

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА, ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ОБЬ НА 605 км ЛИНИИ ОМСК—АЛТАЙСКАЯ

В статье приведены общие сведения о новом мостовом переходе через р. Обь в г. Камень-на-Оби. Даны основные положения организации системных наблюдений за техническим состоянием сооружения в процессе строительства и при сдаче в эксплуатацию. Приведены результаты наблюдений, обследований и испытаний. Цель выполненных работ — обеспечение надлежащих потребительских свойств моста после сдачи его в эксплуатацию.

В 1962 г. был построен однопутный железнодорожный мост через р. Обь в городе Камень-на-Оби. Полная длина моста — 957 м, схема моста  $7 \times 22,9 + 88,0 + 4 \times 127,4 + 66,0 + 22,9$  м. Вес металлических пролетных строений составил 4204 т. Объем бетона опор 11 545 м<sup>3</sup>. В связи с ростом объема перевозок потребовалось строительство второго железнодорожного моста в г. Камень-на-Оби.

В 1981 г. по проекту института Гипротрансмост г. Москва силами Мостостроительного отряда № 63 треста Мостострой-2 были развернуты подготовительные работы по строительству второго железнодорожного моста. Был построен поселок строителей, сооружены временные подъезды и строительная площадка. Но из-за нехватки средств в 1982 г. все работы были прекращены. В 1989 г. тем же институтом было вновь разработано технико-экономическое обоснование строительства второго моста. Но строительство опять было отложено. И только 4 апреля 2004 г. президентом ОАО «РЖД» Г.М. Фадеевым подписано распоряжение № 1823р, в котором было принято решение о разработке проектно-сметной документации и строительстве второго моста через р. Обь в Камне-на-Оби.

Проектно-изыскательские работы выполнены в 2004–2005 гг. генеральной проектной организацией — институтом Сибгипротранспуть. Стоимость проектных работ составила 217 млн р. Утвержденная стоимость проекта строительства моста и подходов к нему составила 5 005,27 млн р. в прогнозных ценах.

Собственно мост был запроектирован ОАО «Гипротрансмост» (г. Москва) в 25 м выше по течению от старого моста по схеме  $23,0 + 27,0 + 5 \times 23,0 + 88,0 + 2 \times (2 \times 127,2) + 2 \times 88,0 + 18,2$  м под однопутную железную дорогу I категории. Нагрузки — С14, габарит приближения строений «С», подмостовые габариты приняты с учетом габаритов существующего моста (на данном участке р. Обь относится к IV классу судоходства). В плане мост расположен на прямой, в продольном профиле — на одностороннем уклоне 4 ‰ с понижением отметок по ходу километража. Полная длина моста по задним граням устоев — 977 м. Общий вес металлоконструкций пятнадцати пролетных строений составил 4 602 т, объем бетона и железобетона шестнадцати опор — 15 904 м<sup>3</sup>.

В составе конструкций моста использовано несколько типов пролетных строений. Пойменные участки (пролеты 0–1, 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 6–7 и 14–15) перекрыты балочными сплошностенчатыми пролетными строениями с расчетными пролетами 18,2 м, 23,0 м и 27,0 м по типовому проекту инв. № 2210 «Металлические балочные сварные пролетные строения с ездой поверху на балласте с расчетными пролетами до 33,6 м для железнодорожных мостов (с вариантом в северном исполнении)». В русловой части применены сквозные

металлические фермы с параллельными поясами высотой 15 м: разрезные, расчетной длиной 87,963 м (пролеты 7–8, 12–13 и 13–14) по типовому проекту серии 3.501.2-139 инв. № 1293К «Пролетные строения для железнодорожных мостов с ездой понизу, пролетами 33–110 м, металлические со сварными элементами замкнутого сечения и монтажными соединениями на высокопрочных болтах в обычном и северном исполнении» и неразрезные расчетной длиной (2×127,2) индивидуальной проектировки (пролеты 8–9–10 и 10–11–12).

Строительно-монтажные работы по сооружению моста выполнило ЗАО «УФСК Мост». Проекты производства работ разрабатывали специалисты Новосибирского филиала ОАО «Гипростроймост». Работы были начаты в августе 2006 г. и завершены в августе 2009 г.

Кроме моста через р. Обь построены подходы к мосту длиной 2,15 км, с объемом отсыпки земляного полотна 585,4 тыс. м<sup>3</sup>, путепровод через ул. Томскую длиной 58,10 м, путепровод через ул. Колесникова длиной 57,24 м, путепровод через ул. Крылова длиной 41,74 м, пешеходный мост на ст. Камень-на-Оби длиной 45 м. Для освобождения строительной площадки и санитарной зоны вдоль железной дороги произведен снос 72 домовладений, освобождено 74 земельных участка. Переселено 98 семей. Под расселение было предоставлено 127 квартир. Произведено строительство нового медицинского училища. Фактическая стоимость строительства моста составила 4,5 млрд р.

Таким образом, новый железнодорожный мост через р. Обь в г. Камень-на-Оби является одним из крупнейших мостовых переходов на сети железных дорог России, сооруженных в последние годы. Естественно, что такое сооружение требует к себе повышенного внимания для обеспечения надлежащего уровня потребительских свойств в эксплуатации. Поэтому Дирекция по комплексной реконструкции и строительству Западно-Сибирской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» привлекло для выполнения работ по научно-техническому сопровождению строительства, обследованию и испытанию моста специалистов НИЛ «Мосты» СГУПС.

Как известно, одной из возможных причин снижения начального уровня надежности сооружения вплоть до отказа являются ошибки, которые могут быть допущены при строительстве. В процессе эксплуатации происходит развитие и накопление различного рода повреждений. Для оценки их действительной опасности необходимо отслеживать динамику развития неисправностей. Организация уже на этапе строительства системы мониторинга с фиксацией начального уровня технического состояния сооружения позволит в дальнейшем при эксплуатации моста обеспечить высокий уровень безопасности движения поездов с контролем величины пропускаемых нагрузок и изменения напряженно-деформированного состояния конструкций моста. В соответствии с этим может быть сформулирована следующая цель организации научно-технического сопровождения — недопущение внештатных ситуаций при строительстве и обеспечение надлежащего уровня потребительских свойств моста после сдачи его в эксплуатацию. Для достижения поставленной цели необходимо было решить четыре основные задачи:

1. Контроль качества производства работ и соблюдения технологий, в том числе:

- контроль соблюдения технологии строительства по этапам, включающий в себя:

контроль установки опорных частей в проектное положение (в плане и по высоте),

контроль качества высокопрочных метизов,

контроль натяжения высокопрочных болтов,

контроль сплошности металла конструкций пролетных строений,

контроль качества окраски,

и другие контрольные операции при необходимости,

— участие в решении технических вопросов, возникающих в процессе строительства.

2. Мониторинг положения и напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе строительства:

— фиксация в процессе строительства пространственного положения опор с помощью специально закрепленных реперных точек;

— создание пространственной конечно-элементной расчетной модели моста для определения расчетного напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе производства строительно-монтажных работ;

— систематический контроль изменения напряженно-деформированного состояния пролетных строений во время монтажа;

— геодезические съемки смонтированных пролетных строений;

— наблюдение за изменением рельефа русла р. Обь в районе мостового перехода для контроля местных размывов.

3. Испытание моста при приемке в эксплуатацию:

— разработка программы испытаний;

— создание пространственной конечно-элементной расчетной модели моста с учетом результатов мониторинга;

— предсдаточное обследование мостового перехода;

— испытание основных конструкций моста перед сдачей в эксплуатацию;

— корректировка расчетной схемы моста по результатам испытаний для моделирования работы конструкций в процессе эксплуатации;

— оценка технического состояния моста.

4. Разработка проекта мониторинга технического состояния моста при эксплуатации:

— методика проведения мониторинга;

— выделение контролируемых параметров;

— техническое обеспечение мониторинга.

Первоначальным этапом организации мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций было выполнение расчетных исследований работы пролетных строений моста, которые позволили решить две основные задачи:

— первая — определение теоретических значений контролируемых в процессе монтажа параметров;

— вторая — проверка по предельному состоянию элементов пролетных строений при фактических монтажных нагрузках.

В процессе монтажа контролировались напряжения в соединительных элементах и прогибы конца консоли монтируемых пролетных строений. Контроль напряжений в соединительных элементах, как наиболее нагруженных, позволяет исключить возникновение внештатных ситуаций при монтаже.

Проверки наиболее нагруженных элементов выполнены с учетом требований СНиП 2.05.03–84\* «Мосты и трубы». Для определения теоретических значений контролируемых параметров на различных стадиях монтажа использованы как плоские расчетные модели пролетных строений, так и пространственные расчетные схемы, которые учитывали совместную с поясами ферм работу балок проезжей части и связей. Необходимость применения плоского или пространственного расчета определялась решаемыми задачами. Стандартные расчеты, как правило, выполнялись по плоским расчетным схемам, а при необходимости более детального исследования напряженного состояния использовали пространственную модель.

Контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций для обеспечения достоверности результатов проводился двумя независимыми системами измерений — механической и тензометрической. Механическая система была реализована на базе деформометров-компараторов конструкции НИЛ «Мосты» СГУПС с индикаторами часового типа. В тензометрической системе НДС конструкций фиксировался мобильной автоматизированной измерительной системой Тензор МС (сертификат Федерального агентства по техническому регулированию RU.C.34.007.A. № 32603). При использовании механических приборов на элементах пролетных строений устраивают специальные «базы», которые закрепляются при помощи сверления в металле двух отверстий диаметром 3 мм на глубину не менее 6 мм с расстоянием между отверстиями 500 или 350 мм. На каждом элементе было подготовлено не менее четырех баз. Оборудование сечений мерными базами и снятие начальных, так называемых нулевых отсчетов, было произведено на этапе укрупнительной сборки контрольных элементов, когда напряжения в них равны нулю. После снятия нулевых отсчетов все подготовленные базы были пронумерованы в соответствии с принятой схемой измерений, а отверстия баз для сохранности закрыты специальными заглушками. В дополнение к механическим приборам для контроля напряженно-деформированного состояния конструкций при монтаже пролетных строений были использованы тензометры электронной автоматизированной измерительной системы Тензор МС. Аналогично оборудованию сечений мерными базами механических деформометров-компараторов, наклейка и снятие начальных отсчетов по тензодатчикам производится на этапе укрупнительной сборки контрольных элементов.

Результаты расчета ключевых контролируемых при строительстве параметров пролетных строений в сравнении с зафиксированными в процессе мониторинга фактическими параметрами приведены в табл. 1.

Вычисленные в результате расчета значения контролируемых усилий и прогибов всегда больше значений, которые были получены в результате непосредственных измерений при монтаже. Это свидетельствует о наличии запасов конструкции (конструктивный коэффициент меньше 1,0) за счет включения проезжей части и продольных связей в совместную работу с элементами главных ферм. Средняя величина конструктивного коэффициента при этом составляет 0,75...0,9. Однако на 4-й стадии монтажа величина конструктивного коэффициента по прогибу оказалась равной  $0,72/1,23 = 0,59$  (см. табл. 1), что вызвано возникновением дополнительных, трудно прогнозируемых расчетом факторов. Например, неопределенностью работы опорных

частей, установленных на фторопластовые подкладки, — как свидетельствуют результаты наблюдений, требуемая подвижность таких конструкций не всегда была достаточной, что приводило к изменению расчетной схемы работы пролетного строения с соответствующим изменением усилий в элементах конструкции. Полностью учесть подобные факторы в расчетах не представляется возможным, но мониторинг НДС в процессе монтажа позволял вносить необходимые корректировки для учета фактической работы конструкции.

Таблица 1

| Стадия, схема | Контролируемый параметр, размерность | Теоретическое значение | Фактическое значение | Допускаемое значение |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
|               |                                      |                        |                      |                      |

опорами (в момент выключения их из работы) параллельно со съемными деформометрами-компараторами в контролируемых сечениях были установлены механические деформометры, жестко прикрепленные к элементам посредством струбин. Начальные отсчеты механических деформометров синхронизированы с соответствующими показаниями деформометров-компараторов. Совместно с показаниями механических приборов фиксировались и показания тензодатчиков системы Тензор МС.

Пример результатов оперативного контроля приведен ниже. График падения напряжений в соединительном элементе при подъеме на 10 см, полученный по показаниям тензодатчиков системы Тензор МС, показан на рис. 1, а на рис. 2 приведен график изменения напряжений в соединительных элементах от начала подъема и до полной разгрузки.

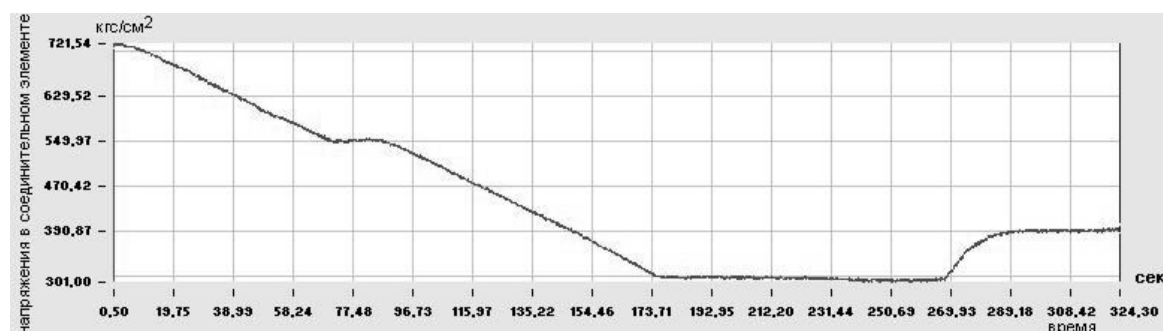


Рис. 1. График изменения напряжений в соединительном элементе № 1 по показаниям тензометров (подъемка на 10 см)

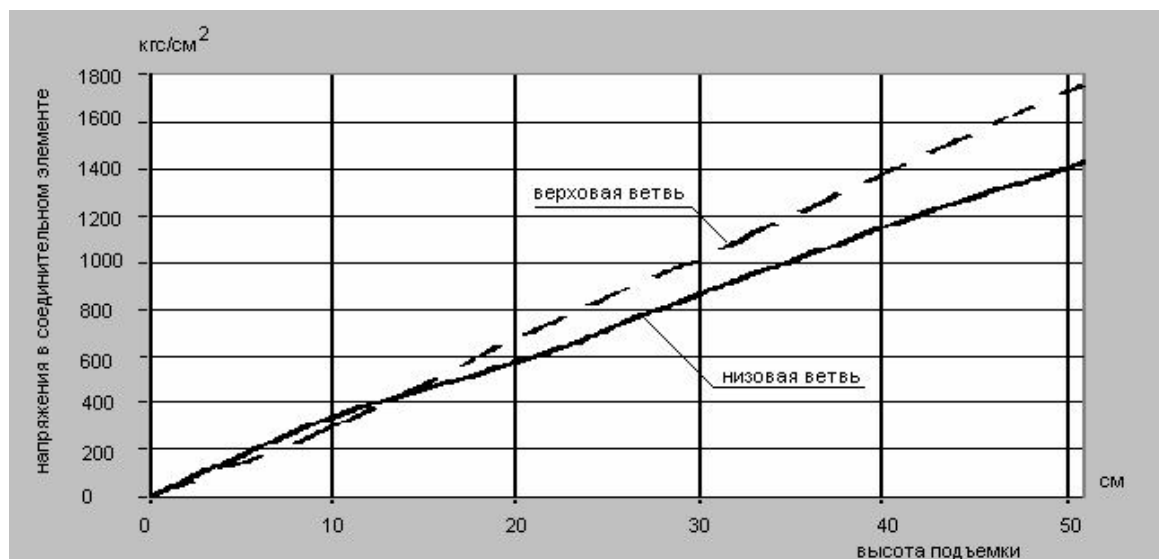


Рис. 2. Графики изменения напряжений в соединительных элементах от начала подъема и до полной разгрузки

Согласно проектным данным разгрузка соединительных элементов должна была соответствовать высоте подъема 92 см. Контрольные измерения во время подъема показали, что расчетное изменение напряжений в соединительных элементах было достигнуто на более ранней стадии, уже при высоте подъема 51 см. Дальнейшая подъема в этом случае привела бы к «закусыванию» высокопрочных болтов при разборке соединений и существенно усложнить работы.

Разборка соединений с контролем их НДС проходила в штатном режиме, без остаточных взаимных смещений пакетов и «закусывания» болтов. Таким образом, оперативный контроль напряжений в соединительных элементах в рамках мониторинга существенно упростил технологию монтажа.

Результаты мониторинга и других работ по научно-техническому сопровождению строительства нового железнодорожного моста через р. Обь в г. Камень-на-Оби позволили сделать следующие выводы:

1. В целом работы ведутся в соответствии с нормативной и проектной документацией, с хорошим качеством. Существенных замечаний по технологии выполнения работ и качеству монтажа нет.

2. Высокое качество сборки подтверждается результатами контроля натяжения высокопрочных болтов и результатами геодезической съемки смонтированных пролетных строений.

3. Мониторинг напряженно-деформированного состояния элементов пролетного строения показал, что пролетное строение при монтаже работает в соответствии с принятой расчетной схемой. Контроль напряжений в соединительных элементах позволил регулировать процесс их разгрузки в соответствии с фактическим напряженным состоянием.

4. Контроль качества материалов и изделий, поступающих на монтаж, свидетельствует, что они удовлетворяют требованиям проекта и норм. Исключение составляют отдельные высокопрочные метизы. Получены неудовлетворительные результаты испытаний в отдельных партиях при наличии сертификатов качества предприятия-изготовителя, что свидетельствует о возможных нарушениях в системе контроля качества высокопрочных метизов на заводе «Улан-УдэСтальмост».

5. Качество окраски пролетных строений — хорошее.

6. Состояние земляного полотна насыпи восточного подхода к мосту 605 км является удовлетворительным. Полученный коэффициент общей устойчивости насыпи (более 1,5) показывает наличие запаса общей устойчивости, а конфигурация и местоположение областей пластических деформаций свидетельствуют об отсутствии опасности возникновения и развития повышенных деформаций при эксплуатации, а также о достаточной местной устойчивости откосов.

7. Отмечено неудовлетворительное проектное решение конструкций пешеходных тротуарных проходов на металлических пролетных строениях с ездой понизу. Прогнозируется развитие усталостных трещин в листах пешеходного настила в процессе эксплуатации.

По результатам научно-технического сопровождения с целью обеспечения успешного завершения строительства и сдачи моста в эксплуатацию было рекомендовано следующее:

1. Для недопущения поступления на монтаж некачественных высокопрочных метизов следует усилить входной контроль на участке строительства. Необходимо усилить выходной контроль на заводе «Улан-УдэСтальмост».

2. Предложить организации — проектировщику пролетных строений (Гипротрансмост) для исключения развития усталостных трещин в настиле доработать проектное решение пешеходных проходов.

3. Для обеспечения высокого начального уровня надежности сооружения провести в соответствии с требованиями СНиП 3.06.07–86 предсдаточные обследования и испытания моста.

Для выполнения указанных рекомендаций предпринято следующее. Контроль качества высокопрочных метизов осуществлен специализированной организацией НПП «Мосты» (г. Санкт-Петербург). Рабочая программа обследования и испытания моста перед сдачей в эксплуатацию была разработана НИЛ «Мосты» СГУПС (г. Новосибирск), согласована с Западно-Сибирской железной дорогой — филиалом ОАО «РЖД» и Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД».

Проведенное специалистами НИЛ «Мосты» СГУПС предсдаточное обследование показало следующее. Строительно-монтажные работы по сооружению моста выполнены без существенных отступлений от проекта. Незначительные изменения, допущенные в процессе строительства, имеют надлежащие согласования. В целом по результатам обследования сделан вывод, что мост сооружен в соответствии с проектом и требованиями норм. На момент обследования отмечены мелкие недоделки, не оказывающие существенного влияния на текущее техническое состояние сооружения, поэтому испытания моста могут быть проведены в полном объеме в соответствии с разработанной Программой обследования и испытания железнодорожного моста через р. Обь на 605 км линии Омск — Алтайская. Заметим, что все отмеченные недостатки были устранены строителями перед вводом сооружения в постоянную эксплуатацию.

Наибольший интерес вызывают результаты статических и динамических испытаний, проведенных специалистами НИЛ «Мосты» СГУПС в июле и сентябре 2009 г.

В качестве нагрузки Западно-Сибирской железной дорогой был предоставлен состав из 20 думпкаров, груженных щебнем общим весом брутто 1650 тс (натурный лист поезда 5752), локомотивы — ТЭМ2 (в голове состава) и 2ТЭ10м (в хвосте состава). Принятая нагрузка является наиболее тяжелой из обращающихся на данной линии, таким образом, указания СНиП 3.06.07–89 (п. 3.8) по уровню нагруженности выполнены. Общий вид нагрузки на мосту показан на рис. 3. Расчеты НДС пролетного строения на фактическую испытательную



Рис. 3. Заезд испытательной нагрузки на мост со стороны левого берега

нагрузку были выполнены по пространственной расчетной модели пролетного строения, составленной в программе «MIDAS/Civil Ver. 7.1» («MIDAS Information Technology Co., Ltd»).

Для измерений исследуемых параметров были применены: комплексы измерительные многофункциональные Тензор МС с наборами датчиков для фиксации деформаций, перемещений и виброускорений, нивелиры SOKKIA B2<sub>0</sub> с нивелировочными рейками, деформометры на базе индикаторов часового типа, лазерные рулетки и другой мерный инструмент. Типичная схема расположения приборов при испытаниях показана на рис. 4 на примере пролетного строения 10–12. Схемы расстановки испытательной нагрузки на указанный

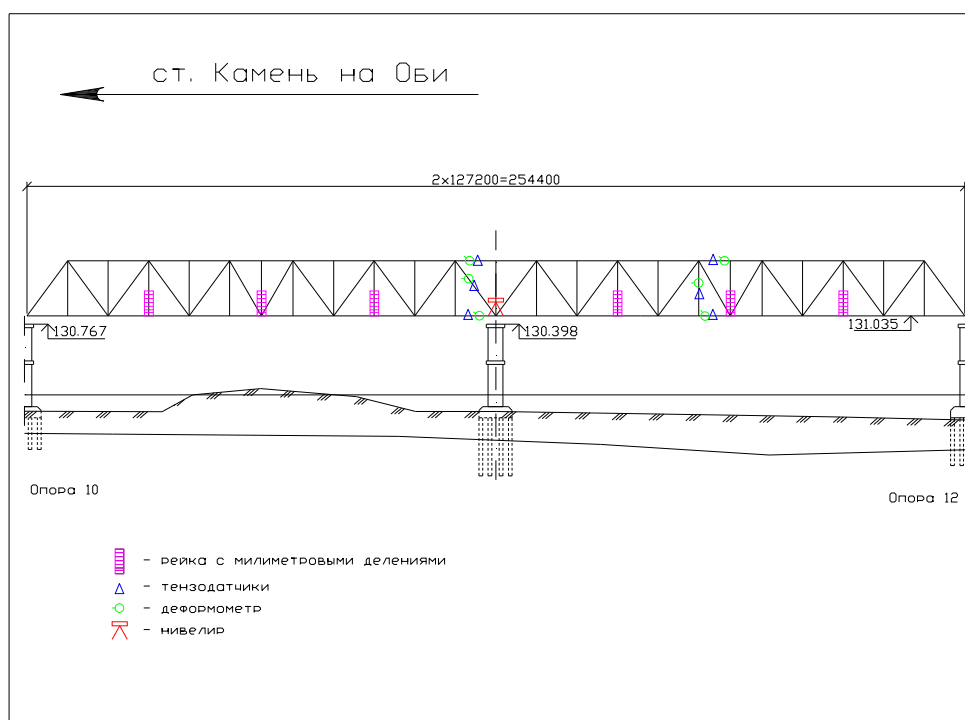


Рис. 4. Схема расположения приборов на пролетном строении 10–12

пролетном строении приведены на рис. 5. Пример оборудования элемента пролетного строения приборами для измерения местных деформаций (деформометрами и тензометрами) показан на рис. 6. Дублирование измерений различными измерительными системами, повторные загрузения и фиксация параметров однотипных конструкций позволили повысить достоверность получаемых результатов.

Результаты измерения прогибов пролетных строений при статических испытаниях показали, что конструктивный коэффициент лежит в пределах 0,7...1,0. Таким образом, составленная в конечно-элементной среде Midas/Civil с учетом результатов мониторинга НДС пролетных строений в процессе монтажа пространственная расчетная схема позволяет с высокой точностью моделировать работу пролетных строений. Остаточные деформации меньше, чем допускаемые СНиП 3.06.07–86 для вновь построенных мостов.

При загрузении испытательной нагрузкой пролетного строения 10–12 были также выполнены измерения горизонтальных перемещений (выкаток) его подвижных опорных частей. Фиксировали перемещения верхнего балансира

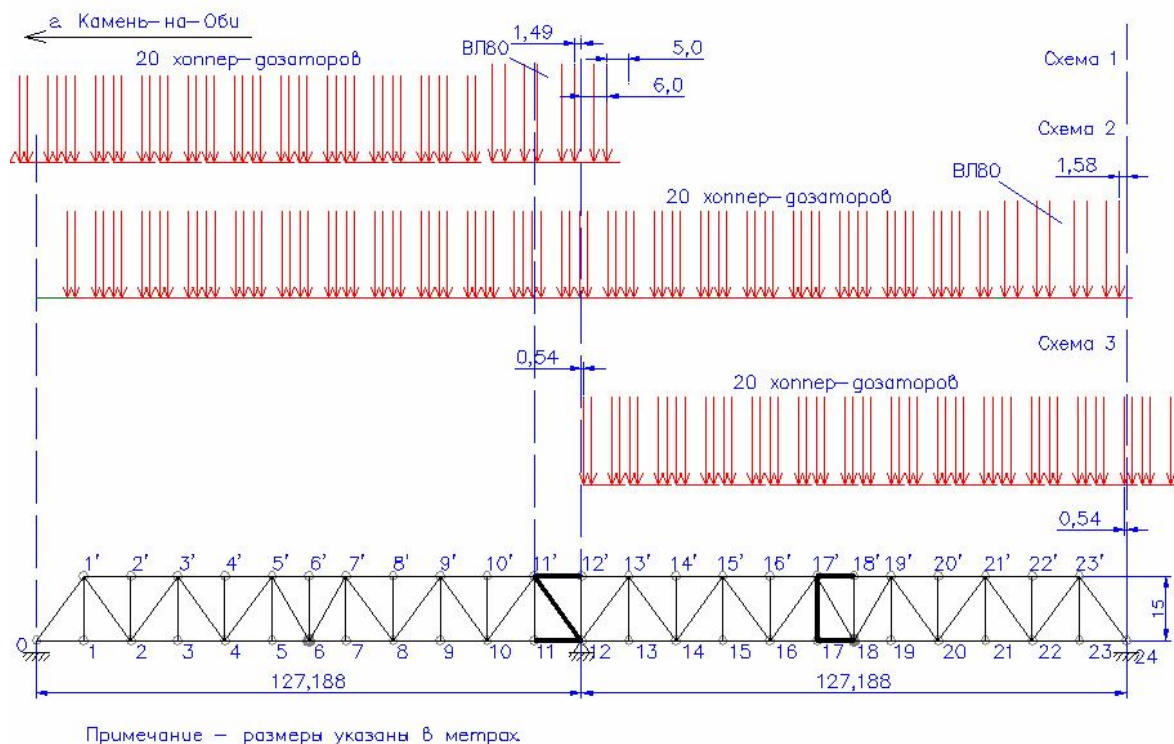


Рис. 5. Схемы расстановки нагрузки на пролетном строении 10–12



Рис. 6. Схема расположения приборов на пролетном строении 10–12

относительно нижней опорной плиты. Для этого использовались лазерные рулетки и лазерные уровни, установленные на балансирах левой и правой опорных частей, и металлические линейки с ценой деления 1 мм, закрепленные на нижних опорных плитах, а также датчики перемещений системы Тензор МС. Результаты измерений сведены в табл. 2, из которой видно, что измеренные значения выкатки для опорных частей на опорах 10 и 12, соответствующие симметричным схемам загрузки 1 и 3, а также схеме 2, практически совпадают. Также результаты испытаний очень хорошо согласуются с расчетны-

ми величинами выкатки, что подтверждает соответствие фактической работы конструкции расчетной схеме. Фиксация изменения во времени перемещения опорных частей под движущейся нагрузкой отражает хорошую работу подвижных опорных частей (рис. 7).

Таблица 2

**Средние измеренные и расчетные перемещения опорных частей**

| Схема           | Измеренные перемещения, мм |              | Расчетные перемещения, мм |              |
|-----------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
|                 | Левая ферма                | Правая ферма | Левая ферма               | Правая ферма |
| <i>Опора 10</i> |                            |              |                           |              |
| 1               | 13,0                       | 14,0         | 15,8                      | 15,8         |
| 2               | 7,6                        | 8,3          | 8,3                       | 8,3          |
| 3               | -6,1                       | -6,6         | -8,1                      | -8,1         |
| <i>Опора 12</i> |                            |              |                           |              |
| 1               | -6,0                       | -5,0         | -8,1                      | -8,1         |
| 2               | 7,0                        | 8,5          | 8,3                       | 8,3          |
| 3               | 13,0                       | 14,0         | 15,8                      | 15,8         |



Рис. 7. График перемещения подвижной ОЧ на опоре 10 ПС 10–11–12

Измерение местных деформаций в элементах пролетных строений было выполнено с помощью тензометров системы Тензор МС в процессе обкатки моста испытательной нагрузкой. Детальные испытания с установкой нагрузки по разным схемам (см. рис. 5) были выполнены для неразрезного пролетного строения 10–11–12. В целом получаемые при испытаниях результаты соответствовали ожидаемым, конструктивный коэффициент в среднем составил около 0,9.

Характерные примеры работы элементов пролетного строения при проезде нагрузки проиллюстрированы графиками изменения напряжений, приведенными на рис. 8. Особенно показательна работа продольной балки проезжей части (см. рис. 8, в) — видно как балка работает совместно с элементами нижнего пояса ферм, «ступеньки» на графике соответствуют заезду нагрузки на балку, когда к напряжениям от работы в составе главных ферм добавляются напряжения от местного воздействия осей подвижной нагрузки.

После открытия движения на мосту в сентябре 2009 г. были проведены динамические испытания моста проходящей нагрузкой. Основные результаты приведены ниже.

а) в нижнем поясе фермы (Н11-12)



б) в раскосе фермы (Р11'-12)



в) в продольной балке в панели 11-12 (Б11-12, нижний пояс балки)

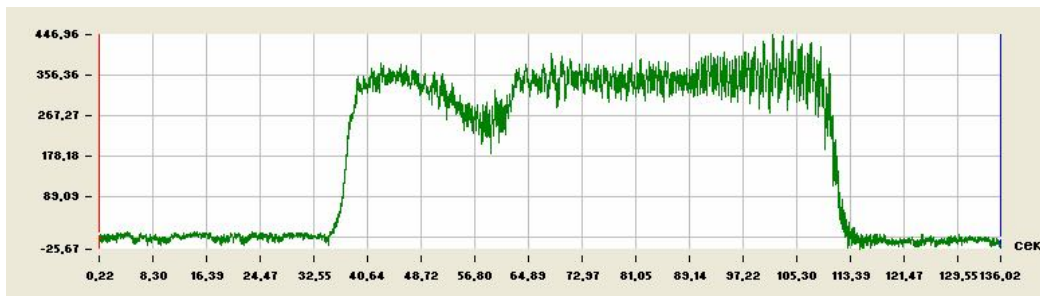


Рис. 8. Изменение напряжений в элементах неразрезного пролетного строения при проезде испытательной нагрузки

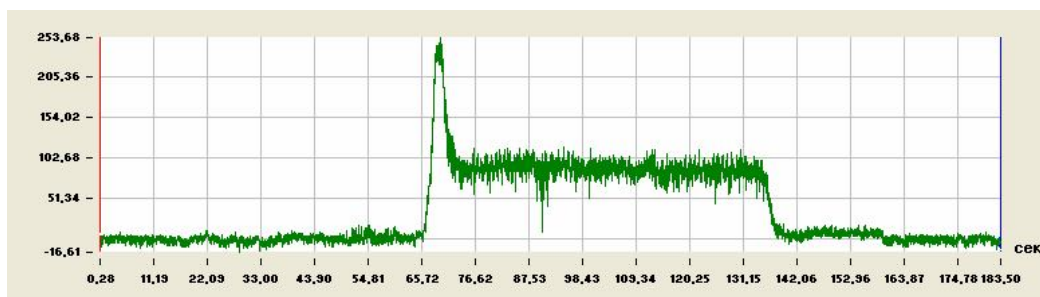
Виброграммы, записанные для решетчатого пролетного строения 7–8 (длина пролета 88 м) при различных видах проходящей нагрузки, показаны на рис. 9. Хорошо видно, что характер работы пролетного строения под поездами четного и нечетного направления существенно различается. Для нечетного направления (угольные составы) характерен близкий (в среднем 320...325 кгс/см<sup>2</sup>) уровень напряжений от локомотива и груженных вагонов, при проходе составов четного направления уровень погонной нагрузки от вагонов существенно ниже (около 80 кгс/см<sup>2</sup>). Заметим, что при движении составов наблюдается увеличение динамического воздействия при проходе хвоста состава, что объясняется совпадением вынужденных и собственных частот колебаний. При скорости около 50 км/ч, частота вынуждающей силы (проход тележки вагона) составляет около 2,1 Гц, что близко к собственным частотам конструкции с учетом массы поезда, находящегося на мосту. Поэтому в зависимости от массы поезда и скорости его движения на пролетном строении длиной 88 м всегда есть вероятность совпаде-

ния вынужденных и собственных частот колебаний. При этом значения динамического коэффициента при проходе «головы» состава  $1 + \mu = 1,08$  меньше теоретических по СНИП  $1 + \mu = 1,15$ , а в хвосте поезда превышают их, достигая величины  $1 + \mu = 1,23$ . Однако следует отметить, что демпфирующие свойства рассматриваемого пролетного строения обеспечивают быстрое гашение колебаний — практически сразу после схода нагрузки колебания затухают. Зафиксированные при динамических испытаниях частоты отражены в виде пиков на спектрограммах рис. 10: первый пик 0,7 Гц соответствует поперечным колебаниям, второй пик 2,1 Гц — вертикальным.

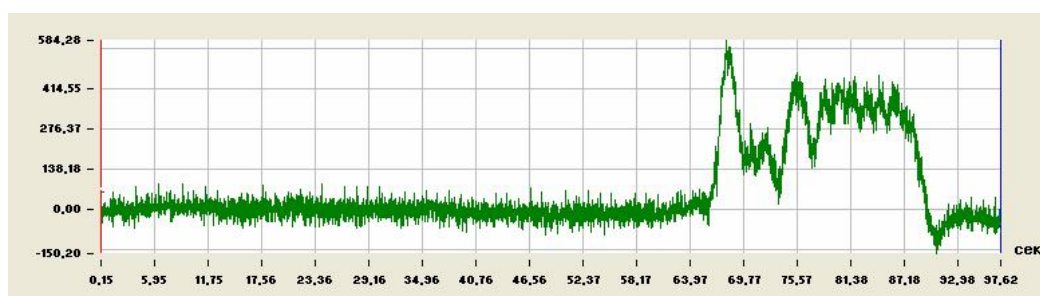
а) угольный состав (напряжения в элементе НЗ-4 нижнего пояса фермы)



б) порожний состав (напряжения в элементе НЗ-4 нижнего пояса фермы)



в) напряжения в подвеске с внутренней стороны фермы



г) напряжения в подвеске с наружной стороны фермы

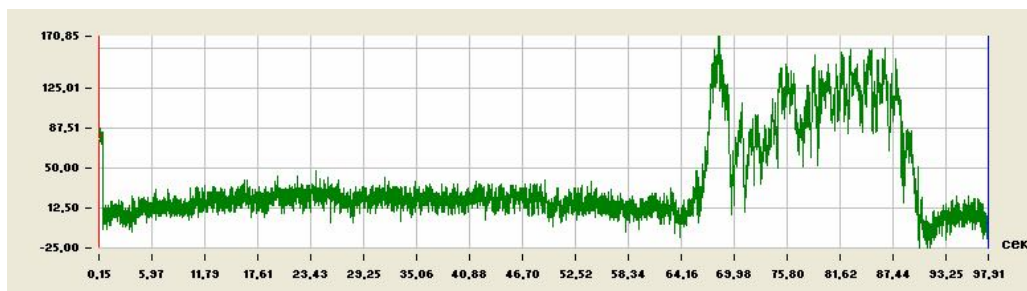
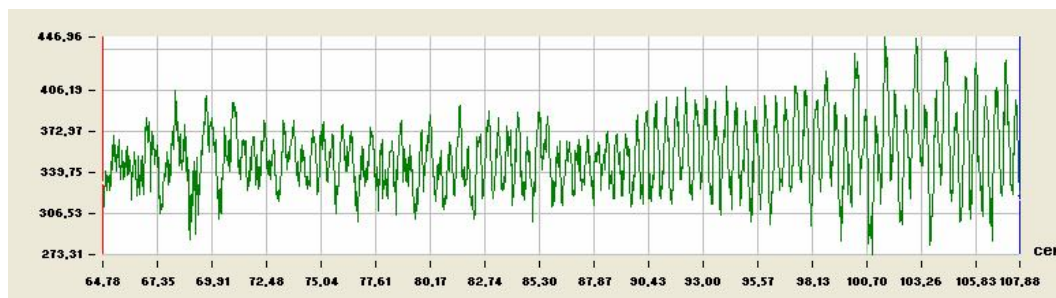


Рис. 9. Напряжения в элементах нижнего пояса и подвесках ПС7–8 от проходящей нагрузки

На виброграммах рис. 9 можно также выделить особенности пространственной работы подвесок, которые невозможно учесть при плоской расчетной схеме. Напряжения по внутренним и наружным граням существенно отличаются (см. рис. 9, *в*, *з*), что объясняется изгибом подвесок в поперечной плоскости в составе поперечной рамы «подвески — поперечная балка — верхняя распорка связей».

*а)* фрагмент «хвостовой» части виброграммы напряжений в нижнем поясе



*б)* спектрограмма

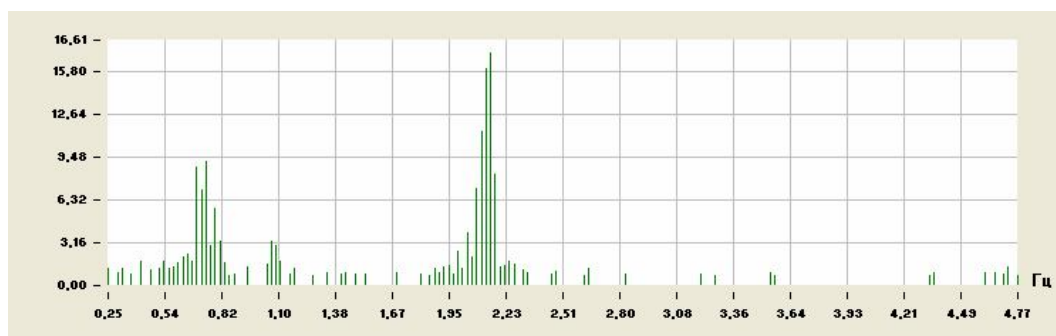


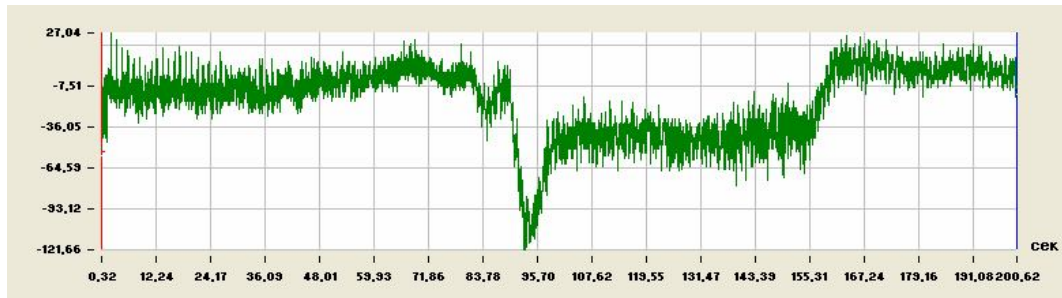
Рис. 10. Частоты колебаний ПС7–8 при проходе подвижной нагрузки

Результаты динамических испытаний пролетного строения 10–11–12 отражены на рис. 11. Виброграммы имеют более сложный вид по сравнению с разрезным ПС7–8 в связи с наличием на линиях влияния усилий участков с разными знаками. Фиксируемые напряжения соответствуют ожидаемым. Средние значения динамического коэффициента близки к теоретической величине 1,11. Виброграммы напряжений в подвесках (см. рис. 11, *з*, *д*) аналогичны виброграммам для подвесок ПС7–8 (см. рис. 9, *в*), максимальные значения напряжений (около 400 кгс/см<sup>2</sup>) близки к расчетным с учетом пространственной работы. Спектральный анализ полученных виброграмм показал, что основные собственные частоты выделяются на уровнях около 0,8 Гц (поперечные) и 2,3 Гц (вертикальные).

По результатам динамических испытаний можно сделать вывод об удовлетворительной динамической работе конструкции, соответствующей расчетным предпосылкам. При этом отметим, что испытания позволяют выявлять такие особенности работы элементов пролетных строений, которые невозможно учесть расчетом.

Выполненные исследования позволили сделать следующий основной вывод. Новый железнодорожный мост через р. Обь на 605 км Омск—Алтайская построен в соответствии с проектом, с высоким качеством и может быть сдан в постоянную эксплуатацию нагрузками, установленными современными нормами, без ограничений.

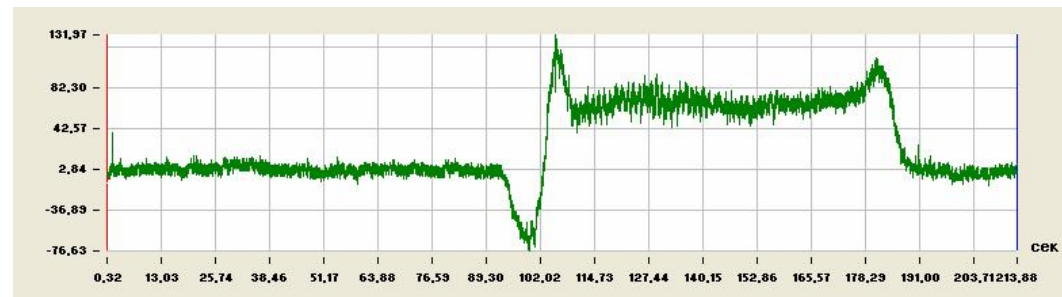
а) напряжения в элементе Н11-12 нижнего пояса неразрезной фермы



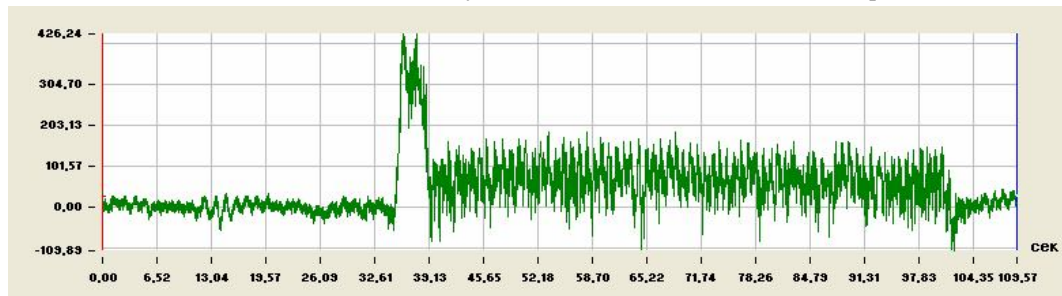
б) напряжения в элементе Н17-18 нижнего пояса неразрезной фермы при проходе отдельного локомотива ВЛ80



в) напряжения в элементе Н17-18 нижнего пояса неразрезной фермы при проходе грузового состава четного направления



г) напряжения в подвеске С11'-11 с внутренней стороны неразрезной фермы



д) напряжения в подвеске С17'-17 с внутренней стороны неразрезной фермы

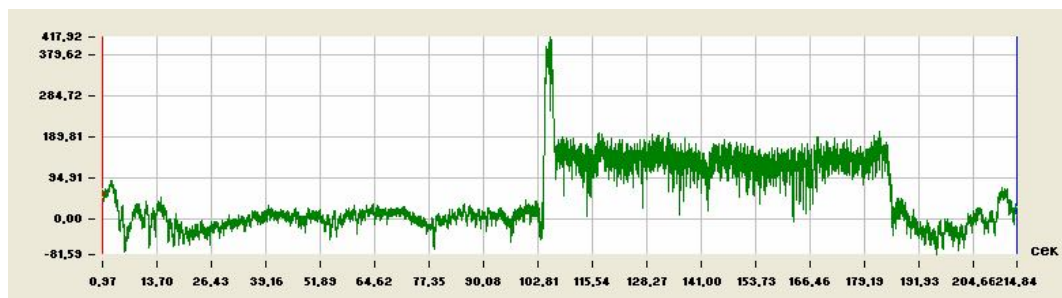


Рис. 11. Напряжения в элементах нижнего пояса и подвесках ПС10–11–12 от проходящей нагрузки