

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ БУГРИНСКОГО МОСТА



Арочное пролетное строение с системой гибких подвесок (так называемая сетчатая арка) расположено в центральной части нового мостового перехода через реку Обь. Высота арки — 72,7 м, что по отношению к длине пролетного строения (380 м) составляет примерно 1/5. Арочные своды имеют наклон от вертикали в сторону продольной оси пролетного строения. Угол наклона составляет 12°. Габарит поперечного сечения 36,87 м.

Балка жесткости пролетного строения металлическая с ортотропной плитой проезжей части (рис. 1). В ее поперечном сечении расположены две коробчатые (по краям) и две двутавровые главные балки. Стенки коробчатых главных балок для стыковки с арочными сводами имеют такой же угол наклона (12°). Монтажные стыки главных балок — болтосварные.

Основные несущие элементы проезжей части — двутавровые поперечные балки, расположенные с шагом 15 м, с переменной высотой стенки от 1850 мм (в зоне прикрепления к коробчатой главной балке) до 2540 мм (на оси пролетного строения). Между ними с шагом 3 м распо-

Автору данной публикации выпала честь участвовать в реализации проекта Бугринского моста в качестве разработчика основных металлоконструкций арочного пролетного строения и примыкающего к нему пролетного строения со стороны опоры №1.

лагаются поперечные балки с высотой стенки 680 мм. Высота продольных ребер коробчатого сечения толщиной 8 мм — 180 мм. На опорах 5 и 6 в связи с возникновением внутренних усилий при стыковке сводов на затяжке установлены коробчатые поперечные балки.

Сечение арочного свода шириной 2 м и высотой 3 м — коробчатое (рис. 2 а). Толщина стенок сечения свода — 32 мм, в местах объединения свода и затяжки — 40 мм.

Монтажные стыки блоков арочного свода болтовые, причем стык по стенке выполнен в виде фланца, а установленные на стенке болты расположены с конструктивным шагом и работали, по большому счету, только в период надвигки свода (рис. 2 б).

Данный вариант монтажного стыка стал возможен благодаря оптимально-

му расположению элементов вантовой системы, в результате чего при любом размещении на мосту временной нагрузки в период эксплуатации пролетного строения изгибающие моменты в своде минимальны, а основным внутренним усилием является продольная сила, с воздействием которой фланцевые стыки прекрасно справляются. Это обстоятельство позволило существенно сократить количество болтов и накладок. В противном случае создание равнопрочного соединения на парных накладках с учетом толщины стенки (32 мм) потребовало бы дополнительной установки порядка 40 тысяч болтов, а также применения 100 тонн накладок.

Однако из-за работы конструкции на монтажные состояния не удалось полностью исключить стыковку через парные накладки. Дело в том, что в

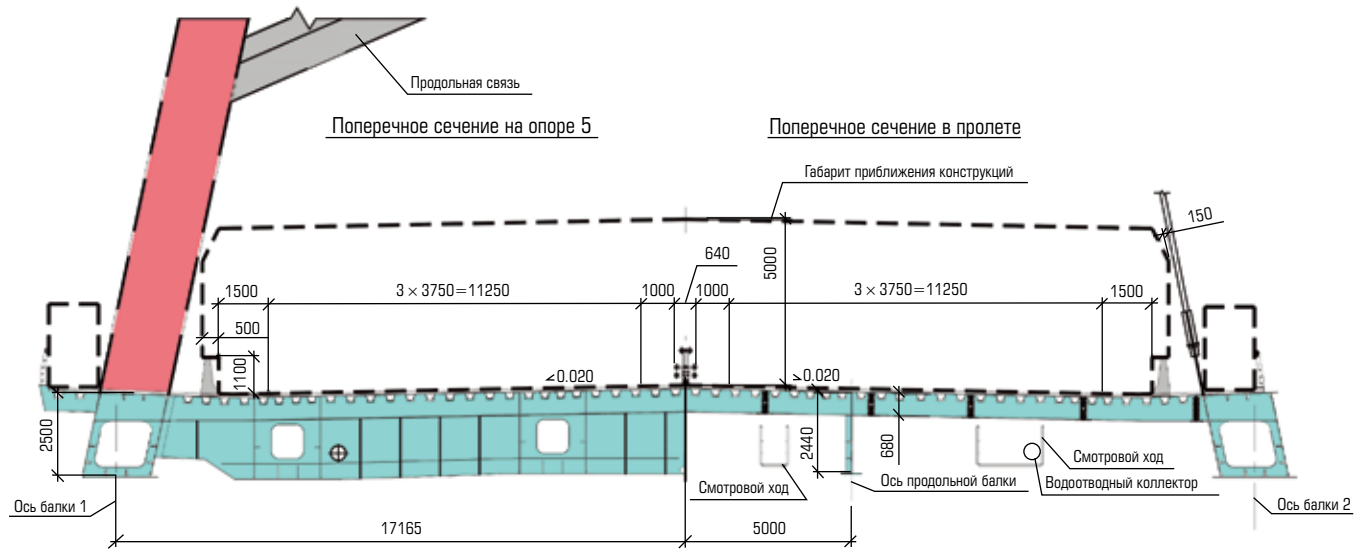


Рис. 1. Поперечное сечение балки жесткости

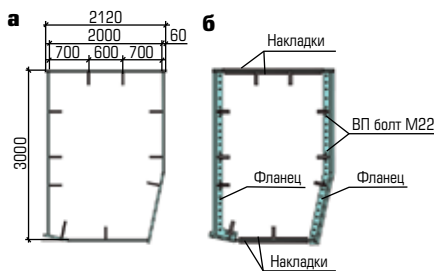


Рис.2. Поперечное сечение арочного свода (а) и монтажный стык (б)

случае использования монтажного стыка, полностью выполненного на фланцах, в период надвигки арочных сводов возникли бы превышающие допустимые изгибающие моменты.

Арочные своды объединены между собой продольными коробчатыми связями. Портальная крестовая связь сечением $1 \times 1,2$ м, остальные преимущественно $0,8 \times 0,8$ м (толщина поясов — 20 мм).

Конфигурация арочных сводов — круговая кривая ($R=300$ м). Длина блоков арочного свода постоянна на всем протяжении и составляет 10 м. Анкерные узлы на своде расположены регулярно с шагом 10 м. Угол прихода вант на свод составляет 60° . Данная величина определена в результате нескольких итераций расчетов и подбиралась по одному характерному критерию: изгибающие моменты в своде при любом размещении временной нагрузки должны быть минимальными.

Постоянная величина угла прихода вант на свод позволила унифицировать конструкцию элементов анкерных узлов в блоках свода. Учитывая

минимальные значения изгибающих моментов по длине свода, а также незначительные изменения нормальной силы, эпюра материалов для стенок и поясов, за исключением опорных блоков, постоянна по толщине и составляет 32 мм. Таким образом, 85% блоков свода одинаковы по своей внутренней компоновке, некоторые отличия связаны только с необходимостью стыковки с продольными связями.

Анкерные узлы на балке жесткости шарнирные, тип анкера глухой. На своде расположены регулируемые анкера, натяжение которых производится с конструкции свода (рис. 3 б).

Шарнирный вариант узла крепления на затяжке (рис. 3 а) обусловлен необходимостью реализации больших перемещений в период монтажа подвесок, в этот период углы поворота конструкции анкера превышают допустимые значения ($+/-0,3^\circ$), обозначенные компанией-поставщиком.

Значительные перемещения в период монтажа элементов вантовой системы были связаны с тем, что массы затяжки не хватило для создания необходимого натяжения подвесок, система балка — подвески — свод не обладала достаточной жесткостью.

По мере установки подвесок в конструкцию происходила не только деформация арочных сводов, но и деформация «затяжки». За счет совместных деформаций и создавалась жесткость внешне безраспорной системы. В этом случае распор от арки воспринимает сама затяжка.

Вантовая система состоит из 156 гибких подвесок, максимальное количество стрендов в одном ванте — 19

штук. Основной принцип формирования вантовой системы данного пролетного строения представлен на рис. 4. В его верхней части представлено нагружение временной нагрузкой половины пролетного строения с вертикально расположенными подвесками. В нижней части рисунка — аналогичное нагружение временной нагрузкой, но с наклонным расположением подвесок, в соответствии с принципами формирования «сетчатых арок». Цветными эпюрами представлены изгибающие моменты.

Как видим, для пролетного строения с наклонными подвесками при несимметричном нагружении временной нагрузкой численные значения изгибающих моментов на порядок меньше по сравнению с пролетным строением с вертикальными подвесками. Эта особенность позволяет значительно уменьшить поперечные размеры арочного свода, что и было успешно реализовано на данном пролетном строении. Расчет на эксплуатационные нагрузки подтвердил эффективность принятых решений.

Однако основные трудности при проектировании данного пролетного строения не были связаны с расчетом конструкции на эксплуатацию.

Основной проблемой большепролетных мостов являются расчеты на монтажные нагрузки — чем крупнее их размеры, тем больше внимания требуют к себе технология монтажа, устройство временных конструкций и т. д.

Институтом «Стройпроект» были сделаны следующие расчеты:

- продольной надвигки балки жесткости;

- на подвижки арочных сводов;
- на замыкание арочных сводов на затяжку и последующее опускание на временных опорах;
- последовательности монтажа элементов вантовой системы;
- СВСиУ;
- на эксплуатацию.

Для оценки поведения конструкции пролетного строения в ветровом потоке была произведена продувка модели в аэродинамической трубе на различных скоростях и углах атаки, на основании чего были получены графики перемещений. С учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки величина горизонтальных перемещений для арки составила 241 мм, а вертикальных перемещений для затяжки — 15 мм.

Одной из основных целей испытаний в аэродинамической трубе является получение данных об эквивалентной статической ветровой нагрузке. Максимальные значения ветра при симметричном нагружении, представленные в виде распределенной нагрузки, составили 12 кН/м для свода арки и 15 кН/м — для балки жесткости.

По результатам испытаний при максимальной скорости продувки (эквивалентной средней скорости ветра 29,4 м/с на высоте 10 м) максимальные перемещения арочного свода составили 0,3 м, что эквивалентно статической ветровой нагрузке 10,7 МН (1100 тонн горизонтальной нагрузки на конструкцию пролетного строения).

Несколько слов о монтаже пролетного строения. Монтаж балки жесткости предусматривал продольную подвижку объединенной плети арочного пролетного строения 5–6 и примыкающего к нему пролетного строения 1–5 (рис. 5). Стык секций был выполнен на опоре №5. Для обеспечения проектного положения объединенной плети после финальной стадии подвижки, на пролетном строении 1–5 предусматривался припуск длиной 620 мм (на рисунке показан красным цветом), который впоследствии был демонтирован.

На рис. 6 представлена основная компоновка конструктивных элементов пролетного строения. Аванбек длиной 42 м закреплен к двутавровым (средним) главным балкам. Максимальная длина консоли при подвижке составила 78 м.

Из-за разности высот аванбека и пролетного строения были предусмотрены дополнительные элементы для формирования узла объединения аванбека с пролетным строением.

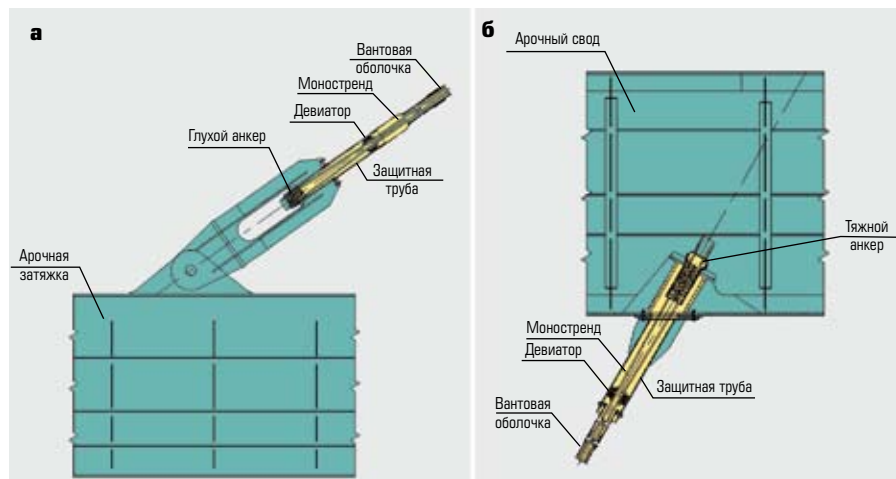


Рис. 3. Анкерные узлы: а — на затяжке; б — на арочном своде

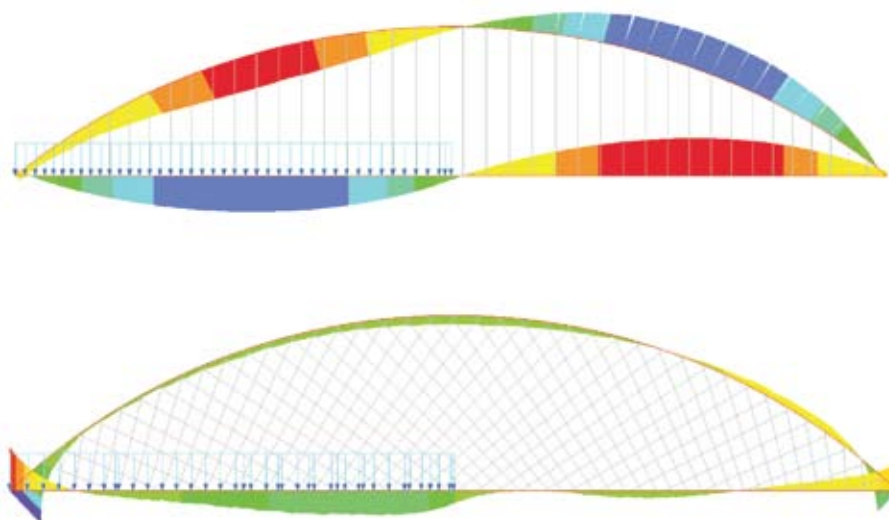


Рис. 4. Основной принцип формирования вантовой системы

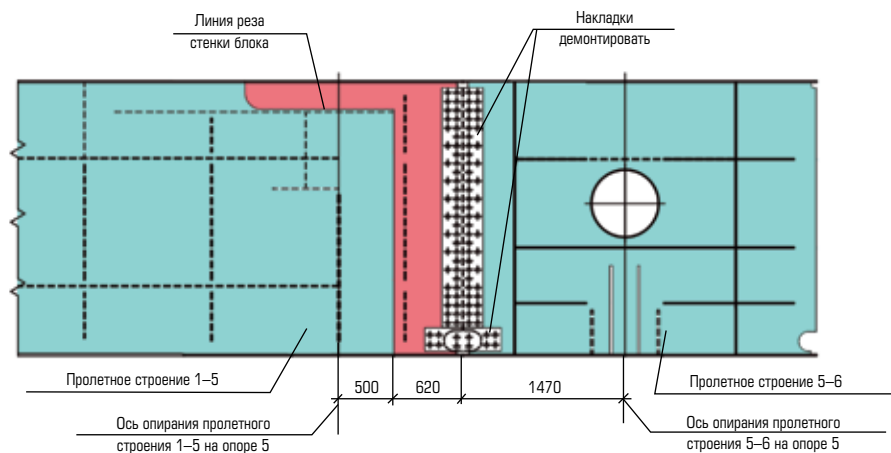


Рис. 5. Монтажный стык объединения пролетных строений 1–5 и 5–6

Учитывая различную компоновку поперечных сечений пролетных строений 1–5 и 5–6, для реализации возможностей подвижки было принято решение по устройству дополнительных элементов конструкции на продолжении главных балок пролетного строения 1–5

(рис. 7). Для восприятия монтажных нагрузок в процессе продольной подвижки объединенной плети, составленной из пролетных строений 1–5 и 5–6, вблизи опоры №5 была предусмотрена дополнительная коробчатая балка. Принятые технические решения по-



Рис. 6. Продольная надвигка пролетных строений 1-5, 5-6



Рис. 7. Последовательная сборка и надвигка пролетных строений 1-5, 5-6



Рис. 8. Контрольная сборка восьми блоков на заводе

зволили организовать узел объединения, а также реализовать возможность перехода с одной группы накаточных устройств при движении пролетного строения 5–6 на другую, необходимую для движения плиты 1–5.

В связи с большим количеством блоков (общая длина свода — 412 м с криволинейной в пространстве геометрией), для обеспечения точности монтажа металлоконструкций арочного свода были разработаны «Технические условия по изготовлению блоков свода арочного пролетного строения».

В них были скорректированы допуски по предельным отклонениям длины и винтообразности (деформации скручивания) блоков, а также неплоскостности фланцевых соединений в монтажных стыках.

Основные требования ТУ на изготовление металлоконструкций свода:

1. Отклонение длины блока: $-0 / +3$ мм (минусовые значения не допускаются).

2. Винтообразность — 0,5 мм на 1 м длины элемента.

3. Подготовка монтажных стыков в блоках свода выполняется методом «отпечатка» (предыдущий блок является основой для оформления стыка следующего блока).

4. На заводе-изготовителе выполняется контрольная сборка блоков.

5. Допускаемые отклонения при установке блоков на контрольной сборке не более: ± 5 мм (плановые), ± 6 мм (высотные).

6. Отправка блоков свода с завода-изготовителя осуществляется после проверки геометрических размеров и их сравнении с допускаемыми отклонениями.

Для проверки собираемости блоков свода и ветровых связей на заводе-изготовителе была выполнена пространственная контрольная сборка восьми блоков (Б20, Б22, Б21 и Б21'), попарно без объединения полусводов между собой, начиная от центра к краям свода (рис. 8).

Монтаж арочных сводов предусматривал продольную надвигку по вертикальной круговой кривой, что было впервые успешно реализовано в мировой практике мостостроения.

Во время надвигки арочных сводов для конструкции были введены ограничения по изгибающим моментам:

$$M(+)=4600 \text{ тсм};$$

$$M(-)=5500 \text{ тсм}.$$

Для гарантированного замыкания полуэсводов была скорректирована кривая надвигки, а также установлены центрирующие устройства с возможностью выборки отклонений в пределах ± 120 мм (рис. 9). Фактическая величина разности положений при подходе центрирующего устройства составила 100 мм.

При определении величины отклонения рассматривались три направления:

- расчет надвигки;
- изготовление блоков на заводе;
- монтаж блоков свода.

Точность выполнения работ по каждому из этих направлений ± 10 мм, а общая вероятность ее достижения — 50%. Вероятность попадания в зазор ± 10 мм составила 12,5%.

Таким образом, для обеспечения 100%-й вероятности было необходимо обеспечить зазор ± 80 мм, с добавлением коэффициента 1,5, в результате получилось ± 120 мм.

В заключение хочется сказать, что для инженеров нет лучше слов благодарности, чем те положительные

отзывы людей, для которых и создается искусственное сооружение. Мы с удивлением для себя обнаружили, насколько важным событием для рядовых новосибирцев является реализация проекта нового моста. Оказалось, что еще с 2009 года, с самого начала строительства, интернет-общественность города на одном из форумов пристально следит за ходом работ. С момента появления первых очертаний арочных сводов практически все участники форума в той или иной форме отметили: «У нас будет самый красивый мост!». И это дорогого стоит.

По результатам проделанной на данном мостовом переходе работы, следует отметить по-настоящему здоровый авантюризм проектировщиков и строителей, которые ни в чем не хотят уступать своим зарубежным коллегам в стремлении воплощать в жизнь оригинальные и долговечные образцы инженерно-технической мысли.

М.С. Вихров,
ГИП отдела металлоконструкций
ЗАО «Институт «Стройпроект»



Рис. 9. Центрирующее устройство



**XI Международная
выставка
КазАвтоДор 2014**



**II Международная
выставка
KazTraffic 2014**

**19-20 ноября
2014 года**

**Республика Казахстан,
г. Астана**

**Выставочный центр
«КӨРМЕ», ул. Достық, 3**

ОО «СТИНЕКС»
Казахстан, Астана
ул. Сейфуллина, 31, оф. 105
Тел./факс: 8 (7172) 54 26 80
Моб.: 8 (701) 795 72 28
E-mail.: info@stinex.kz

Официальная поддержка:



Министерство транспорта и коммуникаций Республики Казахстан

Организаторы:





www.stinex.kz