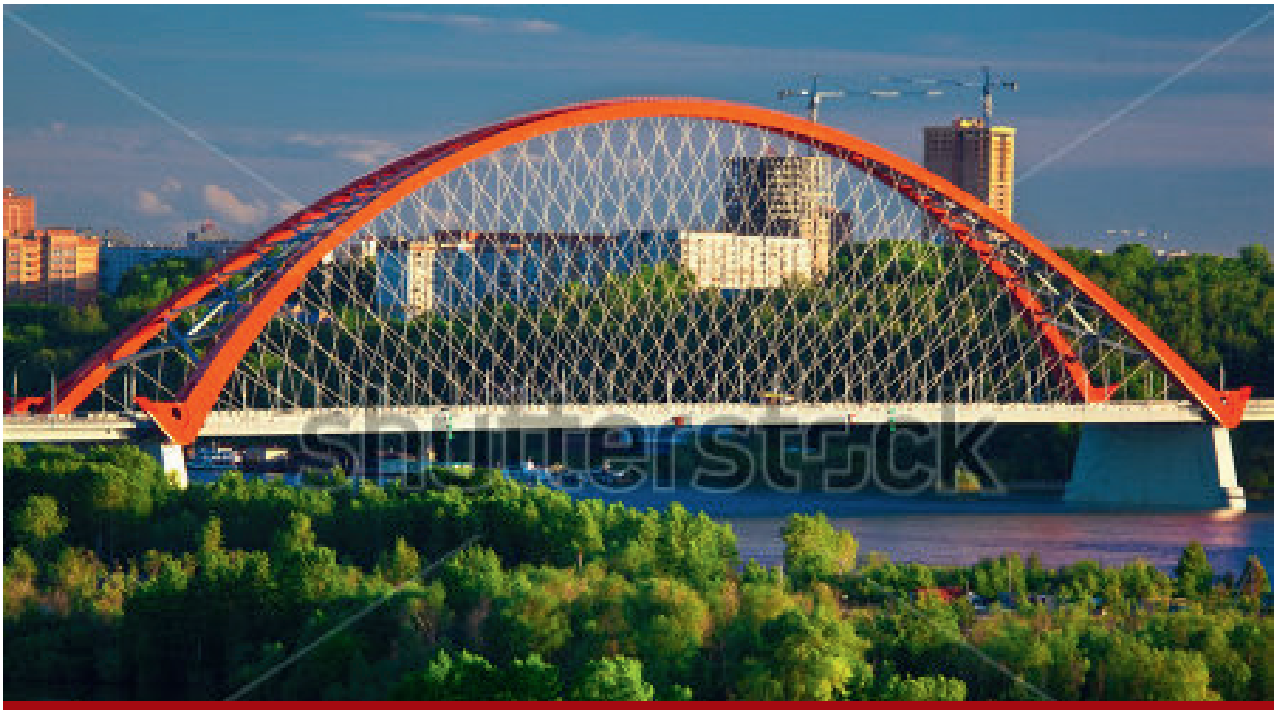


Shvaygert Ekaterina / shutterstock.com

БУГРИНСКИЙ МОСТ — НОВЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ УЗЕЛ НОВОСИБИРСКА

В 2015 году в профессиональном конкурсе НОПРИЗ на лучший инновационный проект в номинации «Лучший проект инженерной и транспортной инфраструктуры» победил проект Бугринского моста, представленный акционерным обществом «Институт «Стройпроект» (г. Санкт-Петербург). Ставший третьим по счету мостом через Обь в Новосибирске, он уже почти два года успешно эксплуатируется. Уникальность моста заключается в масштабе арочного пролета, а также инновационности способа его монтажа.

Новосибирск — третий по количеству жителей город России, крупный промышленный, научный и транспортный центр Сибири. С учетом пригородов общая численность населения города составляет около 1,6 млн человек. Новосибирск является крупнейшим транспортно-транзитным узлом международного евроазиатского транспортного коридора «Транссиб».

Учитывая стратегическую значимость Новосибирска, правительство города разработало генеральный план развития на период до 2030 года, который включает в себя проекты строительства новых мостовых переходов через Обь, первоочередной из которых — недавно открытый Бугринский мост. Плановое положение створа мостового перехода и его границы были определены в генеральном плане города.

Мост общей длиной 2,09 км имеет шесть полос движения транспорта и два тротуара.

Ширина русла Оби в данном створе около 550 м. Геологические условия определены тремя различными инженерно-геологическими формациями — это девонские отложения сланцев и песчаников, прорванные интрузией верхнепалеозойских гранитоидов. Непосредственно в русле реки расположена зона сейсмического разлома.

В данной зоне не удалось обнаружить грунтов с достаточными прочностными и деформативными характеристиками с отметкой 90 м, а по краям зоны разлома кровля прочных пород опускалась под углом до 50° к горизонтали.

Самым безопасным и надежным решением являлось размещение фундаментов вне пределов участков крутого падения пород в разлом, то есть строительство моста с длиной основного пролета примерно 380 м. Таким образом, именно геологические условия предопределили длину основного пролета. Кроме того, по условиям судоходства требовалось обеспечить судоходный габарит 160 м, высотой 15 м.

Были рассмотрены два варианта конструкции основного пролета: арочное и вантовое пролетное строение. Первый вариант предусматривал арочное пролетное строение с ездой понизу длиной 380 м со сталежелезобетонными пролетными строениями длиной около 105 м на подъездах к арочному пролету; второй вариант — вантовый мост с главным пролетом длиной 380 м и боковыми пролетами длиной 170 м, на подъездах к вантовому пролетному строению также сталежелезобетонные пролетные строения длиной около 105 м.

В итоге был выбран вариант с арочным пролетным строением длиной 380 м как наиболее экономичный. Арочный вариант, несмотря на значительные размеры пролетного строения, хорошо вписывался в просторы Оби в данном створе. Кроме того, арка — достаточно распространенный мотив в архитектуре Новосибирска, где многие из существующих мостов имеют арочные пролеты. Кстати, на гербе города можно увидеть арочный мост, соединяющий два берега. Выбранное решение, таким образом, получило и символическое значение, тесно переплетенное с историей города.

Конструкция арки

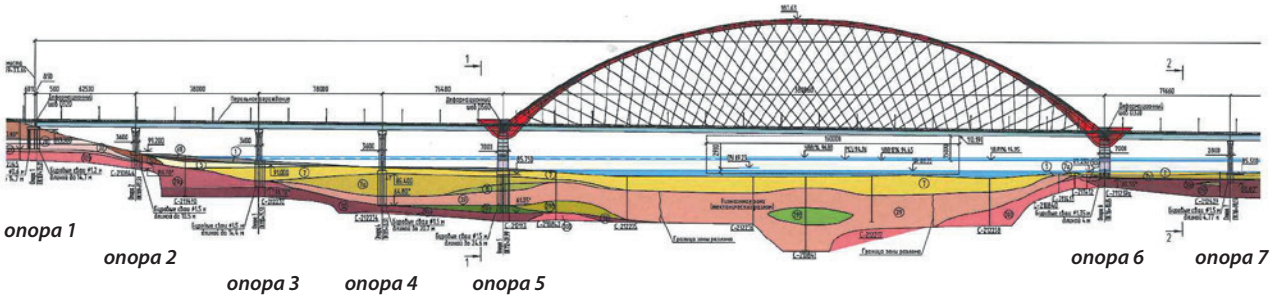
Для главного пролета моста была предложена сетчатая арка, а не традиционная с вертикальными подвесками, являющаяся наиболее распространенным типом конструкции арочных пролетных строений с ездой понизу. Конструкция традиционных арок с ездой понизу чрезвычайно чувствительна к различным неравномерным и несимметричным загружениям временной нагрузкой; при таком загружении в элементах верхнего пояса и затяжки возникают значительные изгибающие моменты, а очень большие перепады значений усилий в подвесках ведут к усталостным проблемам.

Данные факторы означают, что несущие элементы должны иметь сечение больших размеров, а это,

А. Б. Суровцев,
заместитель генерального директора — технический директор АО «Институт «Стройпроект»

Ю. Б. Девичинский,
заместитель технического директора — начальник управления проектных работ АО «Институт «Стройпроект»

С. Ю. Азанов,
заместитель начальника управления проектных работ АО «Институт «Стройпроект»



в свою очередь, повышает общий расход материалов на пролетное строение и, соответственно, увеличивает вес монтируемых элементов. Устройство наклонных подвесок облегчает эти проблемы, но наиболее эффективным путем решения является устройство наклонных *пересекающихся* подвесок, такая конфигурация и называется сетчатой аркой.

Строительная высота арки Бугринского моста 72,7 м, что соответствует отношению высоты к длине пролета, равному примерно 1:5. Количество вант 156 шт. Арочные своды имеют наклон от вертикали 12° в сторону продольной оси пролетного строения. Габарит поперечного сечения 36,9 м, что включает в себя две проезжие части, каждая шириной 13,75 м по три полосы движения шириной 3,75 м в каждую сторону, две полосы безопасности 1,5 и 1,0 м у крайнего и разделительного барьерного ограждения соответственно, а также два тротуара шириной по 1,5 м.

Балка жесткости пролетного строения — металлическая с ортотропной плитой проезжей части. В поперечном сечении балки располагаются две коробчатые и две двутавровые главные балки; стенки коробчатых главных балок для стыковки с арочными сводами тоже имеют наклон 12°. Нижний и верхний пояса главных балок имеют сварные соединения, стенки соединены с помощью высокопрочных болтов.

Основные несущие элементы проезжей части — это двутавровые поперечные балки, расположенные с шагом 15 м. Данные балки имеют стенки с переменной высотой от 1,85 м (в зоне прикрепления к коробчатой главной балке) до 2,54 м (на оси пролетного строения). Между ними с шагом 3 м располагаются поперечные балки с высотой стенки 680 мм. Продольные ребра коробчатого сечения имеют высоту 180 мм и изготовлены из стали толщиной 8 мм.

На опорах 5 и 6 арочного пролетного строения установлены коробчатые поперечные балки. Сечение арочного свода — коробчатое шириной 2 м и высотой 3,9 м; толщина стенок сечения свода варьируется от 32 до 40 мм (в местах объединения свода и затяжки). Толщина поясов 32 мм.

Монтажные стыки блоков арочного свода болтовые, причем стык по стенке выполнен в виде фланца, а установленные по стенке болты расположены с конструктивным шагом и требовались только в период надвижки свода.

Учитывая толщину стенки, равную 32 мм, создание равнопрочного соединения на парных накладках потребовало бы дополнительно более 40 000 болтов, а также около 100 т накладок.

Тем не менее, выполнить монтажный стык только на фланцах не удалось. В период надвижки арочных сводов возникали высокие изгибающие моменты, которые потребовали установки накладок для объединения верхнего и нижнего поясов арочного свода. В связи с этим монтажные стыки поясов арочных сводов выполнены на парных накладках.

Арочные своды объединены между собой продольными коробчатыми связями. Портальная крестовая связь имеет сечение 1,0×1,2 м, остальные — 800 мм^2, толщина поясов и стенок связей 20 мм.

Стыки связей — болтосварные. Пояса выполнены с помощью сварки, а стенки соединены болтами.

Конфигурация арочных сводов представляет собой круговую кривую радиусом 300 м; арка состоит из блоков длиной 10 м. Анкерные узлы для объединения арки с пролетным строением расположены с шагом 10 м, ванты имеют наклон в 60°. Данная величина угла определена в результате нескольких итераций расчетов и подбиралась по одному критерию: изгибающие моменты в своде при любом размещении временной нагрузки должны быть минимальны.

Поскольку угол прихода вант на свод есть величина постоянная, это позволило унифицировать конструкцию элементов анкерных узлов. Более того, 85 % блоков свода по своей внутренней компоновке одинаковые, отличия связаны только с необходимостью оформления монтажных стыков с ветровыми связями.

На балке жесткости расположены пассивные анкеры, на своде — анкеры активные. Анкерные узлы на балке закреплены шарнирно, это связано с тем, что в период монтажа вант углы поворота

конструкции анкера превышали допустимые значения (±0,3°).

По мере установки подвесок в проектное положение происходила не только деформация арочных сводов, но и деформация «затяжки».

До начала строительства моста был произведен целый ряд расчетов, большинство из которых относится к стадии монтажа: расчет продольной надвижки балки жесткости; продувка в аэродинамической трубе; расчет надвижки арочных сводов; расчет на замыкание арочных сводов на затяжку и последующее опускание на временных опорах; расчет последовательности монтажа элементов вантовой системы; расчет специальных вспомогательных сооружений и устройств и эксплуатационный расчет.

Монтажные работы

Главное преимущество сетчатых арок состоит в сокращении расходов материала. Однако слабое место любой арки — это ее монтаж, и строительство сетчатых арок может быть особенно трудным по сравнению с арками традиционной конструкции. В данном случае арка собиралась и монтировалась на месте. Сначала по временным опорам отдельно от свода были надвинуты главные балки, образующие затяжку арки, а затем с концов затяжки была произведена надвижка сводов арки в направлении главного пролета.

Монтаж балки жесткости предусматривал продольную надвижку объединенной плети арочного пролетного строения 5–6 и примыкающего к нему пролетного строения 1–5.

Было рассмотрено несколько вариантов монтажа арочного свода с точки зрения сроков и материалоемкости временных сооружений: перевозка на плавсистеме с последующим подъемом

Dmitry Sedakov / shutterstock.com

в проектное положение, монтаж свода с помощью фермоподъемников, надвижка арочного свода, монтаж свода с помощью пилонов, установленных на опорах 5 и 6. В результате сравнения был принят способ вертикально-радиальной надвижки. Надвижка осуществлялась по вертикальной круговой кривой радиусом 300 метров. Считается, что такая надвижка была выполнена впервые в мировой практике.

Выбор в пользу надвижки был основан на инженерно-стоимостном анализе: данный вариант требует минимального количества вспомогательных металлоконструкций, а также позволяет сократить сроки строительства.

Надвижка свода арки имела ряд особенностей, которые и определили основные требования к производству работ. Первая — это переменная конфигурация свода арки в плане, означающая, что в начале надвижки расстояние между осями коробок составляет 3,8 м, а в конце — 26 м. Второй особенностью стала большая высота временных опор, по которым осуществлялась надвижка. Третья особенность — это наличие вертикальной круговой кривой. Угол наклона линии надвижки к плоскости затяжки составлял 36°.

Надвижка свода арки общей длиной 412 м осуществлялась с двух сторон главной балки к центру арки с применением аванбеков длиной 36 м. Максимальная длина консоли надвигаемого полусвода — 76 м. Весь процесс надвижки состоял из девятнадцати стадий. Были произведены две технологические остановки: одна — для демонтажа крайних временных опор после опирания аванбека на промежуточную временную опору, и вторая — для демонтажа аванбека после опирания передовых блоков свода на центральные временные опоры. На последней стадии процесса выполнялись работы по замыканию верхнего узла свода. После этого демонтировались опорные блоки, и производилось замыкание свода на затяжку.

Все работы по сборке и надвижке свода арки осуществлялись на двух стапелях, сооруженных в зоне постоянных опор 5 и 6. Угол наклона пролетного строения стапеля был определен круговой кривой свода арки. Для восприятия временных нагрузок стапели были оборудованы подкосами для передачи нагрузки на постоянные опоры, а передача продольных усилий от стапеля на затяжку реализовалась через тыловой упор. Направляющие рамы с установленными

на них транспортными тележками использовались для опирания укрупненных блоков при надвижке и располагались на пролетном строении стапеля. При отсутствии нагрузки направляющая рама имела возможность перемещения поперек оси моста. Во время надвижки положение направляющей фиксировалось в продольном направлении собственным упором. Усилие от упора передавалось на балки стапеля. В качестве толкающих устройств использовались четыре домкрата грузоподъемностью 300 т каждый (по два домкрата на оси полусвода). Во время перемещения собранной части свода продольное усилие воспринималось собственными упорами домкратов и транспортной тележки. Максимальное усилие надвижки по каждой из осей полусвода составляло 390 т, транспортная тележка перемещалась только вдоль оси моста; отсутствие поперечных смещений обеспечивалось наличием боковых упоров.

На затяжке были собраны временные опоры для надвижки, закрепленные при помощи оттяжек. Все временные опоры были обстроены накаточными путями, позволяющими выполнить надвижку свода переменной конфигурации. На каждой временной опоре был подготовлен набор кареток переменной высоты с карточками скольжения, имеющими коэффициент трения по поверхности скольжения равный 0,07.

Надвижка и сборка свода велась при постоянном геодезическом контроле.

Работы по демонтажу блоков аванбеков выполнялись после прохождения блоками свода накаточных путей центральных временных опор.

Страховка свода во время надвижки осуществлялась при помощи стержней Dywidag, которые использовались также при перезарядке домкратов и при оформлении стыков блоков.

Переменная конфигурация полусводов не позволяла использовать боковые упоры для корректировки планового положения надвигаемой конструкции на временных опорах. Единственным способом обеспечения проектного положения надвигаемых полусводов была регулировка усилий в домкратах на стапеле, для чего величина усилий в домкратах контролировалась с помощью компьютера. В ходе производства работ выполнялся геодезический контроль вертикальности временных опор, а также контроль усилий во временных опорах и усилий в вантовых оттяжках.

После окончания надвижки временные конструкции демонтировались, и одновременно выполнялся монтаж подвесок. Так как временные опоры и стапели затрудняли этот процесс, для натяжения все подвески разделили на три группы: установка которых требовала наличия временных опор, установка которых возможна только при частичной разборке центральных временных опор и установка которых возможна только при полной разборке центральных временных опор и стапелей.

Монтаж подвесок отдельными группами с одновременной разборкой временных конструкций сильно осложнил поиск оптимальной последовательности установки подвесок и расчет всех монтажных состояний. При расчете вантовых конструкций поиск рациональной последовательности монтажа элементов вантовой системы относится к числу наиболее сложных задач. С применением методов дискретной оптимизации инженерам удалось найти последовательность установки подвесок, удовлетворяющую всем конструктивным критериям компании – поставщика вантовой системы, а также соответствующую графику производства работ генерального подрядчика.

После завершения монтажа вантовой системы было уложено покрытие проезжей части из литого асфальтобетона. Затем был выполнен расчет точной финальной регулировки усилий натяжения подвесок для получения проектного профиля пролетного строения, а также минимизации отклонений фактический усилий в подвесках от проектных значений. Данный расчет был произведен методами нелинейного математического программирования. После этого специалистами компании – подрядчика по монтажу вантовой системы в предельно сжатые сроки были выполнены работы по дотяжке подвесок. Одновременно с этим были смонтированы декоративные элементы в зонах примыкания арки к затяжке, придающие мосту дополнительную архитектурную выразительность.

Бугринский мост стал одной из городских достопримечательностей, высотной и видовой доминантой, а обширные территории по бокам створа, находящиеся в непосредственной близости к рекреационным зонам — Бугринской роще, островам и пляжам, получили дополнительную точку тяготения.

Сданный в эксплуатацию в октябре 2014 года Бугринский мост в Новосибирске собрал множество восторженных оценок экспертов и VIP-персон. Все специалисты отмечали уникальность и важное стратегическое значение моста-рекордсмена. Заказчиком строительства масштабного инфраструктурного объекта выступило Управление дорожного строительства мэрии Новосибирска, генеральным проектировщиком — АО «Институт «Стройпроект», генеральным подрядчиком — ОАО «Сибмост».

В настоящее время администрация города Новосибирска готовит к реализации проект уже четвертого по счету мостового перехода через Обь. В открытом конкурсе на проектирование этого моста победу вновь одержал институт «Стройпроект». ТИС