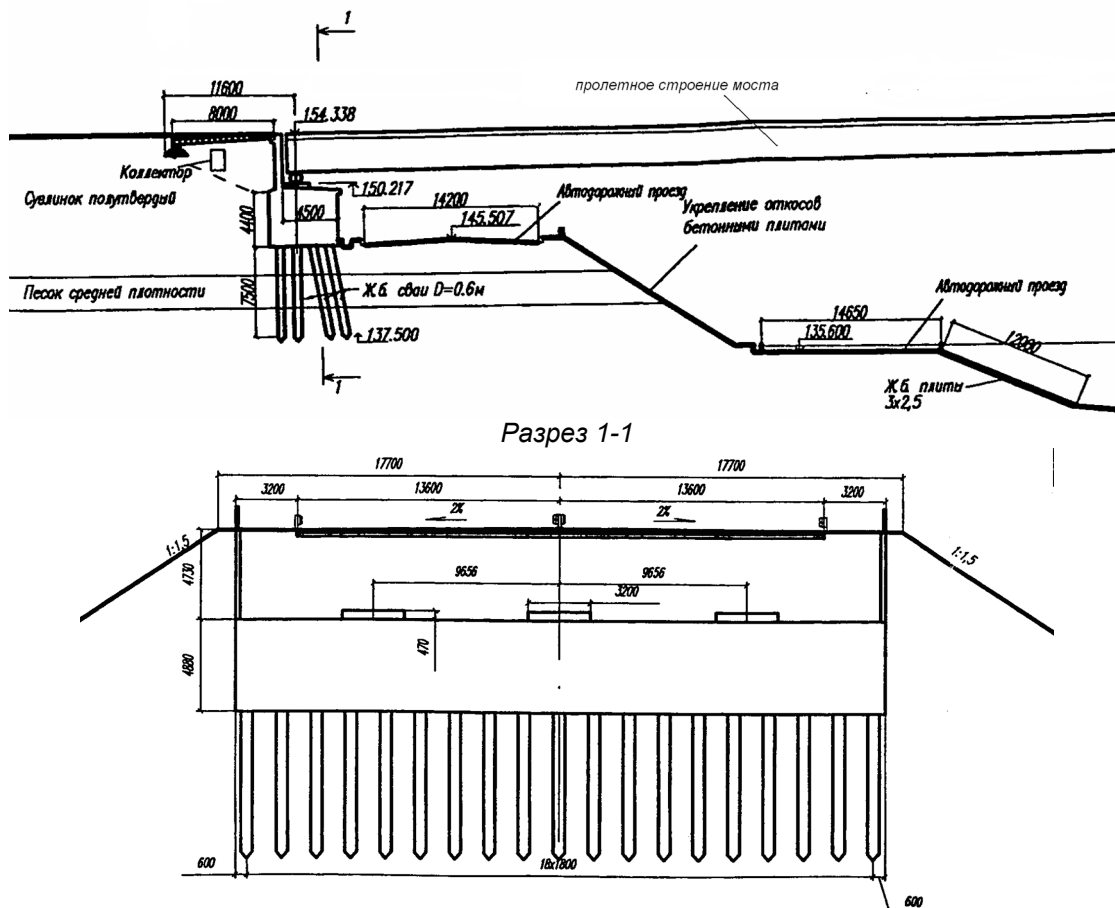


Рисунок 4 – Левобережный устой моста

Геодезический мониторинг Обского моста [10]

Объектом геодезического мониторинга являются элементы конструкции моста: опоры и верхнее строение.

Задача геодезического мониторинга моста – определять с заданной точностью и частотой количественные характеристики деформаций (вертикальных, горизонтальных, кренов) опор и верхнего строения моста.

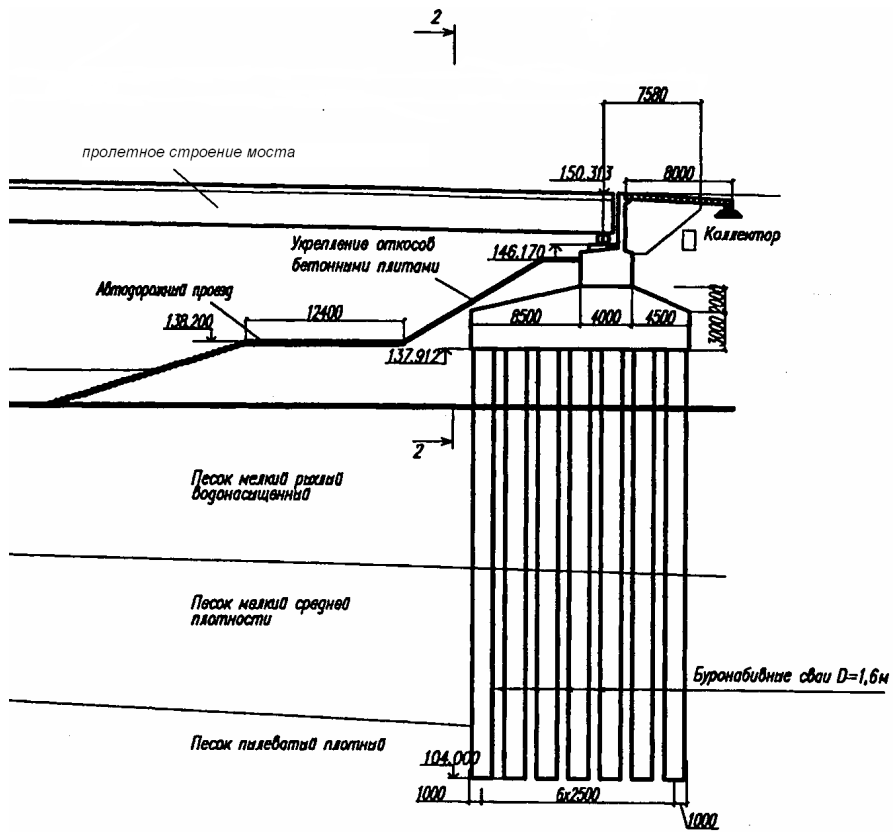
Для решения этой задачи необходимо использовать сеть опорных и деформационных пунктов, на которых выполняются повторные (циклические) геодезические наблюдения за деформациями элементов конструкции моста.

Предметом геодезического мониторинга являются величины и изменения плановых и

высотных координат пунктов деформационной сети на верхнем строении моста и на его опорах.

В качестве опорной нивелирной сети для определения деформаций опор Обского моста могут быть использованы глубинные реперы №№ 1, 2, 3, заложенные ОАО «АлтайТИСИЗ» в 2000г. Опорная нивелирная сеть должна быть дополнена кустом из 2-х фундаментальных реперов на левом берегу р. Оби в районе острова Помазкин.

В качестве пунктов высотной деформационной сети могут быть использованы осадочные марки на береговых и русловых опорах моста, которые, согласно результатам обследования, находятся в хорошем состоянии и пригодны для наблюдений.



Разрез 2-2

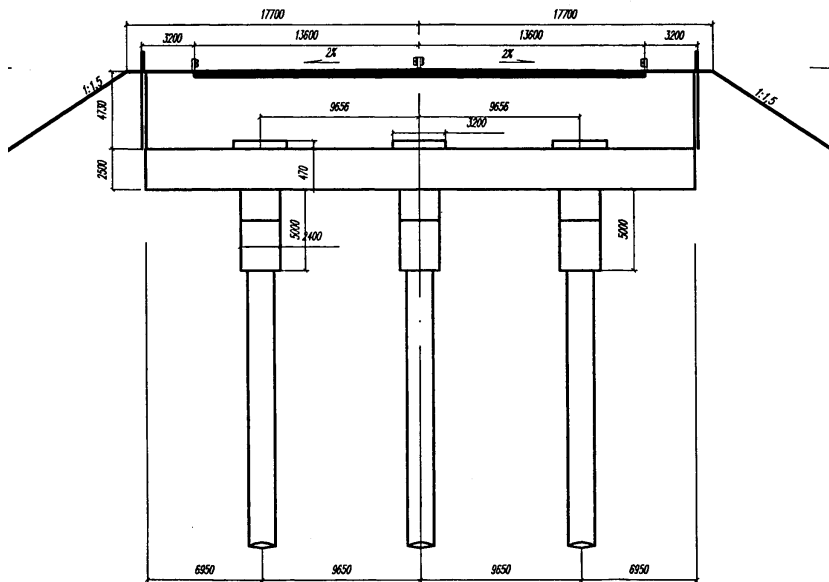


Рисунок 5 – Правобережный устой моста

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

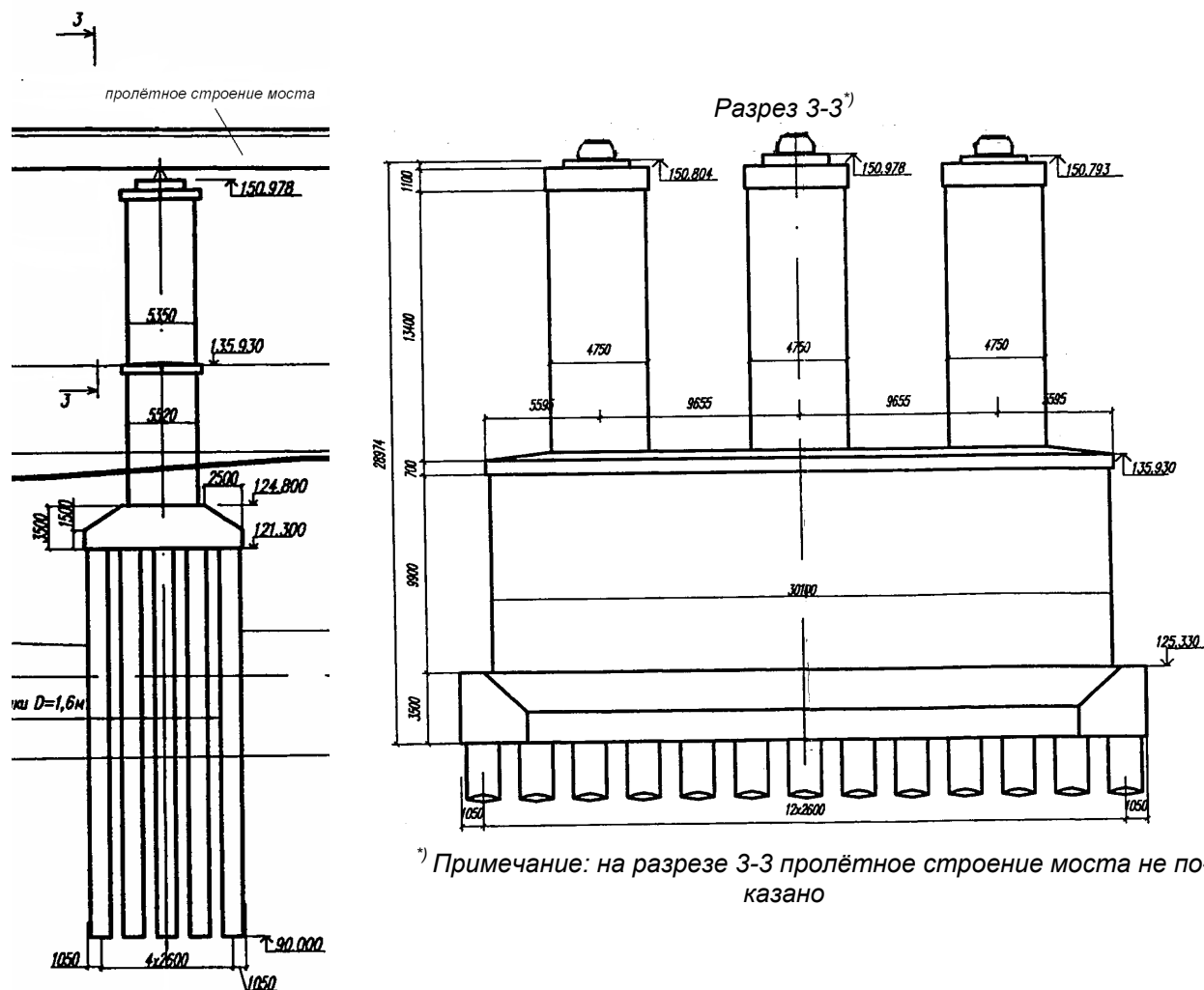


Рисунок 6 – Средняя русловая опора

Таблица 2 – Принципиальная схема геодезического мониторинга Обского моста

Создание геодезической основы мониторинга		
Опорная геодезическая сеть (ОГС) из пунктов и реперов в районе мостового перехода ^{*)}	Деформационная сеть марок в верхнем строении моста	
	Деформационная сеть марок на опорах моста ^{**)}	
Цикл мониторинга для контроля неизменности положения пунктов и реперов ОГС:		
Предварительный анализ данных текущего цикла измерений		
Цикл мониторинга деформаций элементов конструкции моста (ЭКМ)		
Мониторинг вертикальных деформаций (осадок)		Мониторинг горизонтальных смещений
Мониторинг наклонов конструкций		Мониторинг 3D-деформаций ^{***)}
	Анализ данных текущего цикла мониторинга	
Анализ данных мониторинга ЭКМ, принятие решений об изменении формата функционирования системы геодезического мониторинга		
Примечания : ^{*)} частично существующая (3 глубинных репера); ^{**)} существующая (36 осадочных и 42 деформационных марки); ^{***)} под 3D-деформациями понимаются пространственные изменения координат отдельных блоков конструкции моста, полученные по результатам лазерного сканирования.		

Таблица 3 – Содержание этапов работ по геодезическому мониторингу Обского моста

№ эта-па	Этап работ	Основное содержание работ
I	Создание геодезической основы мониторинга деформаций элементов конструкции моста	<ul style="list-style-type: none"> • Закладка пунктов и реперов опорной геодезической сети (ОГС) в зоне мостового перехода на правом берегу р. Оби; • Обследование и оценка состояния глубинных реперов опорной нивелирной сети на левом берегу р. Оби; • Обследование и оценка состояния осадочных и деформационных марок на опорах моста; • Закладка деформационных марок в пролетных строениях моста; • Устройство базовых станций спутниковых измерений; • Обеспечение долговременной сохранности пунктов и реперов деформационной сети.
II	Выполнение ежегодного цикла измерений для контроля стабильности положения пунктов ОГС	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование пространственной ОГС мониторинга путём спутниковых измерений на пунктах и реперах ОГС с помощью ГНСС; • Определение изменений пространственных координат пунктов и реперов ОГС; • Определение изменений высот пунктов и реперов ОГС с помощью высокоточного геометрического нивелирования; • Первичная математическая обработка результатов геодезических измерений, их уравнивание и оценка точности; • Анализ стабильности пунктов и реперов ОГС; • Определение параметров деформации ОГС между циклами наблюдений.
III	Выполнение короткопериодного (полугодового, сезонного, ежемесячного) цикла мониторинга деформаций элементов конструкции моста	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование сети мониторинга вертикальных и горизонтальных деформаций моста посредством измерений параметров пространственных векторов между пунктами ОГС и деформационными марками в пролетных строениях с применением ГНСС и ЭТ; • Определение высот деформационных марок геометрическим и/или тригонометрическим нивелированием; • Определение изменений пространственных координат деформационных марок; • Обработка результатов геодезических измерений, их уравнивание и оценка точности; • Определение параметров деформаций элементов конструкций моста; • Анализ развития деформаций.
IV	Анализ выявленных деформаций	<ul style="list-style-type: none"> • Анализ взаимосвязи выявленных деформаций с режимом эксплуатации сооружения; • Анализ взаимосвязей деформаций с имеющимися геотехническими, сейсмическими, гидрологическими, метеорологическими данными; • Построение параметрических моделей и прогнозирование процессов деформирования; • Оценка допустимости ожидаемых деформаций и адаптация системы мониторинга к условиям её функционирования.

Так как деформации верхнего строения моста геодезическими методами не определялись, то необходимо:

Создать совмещенную (планово-высотную) или пространственную геодезическую опорную сеть для проведения периодического геодезического мониторинга (ПГМ) верхнего строения моста.

Создать планово-высотную деформационную сеть для определения деформаций верхнего строения моста.

Определить координаты и отметки вновь создаваемых пунктов опорной и деформационной сетей для проведения ПГМ верхнего

строения моста на начальный («нулевой») цикл наблюдений.

Определить фактическое плановое и высотное положение основных конструктивных элементов моста (ездового полотна, пролётного строения, опор) и сравнить их с проектными. Для этого создать цифровую модель верхнего строения моста точностью $\pm 5-10$ мм с использованием технологии наземного лазерного сканирования.

Опробовать методику определения динамических характеристик пролётного строения моста (частоты и амплитуды колебаний) с учетом его конструктивных особенностей на основе ГНСС-технологий.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Таблица 4 – Варианты функционирования геодезического мониторинга Обского моста

Разновидность мониторинга	Функции	Средства и методы мониторинга
Базовый геодезический мониторинг (ГМ)	Ежегодный мониторинг стабильности ОГС в районе мостового перехода; Сезонный (ежеквартальный) мониторинг вертикальных и горизонтальных деформаций элементов конструкции моста	Геодезические спутниковые приемники в режиме статических измерений; Высокоточные цифровые нивелиры и электронные тахеометры для геометрического и тригонометрического нивелирования; Комбинированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга
Расширенный ГМ	Оперативный (по необходимости) мониторинг стабильности ОГС; Ежемесячный мониторинг вертикальных и горизонтальных деформаций элементов конструкции моста расширенным парком геодезических средств.	Геодезические спутниковые приемники в режиме «статика» и «быстрая статика»; Высокоточные цифровые нивелиры и электронные тахеометры для геометрического и тригонометрического нивелирования; Лазерный сканер для слежения за 3D-деформациями отдельных элементов конструкции моста; Комбинированные или специализированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга.
Автоматизированный ГМ	Непрерывный мониторинг состояния ОГС и элементов конструкции моста автоматизированным парком геодезических приборов и систем.	Геодезические спутниковые приемники в режиме «кинематика реального времени» с передачей информации по радиоканалу (сотовая связь, УКВ радио, WiFi); Роботизированные электронные тахеометры; Лазерные сканирующие системы; Специализированные программные средства сбора и анализа данных мониторинга.

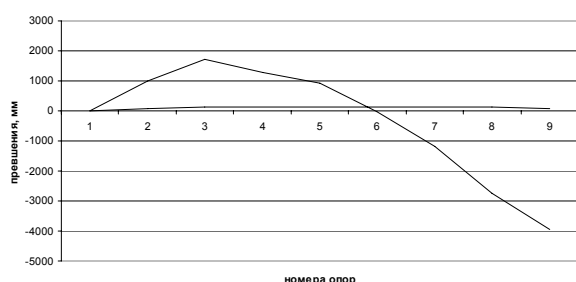


Рисунок 7 – Продольный профиль Обского моста по отметкам проезжей части

Основные принципы геодезического мониторинга Обского моста

Последовательность создания геодезического мониторинга представлена в таблице 2 в виде укрупнённой блок-схемы. Содержание работ по элементам блок-схемы геодезического мониторинга моста представлено в таблице 3. Варианты функционирования геодезического мониторинга Обского моста представлены в таблице 4.

По состоянию на осень 2010г выполнено обследование опорной нивелирной и деформационной сети Обского моста, установлена пригодность ее пунктов и осадочных марок для выполнения геодезических наблюдений. Ведутся работы по созданию опорной плановой сети моста, в частности, заложены три новых пункта сети: 1 - на левом и 2 – на правом берегу р.Оби вблизи Обского моста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений».
- Геодезические методы исследования деформаций сооружений / Зайцев А.К., Марфенко С.В., Михелев Д.Ш. и др. – М.Недра, 1991. - 272 с.
- Лазерное сканирование. Каталог компании «Навгеоком», 2006.
- Наземное лазерное сканирование. Введение в технологию. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gsi.ru/catalog.php?id=1>
- Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 2. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. - 360 с.
- Большой энциклопедический словарь. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая российская энциклопедия. – СПб: Норинт, 2002. – 1456 с.
- Жуков Б.Н., Карлик А.П. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов.- Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
- Luccio M. The concrete and the clay: monitoring large structure deformation // GPS World, Vol. 13, No. 8. – 2002. – P. 16.
- Паспорт Обского моста. НИДЦ СГУПС. 2000 г
- Отчёт по ГК № 67-09 о выполнении НИР по теме: «Разработка методики геодезического мониторинга для своевременного определения деформаций элементов мостового перехода через р. Обь в районе г. Барнаула с применением современных геодезических технологий» (итоговый). Барнаул, 2009 г. - 149 с.