

текает процесс, то тип испарительных установок необходимо выбирать в соответствии с климатическими условиями, при которых планируется использование установки (например, в очень холодных зонах необходимо использовать проточные испарители, в умеренно теплых зонах экономически целесообразно применять грунтовые испарители).

Для увеличения экономичности и стабильности газоснабжения рекомендуется применять групповые резервуарные установки с искусственным испарением, так как испарительная способность таких установок не зависит от количества жидкости в резервуарах и сохраняется всегда на заданном уровне, кроме этого, теплота сгорания паровой фазы в таких установках постоянна, вплоть до полной выработки всего газа в резервуарах.

Применение регазификаторов с искусственным испарением резко увеличивает производительность установки (до 8 раз), поэтому для регулировки сезонных и суточных неравномерностей потребления газа важен правильный подбор и установка до-

полнительной контролирующей и регулирующей арматуры.

В настоящее время из различных видов испарителей наиболее перспективным и экономически выгодным является электрический испаритель. Достоинствами его являются простота конструкции, независимость от климатических условий, а также низкое энергопотребление (около 5 кВт) и возможность работы от бытовой электросети.

Библиографический список

1. **Сжиженный** природный газ вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кунис / ред. А. М. Архаров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 256 с.
2. **Энциклопедия** газовой промышленности / В. А. Тимофеев / редакц. пер. К. Басниев. – М. : Акционерное общество ТВАНТ, 1994. – 884 с.
3. **Компания** FAS Flussiggas Anlagen GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fas.su/index.php?page=68> (дата обращения 23.09.2012).

УДК 624.82./85 (075.8)

В. В. Кондратов

ООО «Мостовые сооружения и путь»

Г. И. Богданов

Петербургский государственный университет путей сообщения

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ РАСКРЫВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПОДКЛИНКИ ПРОТИВОВЕСА

Рассматриваются особенности изменения напряженного состояния элементов пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы в процессе движения крыла. Показывается необходимость использования для оценки долговечности раскрывающихся мостов двухчастотного режима нагружения. Приводится пример оценки долговечности крыла разводного пролетного строения при отсутствии противовеса.

разводной мост, раскрывающаяся система, крыло, противовес, напряжения, колебания, динамический коэффициент.

Введение

Разводные мосты раскрывающейся системы, позволяющей получить благоприятные архитектурные формы сооружения в целом, являются основным типом городских разводных мостов. Раскрывающаяся система применяется в автодорожных мостах, сооружаемых не только в городских условиях. При этом в мостах под железную дорогу используются однокрылые конструкции, а под автодорожную нагрузку – как однокрылые, так и двукрылые.

До 1965 года в механизмах разводки раскрывающихся мостов использовался электромеханический привод. Вследствие чувствительности электромеханического привода к перегрузкам, большим габаритам и весу элементов привода большой мощности силы сопротивления движению крыльев при проектировании раскрывающихся мостов старались уменьшить, для чего момент неуравновешенности принимался равным нулю.

Опыт эксплуатации раскрывающихся мостов, в том числе с гидроприводом, примененным впервые в отечественной практике в 1965 году, показал, что для обеспечения нормальной работы разводного пролета в эксплуатационный период необходимо введение хотя бы небольшой положительной (в сторону крыла) неуравновешенности. Поэтому в 1972 году впервые в руководстве по проектированию разводных мостов появилась рекомендательная запись о том, что «раскрывающиеся пролетные строения во время разводки *могут иметь* [выделено авт.] неуравновешенность (перевес) в сторону разводного пролета» [1]. Величина неуравновешенности допускалась равной от 0,5 до 1 процента при электромеханическом приводе и от 1 до 2 процентов при электрогидроприводе. В действующем в настоящее время руководстве указание о неуравновешенности носит уже не рекомендательный, а обязательный характер: «раскрывающиеся пролетные строения во время разводки *должны иметь* [выделено авт.] неуравновешенность (перевес) в сторону разводного пролета», при этом величина неуравновешенности в наведен-

ном положении должна составлять не менее 3 % [2].

Введение начальной неуравновешенности достаточно большой величины создало предпосылки для отказа от механизмов подклинки противовесов, бывших ранее непременно элементами раскрывающихся мостов, что существенно изменило характер работы разводных пролетных строений. В статье рассматриваются некоторые особенности работы пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы без подклинки противовесов.

1 Особенности статической работы разводных пролетных строений раскрывающихся мостов

Работа пролетных строений раскрывающихся мостов в наведенном положении определяется числом крыльев, типом пролетного замка в двукрылых системах, статической схемой работы пролетного строения, характером работы оси вращения, способом крепления и наличием или отсутствием подклинки противовеса.

В настоящее время получил распространение способ разгрузки оси вращения с использованием в качестве постоянных опорных частей качающихся стоек, установленных на одной вертикали с осью вращения. Такая конструкция позволяет полностью отказаться от устройства механизма подклинки и упростить механическую часть моста. В некоторых случаях противовесы разводных пролетных строений раскрывающейся системы удастся разместить между главными балками смежных пролетных строений, перекрывающих пролеты, примыкающие к разводному. Отсутствие механизмов подклинки в этом случае позволяет отказаться от устройства противовесных колодцев внутри опор разводного пролета и значительно сократить их размеры (по фасаду моста), материалоемкость и стоимость. Примерами подобных сооружений являются мосты Александра Невского и Володарского через реку Неву в Санкт-Петербурге.

При разводке разводное пролетное строение первоначально снимают с опорных частей, затем осуществляют его посадку на ось вращения, относительно которой производят дальнейший поворот крыла. При этом крыло работает как консоль, угол наклона которой к горизонту (и к вертикали) изменяется в процессе разводки. В то же время остается неизменным направление действия основного силового фактора, определяющего напряженное состояние конструкции, – силы тяжести. В частности, хвостовая часть крыла, изгибаемая нагрузкой от противовеса в наведенном положении, испытывает преимущественное растяжение при полном угле раскрытия (рис. 1).

Именно этот цикл изменения напряжений в элементах хвостовой части крыла при переходе из наведенного положения в разведенное и наоборот может определять долговечность конструкции, так как основные несущие элементы работают в условиях повторно-статического нагружения (многократно повторяющихся статических нагрузок). При одноразовой разводке период одного цикла равен одним суткам. При этом в течение календарного года в условиях Санкт-Петербурга число циклов составляет 250–300.

На напряженное состояние элементов хвостовой части существенное влияние может оказывать временная нагрузка. Особенно велико это влияние при отказе от подклинки противовеса. В этом случае в наведенном по-

ложении хвостовая часть с противовесом на конце работает как консоль и при колебаниях противовеса напряжения в корне консоли значительны. Последние будут накладываться на основные напряжения, действующие в конструкции. Результаты натурных исследований показывают, что амплитуды колебаний противовеса в наведенном положении могут достигать 10...153 мм, а нормальные напряжения в балках хвостовой части близки к расчетным сопротивлениям. При этом в разведенном положении уровень нормальных напряжений также может оказываться близким к предельным значениям.

2 Оценка долговечности хвостовой части крыла разводного моста раскрывающейся системы

Как показывают исследования, в большинстве случаев долговечность элементов конструкций при двухчастотном нагружении оказывается ниже, чем при одночастотном, амплитуда которого равна сумме амплитуд обеих составляющих. Причем долговечность существенно зависит от соотношения частот и амплитуд низко- и высокочастотной составляющих. По данным Института электросварки им. Е. О. Патона [3], степень снижения долговечности стальных конструкций при двухчастотном нагружении по отношению к ее долговечности при одночастотном

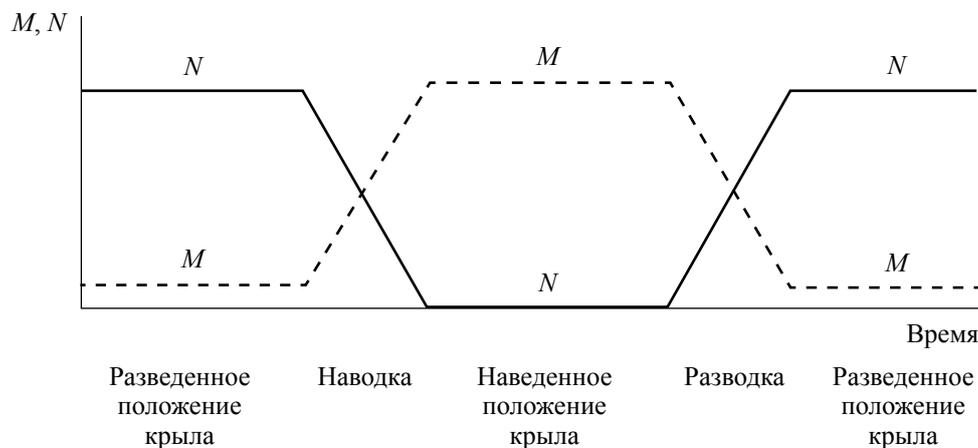


Рис. 1. Изменение изгибающего момента и продольной силы в главных балках хвостовой части крыла в зависимости от положения пролетного строения

$$\vartheta = \left(\frac{f_{вч}}{f_{нч}} \right)^v \frac{\sigma_{вч}}{\sigma_{нч}}, \quad (1)$$

где $f_{вч}$, $f_{нч}$, $\sigma_{вч}$, $\sigma_{нч}$ – соответственно частоты и амплитуды напряжений высоко- и низкочастотных составляющих двухчастотного нагружения;

v – коэффициент, зависящий от свойств материала; по данным НИИ мостов для стали 15ХСНД значение коэффициента $v = 2$.

При испытаниях разводного пролетного строения раскрывающейся системы большого городского моста амплитуда колебаний противовеса, по данным натурных измерений, составляла 0,8...1,0 мм, частота – около 2 Гц. При этом в отдельных фибрах элементов конструкции, выполненной из стали 15ХСНД, были зафиксированы напряжения, достигавшие 270 МПа, а амплитуда напряжений от колебаний противовеса достигала 20 МПа.

Воздействие на мост интенсивных транспортных потоков – основной причины возникновения колебаний противовеса – в среднем продолжается до 20 часов в сутки, что дает около 10^5 дополнительных высокочастотных колебаний на основной цикл нагружения (рис. 2).

При таком двухчастотном режиме степень снижения долговечности составляет:

$$\vartheta = \left(\frac{10^5}{1} \right)^{2 \left(\frac{20}{0,5 \times 270} \right)} = 30,3.$$

По результатам лабораторных испытаний, при одночастотном гармоническом нагружении долговечность образцов из стали 15ХСНД, моделирующих соединения, характерные для конструкций крыла, при максимальных напряжениях $\sigma = 270$ МПа составляет $1,6 \times 10^5$ циклов. При указанном режиме двухчастотного нагружения хвостовой части крыла разводного пролетного строения его долговечность, выраженная в количестве основных циклов изменения напряжений, составляет $N = 1,6 \times 10^5 / 30,3 = 5300$ циклов.

При среднем числе развонок в год, равном 300, усталостный ресурс составляет $T = 5300/300 \approx 18$ лет.

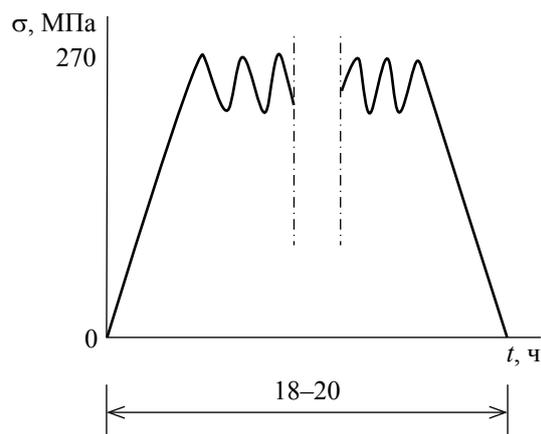


Рис. 2. Напряжения в главных балках хвостовой части крыла в наведенном положении пролетного строения

Приведенная оценка подтверждает недостаточное для капитального сооружения значение усталостного ресурса конструкции крыла, что определяется характером работы пролетного строения при отсутствии подклиники противовеса.

Заключение

Полученные результаты подтверждают сложный характер работы пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы как в наведенном положении, так и в процессе разводки-наводки. Основной причиной является наличие неподклиненного противовеса большой массы, достигающей 150–200 процентов от массы крыла, прикрепленного к его хвостовой части, работающей по консольной схеме. Двухчастотный характер нагружения крыла может заметно сказаться на усталостной долговечности конструкции.

Библиографический список

1. **Руководство** по проектированию разводных мостов. – Л. : Транспорт, 1973. – 80 с.
2. **Руководство** по проектированию разводных мостов. – М. : Транспорт, 1990. – 92 с.
3. **Циклическая долговечность при двухчастотном нагружении** / В.И. Труфяков, В.С. Ковальчук. – Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1982. – 37 с.