

АЭРОДИНАМИКА ВИСЯЧИХ МОСТОВЫХ СИСТЕМ

Кошель К.А., Смирнов Н.Г., студенты гр. ДМ31-15

Круль Ю. Н., ассистент каф. МКСМ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25

E-mail: kmksm@ukr.net

Аэродинамика висячих мостовых систем как научное направление оценки их аэродинамической устойчивости обязана своим рождением Такому висячему мосту. Катастрофа этого моста, произошедшая в 1940 году в США, привела к необходимости проведения серьёзных научных исследований по аэродинамике мостовых сооружений [90].

На данный момент накоплен значительный объём теоретических знаний и экспериментальных исследований в области изучения аэродинамической устойчивости мостов.

В состав аэродинамики мостов, изучающей действующие на элементы моста при обтекании их ветровыми потоками, аэродинамические силы, входят процессы, возникающие при взаимодействии конструкции с потоком воздуха.

Обтекание конструкций потоком воздуха сопровождается образованием вихревого следа, так называемой вихревой дорожки Кармана.

Воздушные вихри формируются непосредственно за обтекаемой конструкцией поочередно с разных сторон по ходу потока, утрачивая с определенной периодичностью контакт с препятствием, и движутся по направлению потока, представляя собой достаточно устойчивые образования. Частота «срыва» вихрей зависит от формы и размеров обтекаемой конструкции и скорости воздушного потока относительно препятствия.

В результате поочередного отделения вихрей на обтекаемую конструкцию воздействует периодическая сила S , направленная перпендикулярно к движению потока воздуха. Эта периодическая сила может быть представлена гармоническим законом.

В общем случае при воздействии воздушного потока на сооружение возникают аэродинамические нагрузки – сила лобового сопротивления F_W , подъемная сила S_W и крутящий момент M_W (рис. 1).

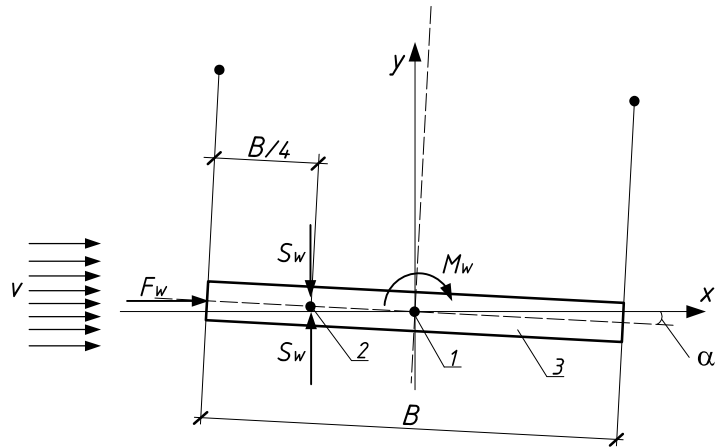


Рис. 1. Схема воздействию аэродинамических нагрузок: 1 – центр тяжести балки жесткости; 2 – аэродинамический центр; 3 – балка жесткости

В случае совпадения частоты Θ_W действия силы S с собственными частотами $\omega_B, \omega_\Gamma, \omega_{KP}$ пролетного строения мост начнет испытывать колебания либо в вертикальной, либо в горизонтальной плоскостях, т. е. могут развиваться колебания резонансного типа. Могут возникнуть и крутильные колебания за счет несимметричного приложения возмущающих сил S_1, S_2 и несовпадения их частот Θ_{W1}, Θ_{W2} .

Задачи устойчивости упругих тел, находящихся в потоке воздуха, относятся к специальному вопросу механики – теории аэроупругости.

Влияние ветровых воздействий на надёжность и прочность гибких мостовых элементов очень велико. Поведение конструкций под действием ветра можно условно подразделить на явления динамической и статической аэроупругой неустойчивости.

Методы расчета аэродинамической устойчивости мостов сводятся к определению критической скорости ветра V_{KP} для каждого конкретного пролетного строения, при которых на данном пролетном строении возникает одно из аэроупругих явлений (флаттер, бафтинг, дивергенция, галомирование или ветровой резонанс).

Условие аэродинамической устойчивости запишется в следующем виде [1]:

$$V_{KP} \gg V_{BP} \text{ или } V_{KP} > 1,5V_{BP}, \quad (2.28)$$

где V_{BP} – расчетная скорость ветра, т.е. максимально возможная для данного района строительства моста (обычно $V_{BP} = 25 \dots 35$ м/с); 1,5 – регламентированный коэффициент безопасности.

Определение критической скорости для висячих или вантовых мостов – задача весьма сложная, так как V_{KP} зависит от многих факторов: формы и размеров конструкции, ее массы, динамических характеристик балки жесткости (ω_i) и т. д. Влияние отдельных факторов в настоящее время оценивается только экспериментальным путем или на основе приближенного анализа.

Для подтверждения эффективности облегченной конструкции сталежелезобетонного пролетного строения моста, состоящего из продольных перфорированных металлических блоков, объединенных в единую конструкцию при помощи болтов и монолитной эффективной плиты проезжей части [2] был рассмотрен виртуальный тест-пример в виде решения задачи аэродинамической устойчивости Такомского моста. В ходе расчетов были получены значения критической статической нагрузки $q_{kr}^{ст}$, критической динамической нагрузки $q_{kr}^{дин}$, а также критической скорости ветра V_{kr} .

Дифференциальные уравнения устойчивости висячих мостов при действии горизонтальной ветровой нагрузки взяты на основы теории, разработанной Власовым [3].

Полученные значения расчетных параметров приведены в качестве сравнения с Такомским мостом в таблице 1.

Таблица 1.

Аэродинамическая устойчивость Такомского моста и моста с предлагаемым сталежелезобетонным пролетным строением

Расчетный параметр	Такомский мост	Мост, с предлагаемым пролетным строением
$q_{kr}^{ст}$, кН/м	9	32,49
$V_{кр}$, км/ч (м/сек)	60,9 (16,9)	137 (38,2)
$q_{kr}^{дин}$, кН/м	0.414	2.1

Из данных таблицы видно, что значения критической статической нагрузки для предложенного пролетного строения, по отношению к Такомскому мосту выросли в 4 раза. Значение критической скорости ветра возросло в 2.3 раза. Значение критического давления превышает в 5 раз. Сказанное подтверждает факт применения облегченной конструкции СТЖБ пролетного строения в мостах вантовых и подвесных систем.

1. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов / М.И. Казакевич. – М.: Транспорт, 1987. – 240с.
2. Пат. 74599 Україна, МПК (2012.01) E01D 1/00. Прогонова будова мосту / Шмуклер В.С., Шуткін М.Б., Шуткін Б.М., Круль Ю.М.; заявник і патентовласник Шмуклер В.С.; – № 201201611; заявл. 14.02.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21.
3. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы / В.З.Власов Стройиздат, 1958. – 502 с.