

ПРИЧИНЫ ГЛОБАЛЬНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ ВАНТОВЫХ МОСТОВ

В статье рассматриваются основные причины отказов вантовых мостов по нескольким направлениям: физическим, математическим и технологическим. Дана оценка этих направлений. Описаны самые существенные недостатки вантовых мостов больших пролетов. Обсуждается понятие области их рационального применения. Уделено внимание актуальной проблеме стабилизации вантовых мостов больших пролетов в ветровом потоке.

Ключевые слова: вантовые мосты, висячие мосты, несущая способность вант, отказ, вибрация, дискомфорт, стабилизация

Современные тенденции строительства вантовых мостов больших и сверхбольших (свыше 900 м) длин русловых пролётов содержит в себе серьёзные вызовы в обеспечении их надёжности и достоверности, а также основных потребительских качеств этих транспортных сооружений.

Применение вантовых мостов больших пролётов противоречит философии существования понятия «области рационального применения» для различных типов мостов не только по назначению, материалу, виду, размеру, но и по статическим схемам. Как следствие лишены смысла фундаментальные основы технико-экономических обоснований, а принятие соответствующих условий переходит исключительно в директивную область.

Самыми существенными недостатками вантовых мостов больших пролётов, за пределами области их рационального применения, являются:

1. большая чувствительность к неравномерным осадкам опор, в том числе боковых пролётов, для некоторых типов расчётных схем;
2. необходимость увеличивать высоту пилонов для увеличения доли несущей способности вант с целью повышения изгибной и крутильной жесткости пролётного строения, что непременно приводит к возрастанию напряжённо-деформированного состояния пилонов в поле ветровых воздействий;
3. низкая эффективность использования несущей способности вант, особенно по мере возрастания их длины и, соответственно, уменьшения угла их наклона.

Например, для самых длинных (до 580 м) и, к тому же самых тяжёлых (до 80 т) вант вантово-балочного моста через пролив Босфор Восточный на остров Русский в г. Владивостоке с рекордной (по состоянию на начало XXI века) длиной руслового пролёта 1104 м распределение усилий между вертикальным и продольным

компонентами, подчиняющееся «закону синуса», при высоте пилонов 320 м составляет 20 % и, соответственно 80 %.

Следовательно, менее 20 % несущей способности самых длинных вант обеспечивают вертикальную (и крутильную) жесткость вантового моста. Эту оценку можно считать завышенной, поскольку фактический угол наклона вант в нижней точке их крепления к несущим конструкциям пролётного строения ещё меньше за счёт значительного провисания.

При этом особого внимания заслуживает учёт в расчётах напряжённо-деформированного состояния пролётного строения нарастающие к середине пролёта вантового моста значения продольного компонента усилий в вантах, передающегося в виде распора и накапливающегося в зонах пилонов.

Перечисленные выше факторы позволяют априорно утверждать, что большие и сверхбольшие длины пролетов – это область рационального применения висячих мостов благодаря возможности максимального использования несущей способности растянутых гибких элементов – каналов и подвесок.

Главные причины глобальных и локальных отказов вантовых мостов больших пролётов можно условно классифицировать по нескольким направлениям:

- физические;
- математические (расчётные);
- технологические.

К физическим причинам, характерным отчасти и для других статических схем мостов, следует отнести:

- недостаточные знания о реальных физико-механических свойствах реальных нагрузок и воздействий статического, динамического, кинематического происхождения, обладающих как потенциальной, так и кинетической энергией;

– отсутствие обоснованной обеспеченности перечисленных выше нагрузок и воздействий;

– отсутствие качественного и количественного аналога реальных энергетических спектров природно-климатических воздействий в створе мостового перехода с учётом реальной орографии местности;

– недостаточную достоверность идеализации сооружения и, как следствие, адекватность расчётной модели реальному сооружению с точки зрения статической, динамической работы и устойчивости в пространстве действующих нагрузок и воздействий;

– несоответствие принятой статической схемы (по современной классификации – вантово-балочной) области её рационального применения с точки зрения максимальной эффективности несущей способности основных элементов сооружения (балки жесткости, пилонов, вант) в силу действия «закона синуса» для вант максимальной длины.

К математическим (расчётным) причинам можно отнести недостоверность математической модели расчёта вантовых мостов на ветровые воздействия вследствие безнадежно устаревших Строительных Норм и Правил «Нагрузки и воздействия» в ряде стран и, в первую очередь, в РФ в части учёта:

– неравномерности профилей ветрового потока вдоль продольной оси моста и по высоте пилонов вследствие большой длины пролёта и большой высоты пилонов при реальных орографических условиях створа и окрестностей мостового перехода;

– пространственного воздействия ветрового потока произвольного направления на сооружение;

– пространственных, преимущественно связанных динамических реакций сооружения в целом и его отдельных элементов (балки жесткости, пилонов, вант) на градиентный турбулентный ветровой поток естественной интенсивности;

– статической и динамической реакций сооружения на одиночный порыв ветра на вершину пилона, на конец консоли максимального вылета в процессе монтажа и на середину руслового пролёта при эксплуатации.

Технологические причины относятся, в основном, к строительной стадии вантовых мостов. В частности, существуют преимущественно два варианта монтажа вантовых мостов: с устройством временных промежуточных монтажных опор и навесным уравновешенным способом.

Первый вариант приводит к удорожанию стоимости строительства моста и часто препятствует нормальному судоходству.

Второй вариант создаёт проблемы обеспечения аэроупругой устойчивости собираемых внавес консолей пролётного строения. С увеличением вылета консолей значительно снижается изгибная и крутильная жесткости, а также, что не менее важно, критическая скорость возможного возникновения одного из видов аэроупругой неустойчивости – вихревого возбуждения, галопирования, флаттера, бафтинга или параметрических резонансов. Это зависит от динамических и диссипативных свойств сооружений и аэродинамических качеств принятой формы поперечного сечения балки жесткости.

Помимо этого необходимо учитывать реальные риски, по крайней мере, двух видов:

– дискомфортные вибрации балки жесткости и пилонов, препятствующие обеспечению качества монтажных работ в заданные сроки;

– вибрации вант при ветровых воздействиях.

В частности, чем больше установлено вант в процессе монтажа вантового моста и чем больше и длина, тем выше вероятность возникновения вибрации одной из вант или группы вант практически при любой скорости и направлении ветрового потока.

Вместе с тем, технологические причины возможных отказов вантовых мостов больших пролётов в процессе эксплуатации не менее редки, чем в строительной стадии, а иногда они более существенны и важны.

Для обеспечения надежности и расчётной долговечности вантовых мостов больших пролётов требуется, как правило, в целях стабилизации пролётных строений, пилонов и вант в ветровом потоке большое количество устройств в механическом, гидравлическом, жидкостном или электронном исполнении типа демпферов, амортизаторов, гасителей, поглотителей.

Они представляют собой сложные, тонко настраиваемые изделия индивидуального конструирования, изготовления, сертификации и настройки на объекте на определенную частоту или очень узкий диапазон частот вибрации стабилизируемых элементов конструкций вантовых мостов.

Такие устройства требуют профессиональной подготовки персонала в составе службы эксплуатации для систематического контроля и регулирования настройки их частот и других параметров.

По существу, установка различных по конструкции и функциональному назначению:

– стабилизация балки жесткости при монтаже;

- стабилизация продольных перемещений и колебаний;
- стабилизация пространственных связанных колебаний балки жесткости в процессе эксплуатации;
- стабилизация пилонов при монтаже и/или эксплуатации;
- стабилизация вибрации вант соответствующих устройств на мостах любой расчетной схемы превращают его как транспортное сооружение в механизм. Это значительно усложняет нормальную эксплуатацию.

Ярким примером подобной трансформации служат многопролётный мост балочной схемы через р. Волга в г. Волгограде, вантovo-арочный мост «Живописный» через р. Москву в г. Москве и вантovo-балочный мост через пролив Босфор Восточный на остров Русский в г. Владивостоке.

Опыт эксплуатации висячих и вантовых мостов больших пролётов показывает существенные преимущества первых над вторыми. Основные критерии оценки эффективности эксплуатации этих типов мостов следующие:

1. совокупные эксплуатационные затраты;
2. обеспечение вертикального и горизонтального профилей пролётногo строения в проектном положении;
3. необходимость контроля и регулирования усилий в гибких элементах – канатах, подвесках, вантах;

М. И. КАЗАКЕВИЧ (ДІПТ)

ПРИЧИНИ ГЛОБАЛЬНИХ ТА ЛОКАЛЬНИХ ВІДМОВ ВАНТОВИХ МОСТІВ

У статті розглядаються основні причини відмов вантових мостів за декількома напрямками: фізичним, математичним та технологічним. Дана оцінка цим напрямкам. Описані самі суттєві недоліки вантових мостів великих прогонів. Обговорюється поняття сфери їх раціонального застосування. Приділена увага актуальній проблемі стабілізування вантових мостів великих прогонів у вітровому потоці.

Ключові слова: вантовий міст, висячий міст, несуча спроможність вант, відмова, вібрація, дискомфорт, стабілізація

MICHAEL KAZAKEVITCH (Dniepropetrovsk National University of Railway Transport)

THE CAUSES OF THE GLOBAL AND LOCAL FAILURES OF THE CABLE-STAYED BRIDGES

The presentation deals with the major causes of the cable-stayed bridge failures in several direction: physical, mathematical and technological. These directions have been estimated in the presentation. The major disadvantages of the cable-stayed bridge are noticed. The sphere of the cable-stayed bridge rational employment is being discussed. The urgent problem of stabilization of the long-span cable-stayed bridges is also pointed out.

Keywords: cable-stayed bridge, suspension bridge, the cable load-bearing capacity, failures, vibration, discomfort, stabilization

4. необходимость систематического контроля и регулирования настройки параметров огромного количества демпферов, поглотителей и других устройств стабилизации пролётногo строения, пилонов и вант вантовых мостов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы [Текст]. – введ. 1986-01.01. – М.: Госстрой России, 2001. – 214 с.
2. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. [Текст]. – Введ. 2007-02-01. – К.: Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
3. Казакевич, М. И. Избранное [Текст]: монография. – Д.: «Нова ідеологія», 2009. – 524 с.
4. Казакевич, М. И. Проблемы стабилизации вант [Текст] / М. И. Казакевич // Металлические конструкции. – 2001. – Т 17. – № 2 – С. 67-88.
5. Казакевич, М. И.. Актуальные заметки по аэродинамике зданий и сооружений [Текст]. – Д.: «Акцент», 2011. – 184 с.
6. Перельмутер А. В. Управление поведением несущих конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АВС, 2011. – 184 с.

Поступила в редколлегию 14.05.2012.

Принята к печати 28.05.2012.