



АС'05



АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО – 2005 ARCHITEKTUR UND BAUWESEN – 2005

I Международный научно-практический семинар
I Internationales wissenschaftlich-praktisches Seminar

ДЕКОРАТИВНЫЙ ПЕШЕХОДНЫЙ МОСТ

Пастушков Г.П., Пастушков В.Г. (БНТУ), Дубатовка И.П. (ОДО «Моноракурс»)

Пешеходные мосты и путепроводы предназначены для пропуска пешеходного движения и составляют особую группу мостовых сооружений. Часто пешеходные мосты служат декоративными сооружениями в городских парках, на территориях выставок и т.д. Такие сооружения должны отвечать высоким архитектурным требованиям, хорошо вписываться в окружающую среду.

Ширина пешеходного моста определяется интенсивностью движения в каждом направлении. В отличие от других мостов пешеходные могут иметь значительные продольные уклоны, достигающие 6 % в основной своей части и 12–16% на подходах, выполненных в виде лестниц.

По статической схеме пешеходные мосты весьма разнообразны. Достаточно часто применяют балочно-разрезную, балочно-неразрезную, арочную или рамную системы. При больших пролетах пешеходные мосты выполняют вантовой или висячей системы. В РБ пешеходные мосты висячей системы применяются и для перекрытия малых и средних пролетов (рис.1–2). Особенно интересны по своей схеме и экономичности пешеходные мосты в виде гибкой ленты.

Расчет пешеходных мостов принципиально не отличается от расчета мостовых сооружений других видов.

Нагрузками на пешеходные мосты являются собственный вес конструкций, равномерно-распределенная нагрузка от толпы и другие воздействия.

В пешеходных мостах применяют все основные виды строительных материалов: дерево, железобетон, сталь и алюминий. Однако наибольшее распространение имеют железобетонные пешеходные мосты как с напрягаемой, так и ненапрягаемой арматурой.

Конкурсный проект рассматриваемого пешеходного моста является декоративным сооружением в городском парке общегородского значения в г. Минске.

При вариантном проектировании рассмотрены три различных конструктивных решения рассматриваемого пешеходного моста: в виде гибкой ленты; арочного моста и комбинированного вантово-канатного моста.

Идея пешеходных мостов в виде гибкой ленты впервые зародилась в Германии и широко используется в строительной практике (рис. 3). Пешеходные мосты в виде гибкой железобетонной ленты имеют малую строительную высоту пролетного строения (в осуществленных проектах составляет менее $1/200 L$). Гибкая лента одновременно выполняет функции несущего кабеля и элемента жесткости. Устой железобетонных пешеходных мостов в виде гибкой ленты подвержены действию горизонтального распора, направленного в сторону пролета. Для его восприятия необходимо устройство анкерных опор.

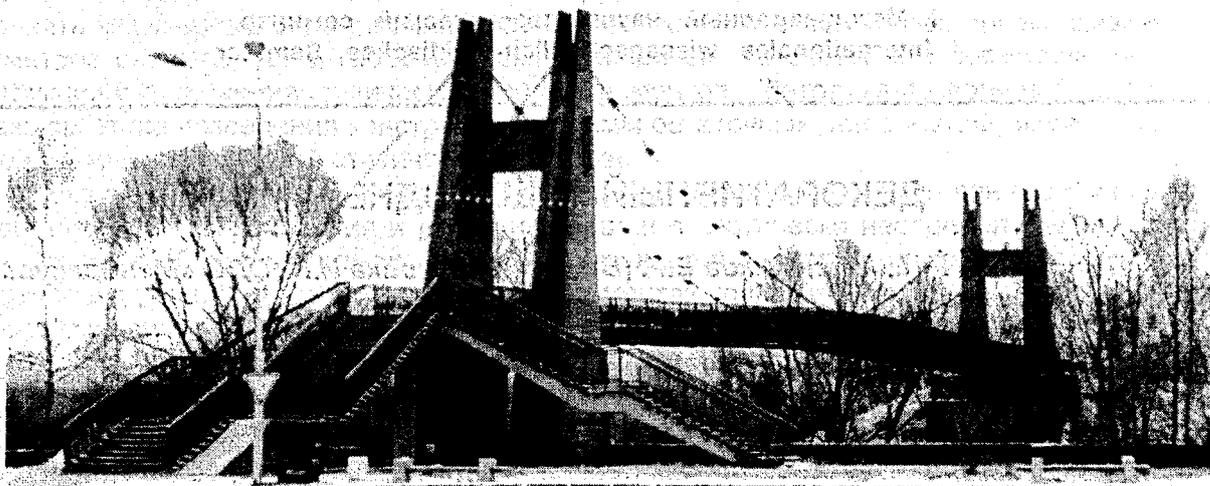


Рисунок 1

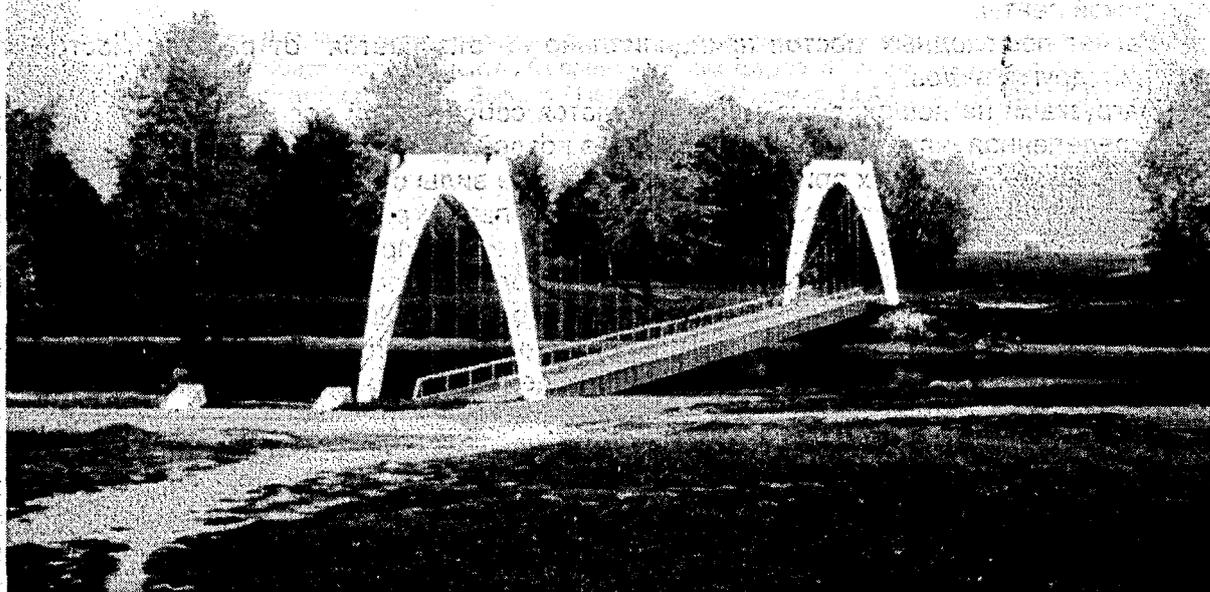


Рисунок 2

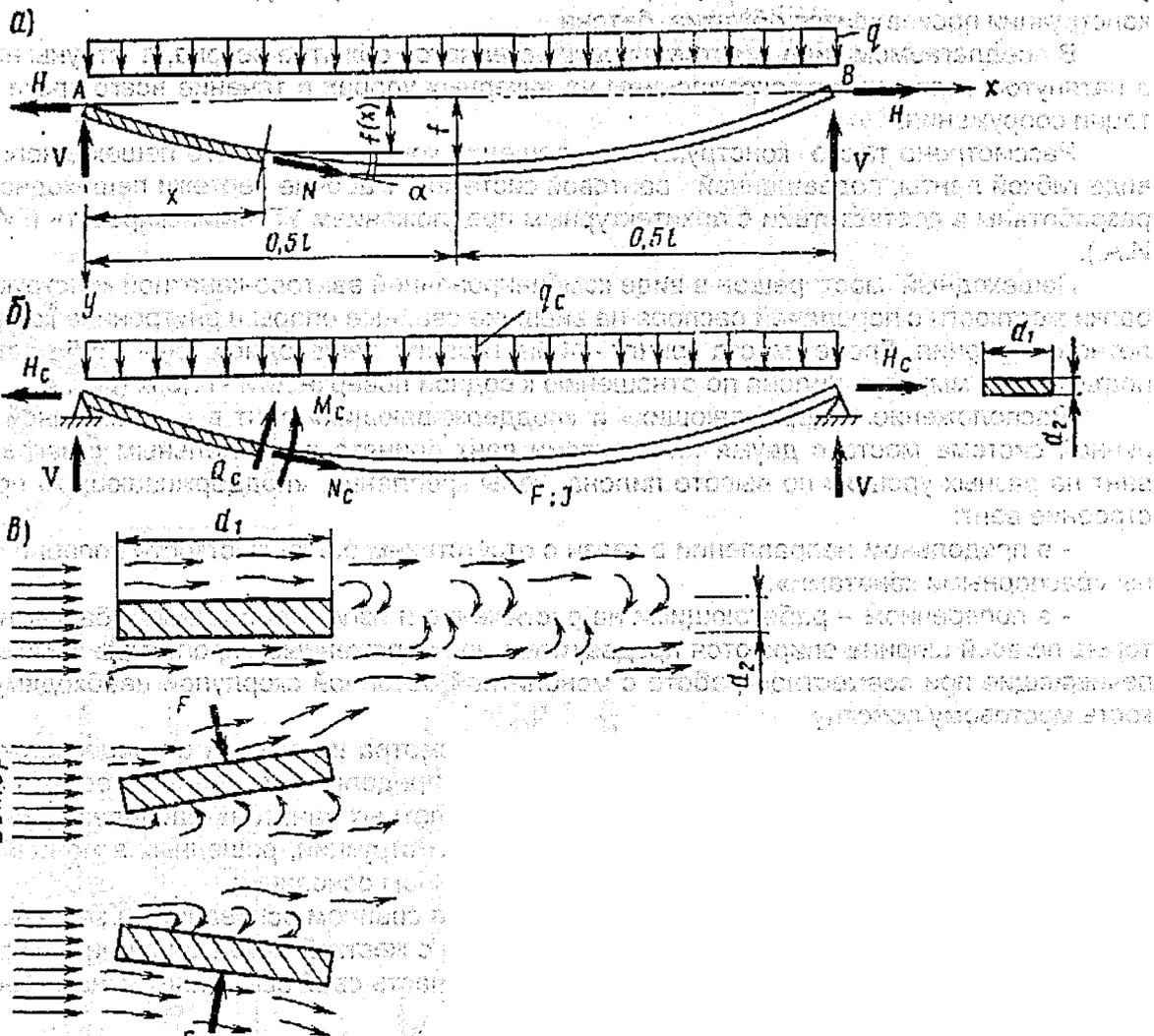


Рисунок 3 – Схемы к расчету гибкой ленты [4]

Дальнейшим развитием струнных мостов явилось создание струнной транспортной системы (СТС) по предложению А.Э Юницкого, и с января 1999 г. в России разрабатывается проект Центра ООН по населенным пунктам (Хабитат) FS-RUS-98-S01: «Устойчивое развитие населенных пунктов и улучшение их коммуникационной инфраструктуры с использованием струнной транспортной структуры».

СТС представляет собой предварительно напряженную канатно-балочную конструкцию, по которой движутся специальные электромодули. Основу путевой структуры составляют струны из пучков высокопрочной проволоки и размещенные с провесом внутри пустотелого рельса. Провесы струны легко спрятать внутри рельса.

Пролеты, превышающие 100 м, должны поддерживаться специальной несущей структурой, например, могут быть выполнены по типу висячих и вантовых мостов.

Максимальные горизонтальные нагрузки на всей трассе испытывают только две концевые анкерные опоры, промежуточные опоры воспринимают, как правило, только вертикальную нагрузку.

Интересно решение пешеходного моста, комбинированного типа, когда плита в виде гибкой ленты подвешена к арочной конструкции. В этом случае можно существенно разгрузить анкерные опоры моста из-за снижения возникающего распора и передачи его на пролетное строение, играющего роль затяжки.

Предлагаемые в данной работе конструкции струнных пешеходных мостов в виде гибкой ленты существенно отличаются от применяемых предварительно напряженных мостов,

у которых осуществляется предварительно натяжение арматуры и после бетонирования конструкции производится обжатие бетона.

В предлагаемом типе мостов не осуществляется обжатие бетона, а струны находятся в натянутом состоянии с закреплением на анкерных упорах в течение всего срока эксплуатации сооружения.

Рассмотрено также конструктивное решение комбинированного пешеходного моста в виде гибкой ленты, подвешенной вантовой системой. Рабочие чертежи пешеходного моста разработаны в соответствии с архитектурным предложением УП «Минскпроект» (ГИП Зенов И.А.).

Пешеходный мост решен в виде комбинированной вантово-канатной конструкции без балки жесткости с передачей распора на внешние свайные опоры и внутренние канаты пролетного строения. Пролет моста принят -44,5 м; габарит пешеходной зоны - 5,5 м; стрела подъема 940 мм; верх пилона по отношению к водной поверхности -11,5 м (рис. 4).

Расположение «удерживающих» и «поддерживающих» вант в двухпилонной симметричной системе моста с двумя плоскостями вант принято параллельным с закреплением вант на разных уровнях по высоте пилона. Узлы крепления, «поддерживающих» пролетное строение вант:

- в продольном направлении в связи с отсутствием балки жесткости попарно соединены «распорными канатами»;

- в поперечном – работающими на растяжение и изгиб «пролетными балками», на которые по всей ширине опираются предварительно напряженные «пролетные канаты», обеспечивающие при совместной работе с монолитной бетонной скорлупой необходимую жесткость мостовому полотну.

Для обеспечения доступа для визуального осмотра и ремонта в процессе эксплуатации все анкерные крепления канатов выполнены в пределах пролетного строения открытыми, концевые упоры «удерживающих вант» и «пролетных канатов» располагаются в помещениях» (доступных для обслуживания) опорных конструкций, решенных в монолитном варианте в виде фундамента коробчатого типа на свайном основании.

Фундаменты под опоры моста устраиваются на свайном основании из забивных железобетонных свай сечением 300х300 мм длиной 12 м с жесткой заделкой в плитный ростверк. Для восприятия горизонтальных распорных усилий часть свай выполняется наклонными под углом 20° к вертикали.

Пилоны сооружения решены в виде пространственной металлической решетчатой конструкции из металлических труб с шарнирным примыканием к ним вант и пилонной распорки и шарнирной установкой в стакан фундамента.

Гибкий канат как элемент строительной конструкции может быть использован в полной мере только после создания предварительного напряжения. Значение такого предварительного напряжения устанавливалось расчетом.

Перемещения гибкого элемента включают перемещения без изменения или с незначительным изменением напряженного состояния (т.е. кинематическую составляющую) и перемещения, получаемые при изменении напряженного состояния каната (т.е. упругую составляющую).

В качестве несущих гибких элементов (ванты, канаты) возможно использовать троса немецкой компании DSI (DYWIDAG – SYSTEMS INTERNATIONAL), имеющие сертификат Российской Федерации; диаметр тросов -13,8..14,0 мм; площадь поперечного сечения – 150 мм²; допускаемое усилие - 186 кН (18,6 тс). Канаты поставляются предварительно вытянутыми со стабилизированным модулем упругости ($E = 1,9 \cdot 10^5$ МПа) с антикоррозионным покрытием в обсадных защитных трубах с готовыми анкерными зажимами и устройствами (домкратами двойного действия) для их натяжения.

Могут быть использованы и материалы, применяемые в мостостроении РБ.

Исходный материал для формирования канатов – высокопрочная стальная проволока диаметром 2,5..7 мм с пределом прочности 1000..1800 МПа. В процессе производства проволоку подвергают термической и холодной (воложение) обработке, что придает ей высокие механические свойства. Одновременно на проволоку наносят антикоррозионное покрытие, чаще всего цинковое.

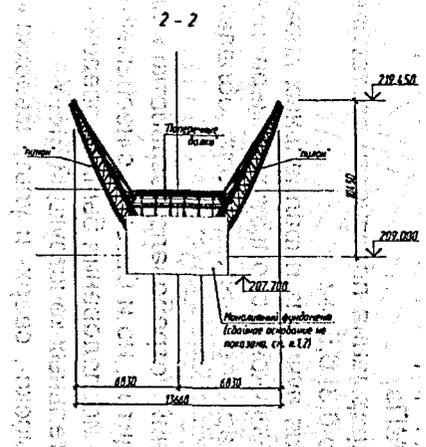
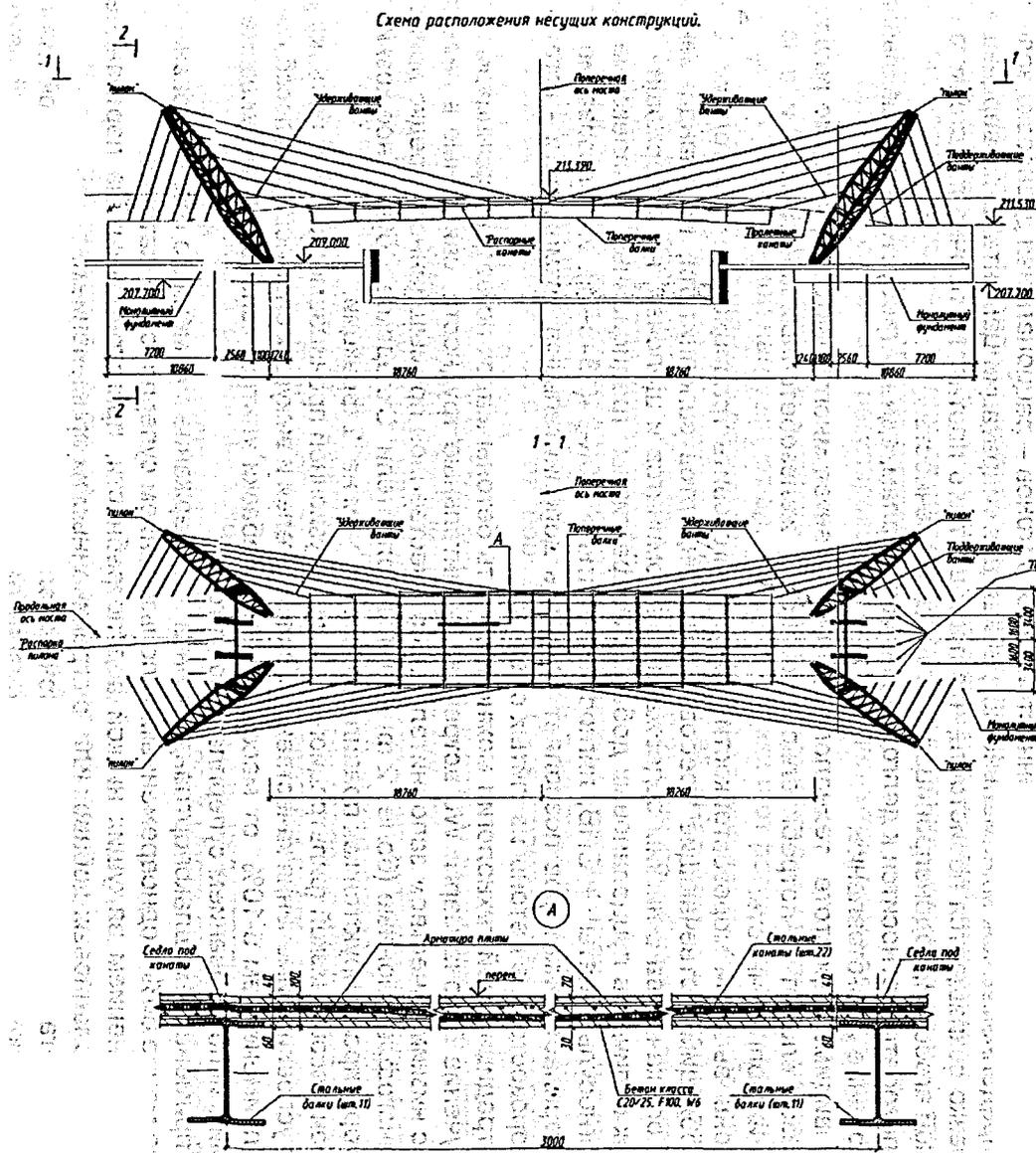


Рисунок 4

Промышленность РФ выпускает витые спиральные канаты одинарной свивки, образованные из проволок, оси которых имеют в пространстве форму простой спирали, навитой вокруг центральной проволоки. Выпускаются в соответствии с ГОСТ 3062-80, 3063-80, 3064-80, максимальный диаметр 27 мм, $E_k = (1,5..1,7)10^5$ МПа. Вследствие малого диаметра они имеют невысокую несущую способность до 960 кН.

Для увеличения E_k канаты всех типов предварительно вытягивают на стенде усилием 50-60 % от разрывного, чтобы за счет снятия неупругих деформаций, уплотнения прядей эта величина стабилизировалась на уровне $(1,75..1,85)10^5$ МПа.

Для невытянутых канатов полная относительная деформация ползучести составляет 1,5-2,0 мм на 1 м, а для вытянутых канатов уменьшается до 0,3..0,5 мм

В отечественном мостостроении широко используются пучки из параллельных проволок класса В-II или прядей класса К-7. Для анкеровки пучков используют анкера типа Фрейссине. За счет отсутствия раскручивания кабели из параллельных проволок обладают высокой продольной жесткостью (E_k достигает $2 \cdot 10^5$ МПа).

Строительство сложных струнных мостовых сооружений потребовало разработки и исследований не только самих струн с соответствующей защитой, но и бетонов с необычайно высокими физико-механическими характеристиками. Такие исследования были проведены в отраслевой научно-исследовательской лаборатории строительных конструкций БНТУ.

В практике строительства начала 21 в. появились высоко-, сверх- и ультрасверхкачественные бетоны, для которых помимо прочности все больше внимания уделяется и другим важным конструктивно-технологическим характеристикам свойств бетонов (показателям долговечности, удобоукладываемости, плотности и т.д.).

Одна из определяющих особенностей таких бетонов – рациональная дозировка воды и смеси, определяемая как минимально необходимая для гидратации цемента. В затвердевшем бетоне резко сокращается пористость, что повышает его плотность, прочность, стойкость к химической агрессии, водонепроницаемость и долговечность.

Железобетон относится к долговечным материалам, однако требуется его правильное проектирование и изготовление.

При видимой простоте технологии бетона имеется много факторов, которые решающим образом влияют на потребительские свойства железобетонных конструкций и, в частности, на их долговечность.

Бетоны высокой морозостойкости можно приготовить традиционными методами. Для этого необходимы отвечающие требованиям стандартов заполнители, портландцементы нормального качества с низким содержанием алюминатов и щелочей, не содержащие повышенных количеств пуццолановых добавок. Эффективны традиционные комплексные добавки: лигносульфонаты + СНВ, лигносульфонаты + ГЖК-94(1346-41). Использование добавок-суперпластификаторов позволяет получить дополнительные возможности - изготавливать морозостойкие бетоны из литых смесей.

По традиционной технологии можно получать бетоны марок по водонепроницаемости W6. Получение бетона марки W8 встречает значительные трудности, связанные в первую очередь с низким качеством заполнителей. В отечественной промышленности редко применяются многофракционные (более 2 фракций) заполнители. Складское и бункерное хозяйство, дозаторы проектируются как правило, не более, чем на 2 фракции.

Бетоны особо низкой фильтрационной и диффузионной проницаемости могут быть получены при условии применения качественных заполнителей и вяжущих следующими способами:

- с применением 8-10% от массы цемента добавки ультрадисперсного кремнезема в сочетании с использованием суперпластификаторов;
- с применением шлакопортландцемента с содержанием доменного гранулированного шлака не менее 60% с одновременным использованием суперпластификаторов;
- с применением вяжущих низкой водопотребности, приготовленных на портландцементе без пуццолановых добавок или с ограниченным их применением.

Для расчета применялся метод конечных элементов, как обладающий большой гибкостью и позволяющий получать решения практически для любых конструкций. Данный метод решает и специальные вопросы: распределение напряжений в местах анкеровки вант, развитие трещин в железобетонных элементах и т.д. Расчетная схема моста приведена на рис. 5.

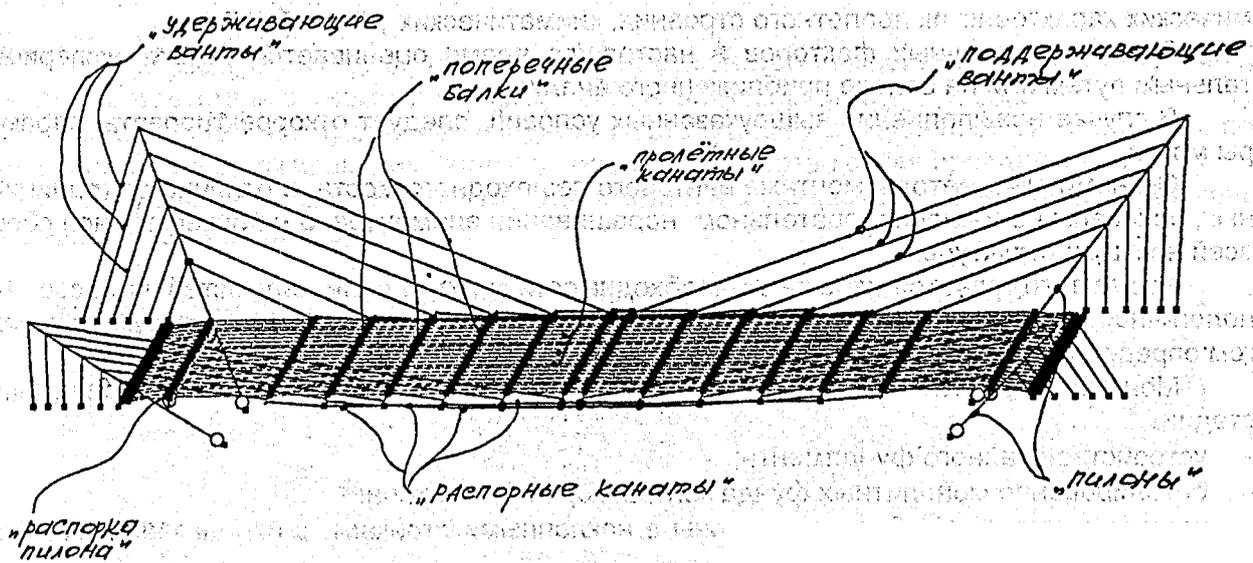


Рисунок 5

Регулирование усилий производится, как правило, во время монтажа или перед началом эксплуатации моста. Под термином регулирование усилий понимается совокупность мероприятий, обеспечивающих оптимальное распределение усилий в элементах моста и проектное положение пролетного строения.

Основным способом регулирования усилий является предварительное натяжение вант.

Окончательные значения усилий в элементах моста складываются из трех составляющих: от постоянной нагрузки, от временной нагрузки и от регулирования усилий.

Статические и динамические расчеты выполнены в соответствии с требованиями глав СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы», СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» по программному комплексу «Лири – Windows» (версия 9.2) с учетом физической и геометрической нелинейности работы мостовой конструкции.

Выполненные динамические расчеты по принятым конструктивным решениям показали, что расчетные периоды собственных колебаний в нагруженном состоянии по двум нижшим формам составили 0,82 с (1-ая форма), 0,74 с (2-ая форма) и лежат в допустимых пределах (п. 1.48* СНиП 2.05.03-84*).

В обычных конструкциях мостов динамическая и ветровая нагрузка не играют той важной роли, которая имеет место в висячих и вантовых мостах.

Даже при равномерном обтекании пролетного строения потоком воздуха могут возникнуть вынужденные колебания из-за образования вихревого следа («дорожки Кармана»). Вихри Кармана формируются поочередно за обтекаемым телом с разных сторон по ходу потока, вызывая вибрацию пролетного строения в направлении перпендикулярном потоку (см. рис. 3).

Методы расчета аэродинамической устойчивости еще недостаточно разработаны.

Упрощенный расчет аэродинамической устойчивости моста состоит в проверке условия:

$$V_{кр} > 1,5 V_p$$

где $V_{кр}$ – критическая скорость ветра для конкретного пролетного строения, при которой возникает одно из аэроупругих явлений;

V_p – расчетная скорость ветра для заданного района строительства.

Определение критической скорости для вантовых мостов - достаточно сложная задача, так как $V_{кр}$ зависит от многих факторов: от формы и размеров конструкции, ее массы, динамических характеристик пролетного строения, климатических условий и т.д.

Влияние отдельных факторов в настоящее время оценивается только экспериментальным путем или на основе приближенного анализа.

В случае невыполнения вышеуказанных условий следует откорректировать параметры моста.

Экономичные методы монтажа вантового пешеходного моста в отличие от традиционных, основаны не на последовательном наращивании элементов, а на интегральной сборке всей несущей структуры.

Кроме того, удастся избежать необходимости применения подмостей и лесов. Технологичность и экономичность предварительно напряженных канатных конструкций во многом определяется качеством выполнения технологии монтажа.

Монтаж предлагаемой предварительно напряженной системы включает следующие стадии:

- устройство свайного фундамента;
 - бетонирование монолитных фундаментов коробчатого типа;
 - устанавливаются Н-образные пилоны с наклонными стойками с использованием вспомогательной такелажной оснастки;
 - устанавливаются продольные пролетные канаты и поднимаются в проектное положение;
 - на канаты подвешиваются поперечные стальные балки с соответствующими проекту расстояниями или производится монтаж подвижной поперечных балок;
 - устанавливаются распорные канаты;
 - к поперечным балкам прикрепляются поддерживающие ванты;
 - производится натяжение вант и пролетное строение поднимается на отметку, предусмотренную проектом;
 - на поперечные балки устанавливается несущая несъемная опалубка или профилированный настил;
 - укладывается обычная ненапрягаемая арматура;
 - производится укладка монолитного бетона.
- После набора 80%-проектной прочности бетона производится гидрозащита пролетного строения и обустройство моста.

На всех этапах технологического процесса контролируются геометрические параметры сооружения.

Покрытие проезжей части в проекте принято многослойным, включающим 1 слой гидроизоляции, защитный слой из армированного бетона (толщиной 40 мм, не ниже W6), покрытие - бетонная плитка по слою сухой 12% цементно-песчаной смеси.

Для пролетного строения значения растягивающих напряжений в уровне верха бетонной плиты могут существенно превышать расчетные сопротивления бетона растяжению, и гидроизоляция при совместной работе с пролетным строением воспринимает значительные растягивающие напряжения.

В случае возможности образования трещин в плитной части требуется устройство специальной гидрозащиты пролетного строения. Не рекомендуется применение обмазочной или пропиточной гидроизоляции. В этом случае следует применить гидрозащиту, основанную на широком использовании геосинтетиков. В зависимости от технологии строительства сооружения, а также особых эксплуатационных требований рекомендовано использовать геосинтетики - полиэтиленовые (VFPE- из высокоэластичного полиэтилена), имеющие высокую прочность при разрыве не менее 30 МПа и удлинение не менее 700%.

Антикоррозионные мероприятия предусматривают защиту всех закладных, несущих и крепежных элементов металлическими и лакокрасочными покрытиями в соответствии со СНиП 2.03.11-85.

Следует особо подчеркнуть еще одну особенность работы струнных мостов в отличие от обычно применяемых.

При $F < 0,01 R$ напряженно-деформированное состояние конструкций отличаются друг от друга на значения, не превышающие 1%, поэтому и долговечность предлагаемой системы будет повышенной.

Использование системы поддерживающих канатов позволяет расположить гибкую ленту в соответствии с геометрическими требованиями проекта.

Применение конструкции пешеходного моста в виде вспарушенной гибкой ленты, подвешенной на поддерживающих вантах, позволило создать комбинированную систему мостового сооружения со значительными пролетами и необходимой стабилизацией всей конструктивной системы (рис. 6, 7).

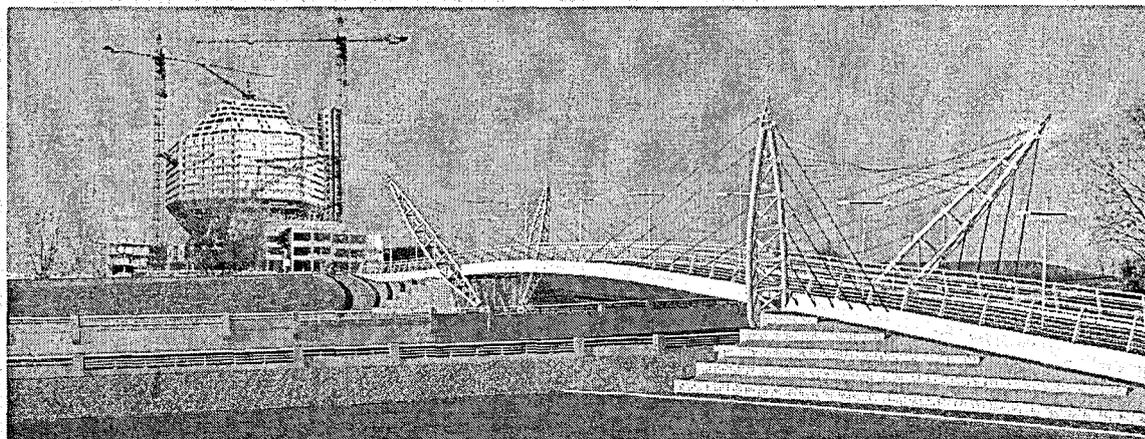


Рисунок 6

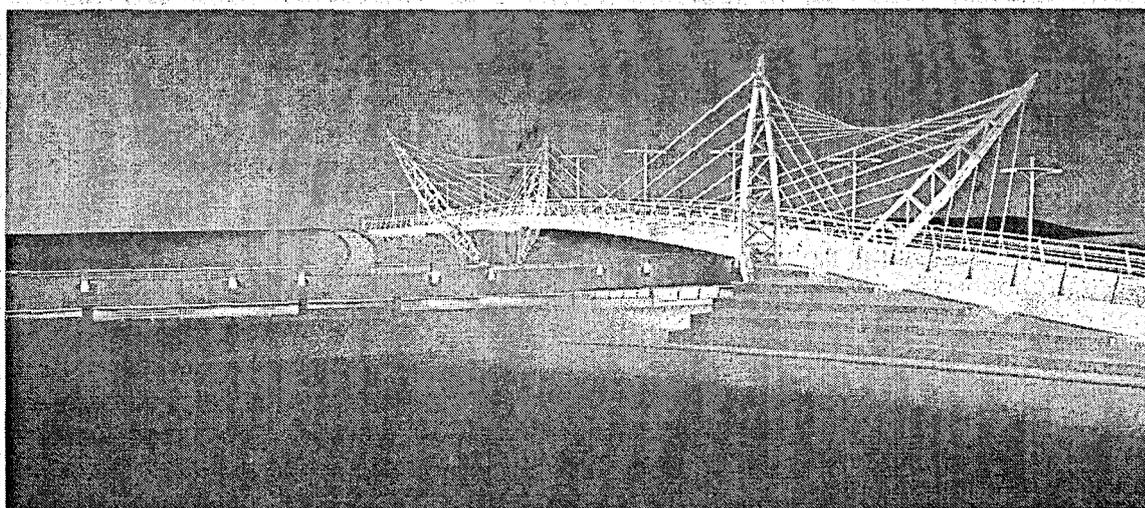


Рисунок 7

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы/ Минстрой России. – М.; ГП ЦПП, 1996.- 214с
2. Автомобильные дороги Беларуси: Энциклопедия/ Коллектив авторов; Под общ. ред. А.В. Минина. - Мн.: БелЭн, 2002. -672 с.
3. Вантовые мосты / под ред.А.А. Петропавловского. – М.:Транспорт,1985.-224с.
4. Гибшман М.Е., Попов В.И. Проектирование транспортных сооружений. –М.: Транспорт, 1988,447 с.
5. Юницкий А.Э. Создание струнной транспортной системы (СТС) «Париж-Москва»./Материалы международной конференции по развитию коммуникационной системы «Париж-Берлин-Варшава-Минск-Москва» -Минск, 1998, с.81-84.
6. G.Pastushkov, V.Pastushkov. Durability of reinforced concrete bridges - the major problem of road branch: Proceedings of the International Conference "Construction and Architecture"/ Edited by Khroustaliyev B.M. and Leonovich S.N.- Minsk, 2003, pp.322-332.