

# Применение вантовых технологий в пролетных строениях различных статических систем

И.Е. КОЛЮШЕВ, главный инженер института «Гипростроймост — Санкт-Петербург»

О.Г. СКОРНИК, заместитель генерального директора института «Гипростроймост — Санкт-Петербург»

Н.А. ТАРБАЕВ, технический директор ОАО «Мостоотряд №19»

**Вантовые мосты являются украшением многих современных городов мира. Более величественные и красивые сооружения, созданные человеческими руками, трудно представить. В них аккумулируется все: от сложнейших инженерных расчетов до тончайшего архитектурного мастерства.**

Однако применение вант как высокопрочных элементов, работающих на растяжение, возможно в различных статических схемах. Так, применение современных вантовых конструкций возможно:

- 1) в балочных мостах;
- 2) в арочных мостах;
- 3) в вантовых мостах;
- 4) в висячих мостах.

В этой статье хотелось бы остановиться на применении «гибких» вантовых элементов в балочных и арочных мостах.

Применение «гибких» вантовых элементов в балочных мостах связано в последнее время с развитием коррозионной защиты вант.

За последние 20 лет в мире построено более 40 балочных мостов с вантовыми подпругами, которые получили название «extra dosed», что в английской версии может трактоваться как система с экстрадозированным армированием.

Основная идея мостов по системе «extra dosed» состоит в том, что когда предварительно напряженная арматура (ванты) выносятся за пределы сечения балки в виде вантовой фермы, изгибающие моменты в балке уменьшаются и обеспечивается использование сил предварительного натяжения для обжатия балки в растянутой зоне. Ванты в мостах системы «extra dosed» расположены под значительно более ост-

рыми углами, нежели в традиционных вантовых мостах. Основной задачей вант балочного пролетного строения является обеспечение горизонтального предварительного обжатия балки, в то время как ванты пролетного строения являются основными несущими элементами и предназначены для упругого восприятия вертикальных нагрузок. Углы наклона вант могут достигать 15° против 25° у вантовых мостов, что оптимально для горизонтальной составляющей усилия в ванте, создающей усилие обжатия. Оптимальное соотношение длины пролета и высоты пилоны в балочных мостах составляет 1/10L — 1/15L, зависящее как раз от угла наклона крайнего ванта, в то время как в вантовых системах она составляет 1/4L — 1/5L.

При проектировании мостов данной системы возможно увеличение допустимых усилий в вантах до 55–60% от разрывного усилия пос-

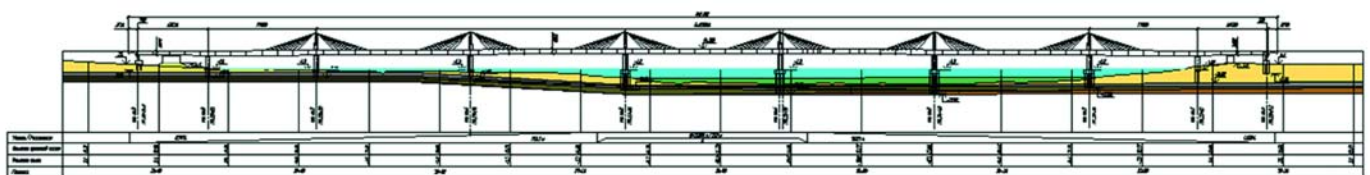


Рис. 1. Общий вид Южного моста через р. Даугаву

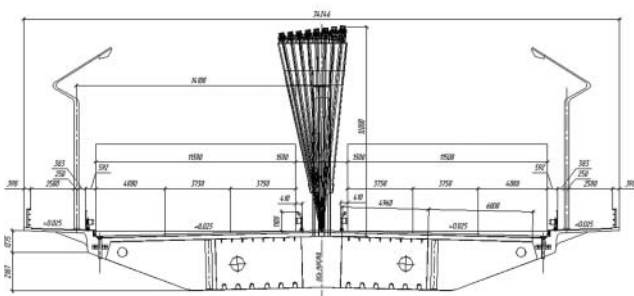


Рис. 2. Поперечное сечение пролетного строения Южного моста над опорой



Рис. 3. Модель моста через р. Даугаву

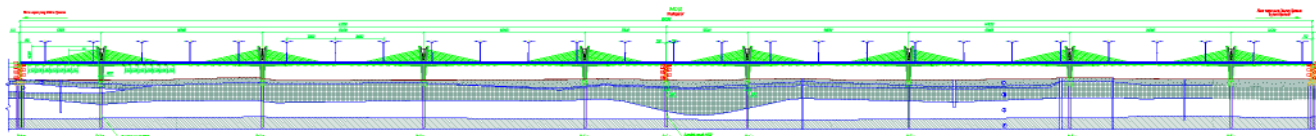


Рис. 4. Общий вид эстакады в г. Калининграде

колку цикл напряжений по выносливости в ванте уменьшается до 30–100 МПа, по сравнению с вантовыми мостами (200–250 МПа). Если говорить о процентном соотношении временной нагрузки, воспринимаемой вантовой фермой и балкой, то в мостах по системе “extra dosed” это соотношение не превышает 30%, тогда как в вантовых мостах оно значительно более 50%. Вибрации вант от воздействия ветровых нагрузок, как правило, ничтожны в силу короткой длины вант и больших усилий в них.

В ЗАО «Институт Гипростроймост — СПб» выполнено два проекта мостов по системе “extra dosed”, один из которых — мостовой переход через р. Даугаву в Риге — сейчас находится на стадии реализации.

Мостовой переход через Даугаву запроектирован по схеме 49,5+77+5x110 м+77+49,5 м со сталежелезобетонным пролетным строением типа “extra dosed” (рис. 1). Мост имеет габарит Г(12,5+C+12,5) с разделительной полосой С=3,0 м. При этом габариты проездов в каждом направлении равны 12,5 м и включают в себя по три полосы движения (рис. 2). Кроме того, на мосту предусмотрены пешеходные проходы и велосипедные дорожки по 2,5 м с каждой стороны моста (рис. 3). Балка пролетного строения состоит из двух коробок, объединенных поперечными балками. Высота коробок в пролете 110 м составляет 2,9 м. Монолитная железобетонная плита проезжей части включена в совместную работу с главными балками упорами типа “concrete

dowels” и гибкими стержневыми упорами, имеет толщину 250 мм. Пилоны моста представляют собой сталежелезобетонную конструкцию. Выбор материала пилон обусловлен его сложным напряженно деформированным состоянием. Опирающие ванты на пилон — седловидные, то есть в верхней части пилон имеет устройство перегиба вант. Вантовая ферма состоит из восьми вант, не лежащих, по архитектурным соображениям, в одной плоскости. Общий расход вант на мост составляет 129 т. Расход металла на квадратный метр пролетного строения составляет 230 кг/м<sup>2</sup>.

Мостовой переход через реки Старая и Новая Преголя также имеет в своем составе участок, запроектированный по системе “extra dosed” по схеме 2x(50,5+3x110+50,5) м (рис. 4). Мост имеет габарит Г(13,0+C+13,0) с разделительной полосой С=4,5 м, при этом габариты проездов в обоих направлениях равны 13 м и включают в себя по три полосы движения (рис. 5). На мосту предусмотрены пешеходные проходы по 3,5 м с каждой стороны моста (рис. 6). Пролетное строение представляет собой монолитную преднапряженную железобетонную плиту с переменной высотой, увеличивающейся от 800 мм в середине пролета до 1800 мм в опорном сечении, с втулками для размещения узлов крепления вант. Пилон объединен с пролетным строением и образует раму, таким образом температурные перемещения реализуются за счет гибкости опор. В поперечном направлении пилон представляет собой три

стойки высотой порядка 11,0 м. Пролетное строение поддерживается тремя плоскостями вантовых ферм, состоящих из 8 вант каждая. Узлы крепления вант расположены как на балке, так и на пилоне. Общий расход вант на мост составляет 420 т. Расход бетона на квадратный метр моста составляет 0,8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

Применение высокопрочных элементов, вант, в мостах арочной системы возможно в элементах подвесок. Можно выделить несколько отличительных особенностей арочного пролетного строения с «гибкими» высокопрочными подвесками, которые, безусловно, являются его достоинствами:

- 1) повышенные архитектурные свойства сооружения;
- 2) значительная экономия металла пролетного строения за счет:
  - а) применения железобетонной плиты проезжей части, включенной в совместную работу;
  - б) применения вместо жестких подвесок высокопрочных подвесок с расчетным сопротивлением в 5 и более раз выше, нежели у металла основных конструкций;
  - 3) возможность регулирования усилий в железобетонной плите проезжей части путем натяжения или «отпуска» высокопрочных подвесок и, как следствие, возможность применения железобетона в затяжках арочных пролетных строений, работающих на растяжение;
  - 4) применение в подвесках высокопрочных прядей позволяет получить требуемую геометрию мостового со-

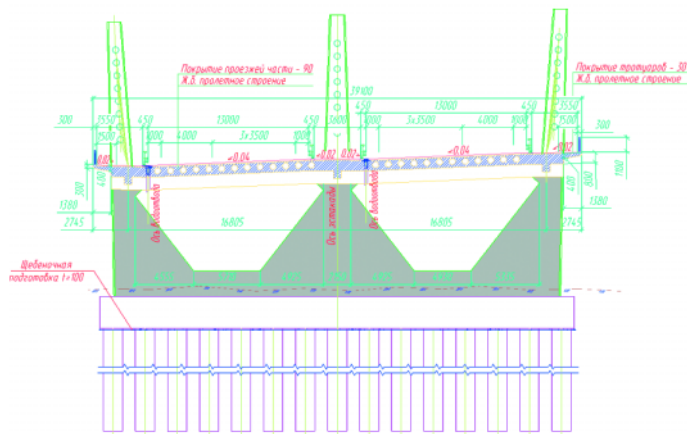


Рис. 5. Поперечное сечение эстакады в г. Калининграде



Рис. 6. Модель эстакады в г. Калининграде

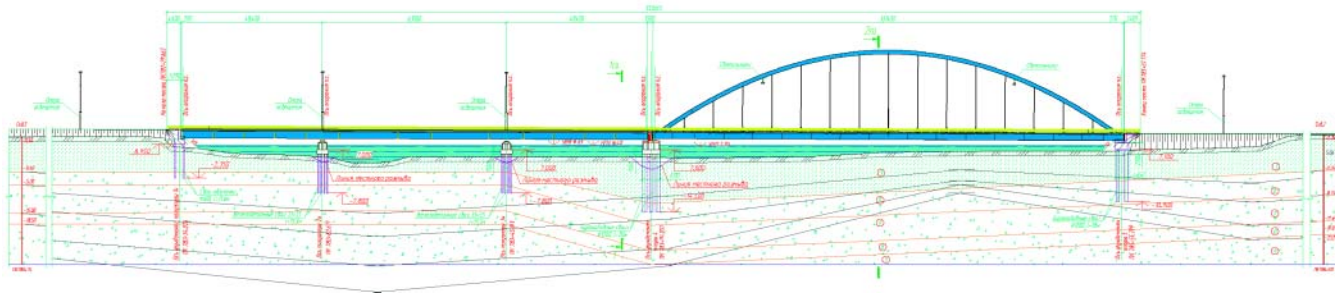


Рис. 7. Общий вид моста через р. Б. Охта в С.-Петербурге

оружения за счет их подтяжки или ослабления;

5) применение высокопрочных гибких подвесок позволяет на стадии эксплуатации решать проблемы, связанные как с заменой самих подвесок, так и, в случае необходимости, с заменой проезжей части;

6) преимущества работы конструкции на выносимость по сравнению с жесткими подвесками, что особенно важно при проектировании пролетных строений железнодорожных мостов;

7) возможность включения демпфирующих устройств в элементы подвесок, позволяющая решить проблемы вибрации подвесок под действием ветровых воздействий и подвижного состава, что актуально для железнодорожных мостов.

В настоящее время завершены два мостовых перехода с арочными пролетными строениями с высокопрочными «гибкими» вантовыми подвесками.

Один из них — мост через р. Б. Охта на КАД. Генеральным подрядчиком по строительству мостового перехода яв-

ляется ОАО «Мостострой № 6». В составе мостового перехода располагается арочное пролетное строение расчетным пролетом 160,0 м (рис. 7). Конструкция арочного пролетного строения представляет собой комбинированную систему «жесткая арка с гибкой затяжкой» (рис. 8). В поперечном сечении арочное пролетное строение предназначено для пропуска четырех полос движения с шириной проезжей части 19,0 м, включая полосы безопасности, при общей ширине проезжей части мостового полотна первой очереди 27,16 м. Величина пролета в 160,0 м определена из условия безопасного пропуска двух ниток нефтепродуктопроводов, пересекающих трассу КАД по дну русла реки Б. Охта под углом 350°. Кроме того, технология сооружения данного пролетного строения должна была обеспечить безопасное функционирование этих продуктопроводов.

Основными несущими элементами конструкции являются две коробчатые параболические арки, имеющие небольшой наклон к центру проезжей части. Арки для обеспечения простран-

ственной устойчивости объединены между собой шестью коробчатыми попарно сгруппированными связями (распорками). Наклон арок задан таким образом, чтобы при сохранении необходимых габаритов проезда по мосту максимально сократить длины межарочных распорок. Наклон арок и кривая в плане повлияли на ширину проезжей части арочного пролетного строения, что привело к ее расширению с 22,12 м на левобережном сталежелезобетонном пролетном строении до 27,12 м на арочном.

Арки с помощью гибких подвесок поддерживают сталежелезобетонную проезжую часть, которая представляет собой металлическую балочную клетку с уложенной поверх нее железобетонной плитой проезжей части, включенной в совместную работу.

Плита проезжей части имеет толщину 240 мм и бетонируется в металлической опалубке, включенной в совместную работу конструкции. Расход арматуры в плите при этом составляет всего 225 кг/м<sup>2</sup>.

Распор, возникающий в арках, воспринимается затяжкой, в том числе и железобетонной плитой проезжей части. Передача распора на ж/б плиту проезжей части стала возможна благодаря частичному предварительному ее обжатю с помощью удлинения гибких подвесок на одной из стадий строительства моста. Подвески имеют шаг вдоль оси моста 10 м. Общее количество подвесок — 30 шт., длиной от 4,8 м (у опорного сечения) до 27,0 м (в замковом сечении). Общий вес подвесок составляет 13,5 т.

Применение железобетонной плиты проезжей части, включенной в совместную работу, позволило значительно сократить расход металла. Общий вес металлоконструкций арочного пролетного строения составил 1460 т (при расчетном пролете 160 м), что соответствует расходу металла в 340 кг/м<sup>2</sup>. У отечественных аналогов расход металла на квадратный метр пролетного строения при использовании металлической ортотропной плиты проезжей



Рис. 8. Общий вид моста через реку Б.Охта

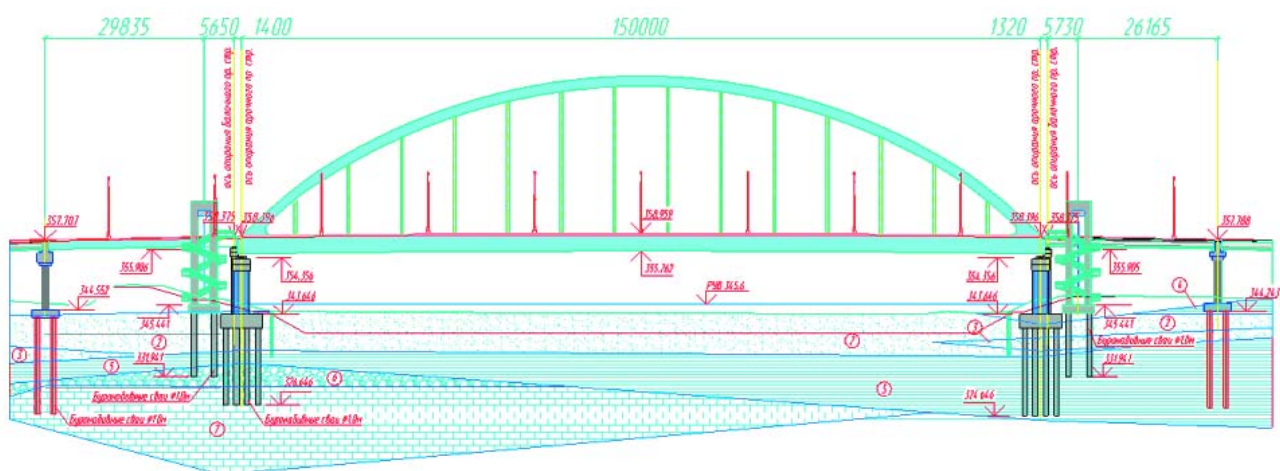


Рис. 9. Общий вид моста через р. Ишим в г. Астане

части составляет более 550 кг/м<sup>2</sup>, что в масштабах пролетного строения вылилось бы в дополнительную тысячу тонн металла.

Арочное пролетное строение с подвесками в виде «гибких» вантовых элементов на мосту М1 через р. Ишим в г. Астане (Казахстан) обусловлено не необходимостью перекрыть определенный пролет и не технологическими причинами, а эстетическими соображениями (рис. 9, 10). Трасса, на которой расположен мостовой переход М1, ведет к президентскому дворцу. В тендере победило архитектурное решение арочного пролетного строения с расчетным пролетом 150,0 м.

Подрядчиком по монтажу арочного пролетного строения являлся НПО «Мостовик». Мостовой переход предназначен для пропуска 8 полос движения, и поскольку его строительство производилось в одну стадию, было принято решение о строительстве единого пролетного строения. Ширина пролетного строения составляет 49,5 м,

при этом ширина проезжей части — 32,8 м. Кроме того, на мосту предусмотрены тротуары по 3,5 м шириной с каждой стороны (рис. 11). В поперечном сечении расположены две спаренные металлические арки с затяжками, объединенные в уровне затяжки системой высоких и низких поперечных балок проезжей части. Спаренные арки объединены между собой системой трубчатых распорок для обеспечения устойчивости положения из плоскости. Арки с помощью гибких высокопрочных подвесок поддерживают сталежелезобетонную проезжую часть. Железобетонная плита проезжей части включена в совместную работу с высокими поперечными балками посредством полосовых упоров типа «concrete dowels» и частично выключена из совместной работы с затяжкой на растяжение. Распор частично передается на ж/б плиту через мощные домкратные балки. Общий расход металла на пролетное строение составил 2600 т, что составляет 350 кг/м<sup>2</sup>. Расход высоко-

прочных прядей составил 16,6 т.

В настоящее время закончена разработка проекта обоснования инвестиций по строительству совмещенного мостового перехода под однопутную железную и автомобильную дорогу на ж/д трассе Сургут — Салехард. Были оформлены предложения по арочному пролетному строению расчетным пролетом 308 м. Конструкция представляет собой комбинированную систему «арка с затяжкой в виде фермы» с ездой на двух уровнях: в верхнем уровне — автопроезд, в нижнем — однопутная ж/д. Проезжая часть автопроезда — сталежелезобетонная, где также производится регулирование усилий в плите за счет системы гибких подвесок. Расход металла на 1 пог. м длины арки составляет порядка 10 т, расход гибких высокопрочных подвесок 45 т.

Применение вантовых систем в мостах дает большие возможности проектировщикам и строителям решать новые инженерные задачи на современном техническом уровне.



Рис. 10. Фасад арочного пролетного строения моста в г. Астане



Рис. 11. Поперечное сечение арочного пролетного строения моста в г. Астане