

doi: 10.5862/MCE.49.7

Влияние формы на аэродинамические характеристики балочных мостов

К.ф.-м.н., доцент Ю.А. Гостеев;

к.т.н., доцент А.Д. Обуховский;

д.т.н., заведующий кафедрой С.Д. Саленко,

Новосибирский государственный технический университет

Аннотация. Для достоверных расчетов ветровых нагрузок и предотвращения аэроупругих колебаний пролетных строений необходимы исследования аэродинамических характеристик как конкретных проектируемых мостов, так и типовых сечений пролетных строений. Анализ информации по проблеме показал, что вопрос о влиянии формы поперечного сечения на аэродинамические характеристики мостового сооружения нуждается в дополнительных исследованиях.

Объектом исследования являлись типовые поперечные сечения пролетных строений балочных мостов. Программа исследований включала продувки в аэродинамической трубе и численные расчеты обтекания свыше 30 типовых конфигураций в ламинарном и турбулентном ветровых потоках.

В результате разработана база аэродинамических данных для оценки ветровых нагрузок и воздействий (дивергенции, флаттера, вихревого возбуждения колебаний, галопирования) на пролетные строения балочных мостов, уточняющая известные нормы учетом формы поперечного сечения строения.

Ключевые слова: пролетные строения мостов; аэродинамические характеристики; дивергенция, флаттер; вихревое возбуждение колебаний; галопирование; физическое и математическое моделирование; аэродинамическая труба

Введение

Строительство современных мостов с длинными пролетами требует особого внимания к ветровым нагрузкам и аэроупругим колебаниям пролетных строений.

К настоящему времени известно немало случаев неблагоприятного воздействия ветровых нагрузок на мостовые конструкции. К примеру, в декабре 2006 г. произошло обрушение строящегося моста через реку Западная Двина на юго-западном обходе Витебска. Во время надвиги под действием ветра развились колебания, которые привели к полному разрушению конструкции. В мае 2010 г. в Волгограде произошел инцидент с мостом через Волгу: при скорости ветра около 16 м/с возникли волнообразные колебания пролетов моста, размах которых достигал почти одного метра¹.

Несмотря на большое количество исследований, механизм возбуждения аэроупругих колебаний плохообтекаемых тел, какими являются металлические мостовые конструкции, весьма сложен и все еще недостаточно изучен. Многообразие форм возбуждаемых колебаний мостовых строений порождается наличием разных форм поперечных сечений пролетов и структур течения в их окрестности.

Для достоверных расчетов ветровых нагрузок и предотвращения аэроупругих колебаний пролетных строений необходимы исследования аэродинамических характеристик (АДХ) как конкретных проектируемых мостов, так и типовых сечений пролетных строений.

Настоящая статья посвящена влиянию формы поперечного сечения на АДХ поперечных сечений пролетных строений мостов с коробчатыми балками.

Обзор литературы

Как показывает обзор литературных источников (например, [1–12]), в настоящее время АДХ мостовых сооружений обобщены в недостаточной степени. Большая часть исследований

¹ МС: «танцующий» мост в Волгограде соответствует нормам [Электронный ресурс]. URL: <http://newsland.com/news/detail/id/512668/> (дата обращения: 04.04.2014).

Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д., Саленко С.Д. Влияние формы на аэродинамические характеристики балочных мостов

посвящена висячим и вантовым мостам, аэродинамика балочных мостов исследована в меньшей мере.

В частности, в монографии [12] приведены аэродинамические производные поперечных сечений ферменного и сплошностенчатого типов для некоторых висячих мостов. Для большепролетных строений, имеющих острые кромки, указан диапазон 0.15...0.18 для безразмерной частоты схода вихрей Sh . Представлены ограниченные данные по аэродинамическим коэффициентам большепролетных мостов балочной и висячей (вантовой) систем, а также отдельных конструкций (мосты через реки Даугаву в Риге, Днепр в Днепропетровске и Вере в Тбилиси) и элементов (балки круглого, двутаврового, треугольного, квадратного и прямоугольного сечений, уголки и др.).

Информация по ветровым воздействиям на пролетные строения приведена также в отечественных [13–14] и зарубежных [15–21] нормативных документах.

Так, СНиП «Мосты и трубы» [13] устанавливает обязательность проверки на аэродинамическую устойчивость висячих и вантовых мостов, а также стальных балочных мостов с пролетами более 100 м. В то же время информации для расчета ветровых нагрузок на пролетные строения мостов в указанных нормативных документах явно недостаточно. Например, в [13] даны значения только коэффициента лобового сопротивления c_{xa} для частей и элементов пролетных строений мостов, причем без учета особенностей формы элементов. Для автодорожных строений с плоскими главными балками рекомендуется значение $c_{xa} = 1.7$, с одной коробчатой балкой – 1.5, с двумя коробчатыми балками – 1.75. В СНиП «Нагрузки и воздействия» [14] аэродинамические коэффициенты для типовых сечений мостов отсутствуют, данные по числу Струхала приведены только для одиночных прямоугольных поперечных сечений.

Расчет сооружений на ветровую нагрузку стандартизован в международных нормах IBC [20], в европейских нормах Еврокод [15], российском Национальном Приложении к Еврокоду [16] и стандартах национального уровня (например, [17–21]).

Так, в нормах Еврокод рассматриваются ветровые нагрузки на однопролетные и многопролетные одноуровневые мосты с постоянной высотой сечения. Значение коэффициента лобового сопротивления строения берется равным коэффициенту сопротивления поперечного сечения, который определяется только по относительной ширине сечения b/d_{tot} (d_{tot} – высота сечения с учетом ограждений и/или транспорта) и при $b/d_{tot} \geq 5$ принимается равным 1.3 независимо от формы сечения. Не свободна от замечаний и процедура вычисления коэффициента подъемной силы в зависимости от относительной ширины сечения и угла атаки. Например, согласно рекомендуемому графику значение коэффициента подъемной силы для сечения с $b/d_{tot} = 1$ составляет 0.75 независимо от угла атаки. Число Струхала приведено для замкнутых поперечных сечений только в виде круга и прямоугольника.

Постановка задачи

Анализ информации по проблеме показал, что вопрос о влиянии формы поперечного сечения на АДХ мостового сооружения (коэффициенты сил и момента и их производные, число Струхала) нуждается в дополнительном изучении.

В качестве типовых были выбраны схематизированные поперечные сечения одно- и многобалочных пролетных строений, отражающие как обводы реальных длиннопролетных балочных мостовых сооружений на стадиях возведения и эксплуатации ([22–29], а также рекомендации ведущих мостостроительных организаций), так и обобщенные данные из монографий, учебников по проектированию мостов [30–32] и норм [20].

Схема типового сечения приведена на рисунке 1, где H и B – габаритные высота (без учета ограждений и автотранспорта) и ширина сечения; B_0 – ширина балки; L_1 – межбалочное расстояние; L_p – длина ребра; δ – длина карниза; H_0 и $H_{ш}$ – полная высота и высота щита ограждений. Кроме того, модели пролетных строений этапа эксплуатации оснащаются моделями автотранспортных средств со средней высотой H_T .

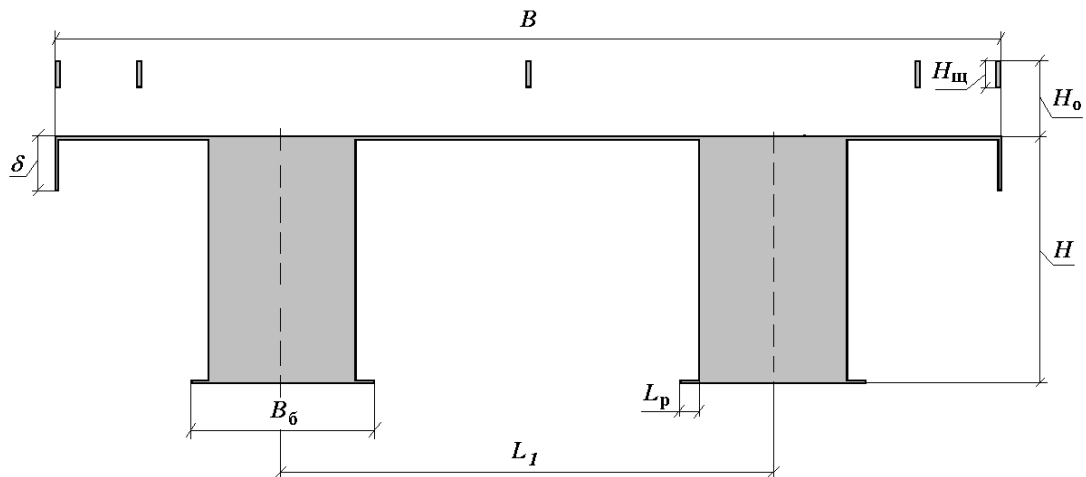


Рисунок 1. Схема типового сечения

Описание исследования

Экспериментальные исследования проводились на дозвуковой аэродинамической трубе с рабочим диапазоном скоростей 0...30 м/с. В ходе экспериментов в рабочей части аэродинамической трубы располагались секционные модели, оснащенные концевыми шайбами, а также горизонтальный экран, имитирующий земную поверхность. При помощи специальных турбулизирующих устройств над экраном воспроизводились параметры приземного слоя атмосферы. Спектр пульсаций скорости в рабочей части в диапазоне безразмерных частот $0.1 \leq fH/V_\infty \leq 15$ был близок к спектру Кеймала [33]. В окрестности моделей проводилась визуализация течения, измерялись пульсации скорости потока. В процессе дренажных испытаний находилось распределение осредненного давления по поверхности сооружений. Действующие на сечение суммарные осредненные аэродинамические силы X_a , Y_a и момент M (рис. 2) определялись в весовых испытаниях. Коэффициент c_{xa} силы лобового сопротивления X_a рассчитывался по площади фронтальной проекции, коэффициент c_{ya} подъемной силы Y_a – по площади проекции сечения в плане. Погрешности основных видов экспериментов не превышали 1–2 %.

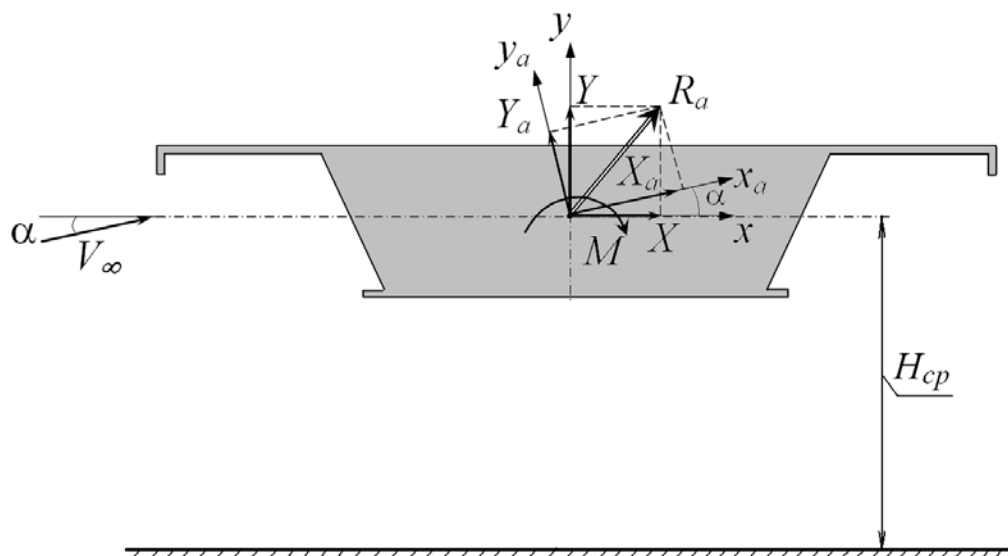


Рисунок 2. Схема действия аэродинамических сил и момента:
 (x, y) – связанная; (x_a, y_a) – скоростная системы координат

Программа исследований включала продувки в аэродинамической трубе и численные расчеты обтекания свыше 30 конфигураций (балки без плиты; с плитой; с плитой и ограждениями; с плитой, ограждениями и автотранспортом) в диапазоне углов атаки $-5^\circ \dots +5^\circ$ в ламинарном (степень турбулентности $\varepsilon_\infty = 0.5\%$) и турбулентном ($\varepsilon_\infty = 8\%$) ветровых потоках.

Исследования показали, что АДХ типовых сечений практически стабильны при изменении числа Рейнольдса $Re = V_\infty H / \nu$ в диапазоне $(0.3 \dots 1.2) \cdot 10^5$ и не зависят от высоты расположения пролетного строения над подстилающей поверхностью H_{cp} при $H_{cp} > 2.5H$.

Заметим, что пролетные строения мостов в натуральных условиях обычно располагаются на высоте H_{cp} , на порядок превышающей характерную высоту строения H . При этом изменение скорости набегающего потока ΔV по высоте строения по сравнению со средней скоростью на высоте строения V_{cp} мало. Например, при степенном законе изменения скорости по высоте $V_\infty / V_0 = (z / z_0)^\beta$ с показателем $\beta = 0.2$, $H_{cp} = 20$ м, $H = 4$ м значение ΔV не превышает $\pm 2\%$, то есть строение обдувается набегающим потоком с практически постоянной скоростью. Следовательно, если влияние подстилающей поверхности (в экспериментах – экрана) мало, то можно проводить опыты в равномерном потоке без экрана с турбулентными характеристиками, соответствующими средней высоте расположения строения H_{cp} .

Наибольшее влияние на АДХ оказывают форма и относительные размеры сечения B/H , L_1/H , H_0/H , $H_{щ}/H_0$, H_T/H_0 , а также параметр ε_∞ .

При обтекании типовых сечений передние угловые точки контура инициируют глобальный отрыв потока. У относительно широких ($B/H > 3$) одноконтурных сечений наблюдается повторное присоединение потока к верхней поверхности строения, что меняет картину распределения давления и величины аэродинамических коэффициентов. Для многоконтурных сечений, имеющих воздушный зазор между балками или отдельными строениями, существенен также относительный размер зазора, т. е. параметр L_1/H .

Анализ результатов по коэффициенту лобового сопротивления c_{xa0} при нулевом угле атаки $\alpha = 0$ показывает, что для условий как ламинарного, так и турбулентного потока построение единой, достоверной для всех форм сечений зависимости $c_{xa0} = f(B/H)$ затруднительно (рис. 3). Поэтому обобщение данных проведено для четырех классов типовых сечений: однобалочных (без плиты и с плитой) и многобалочных (также без плиты и с плитой) (рис. 4).

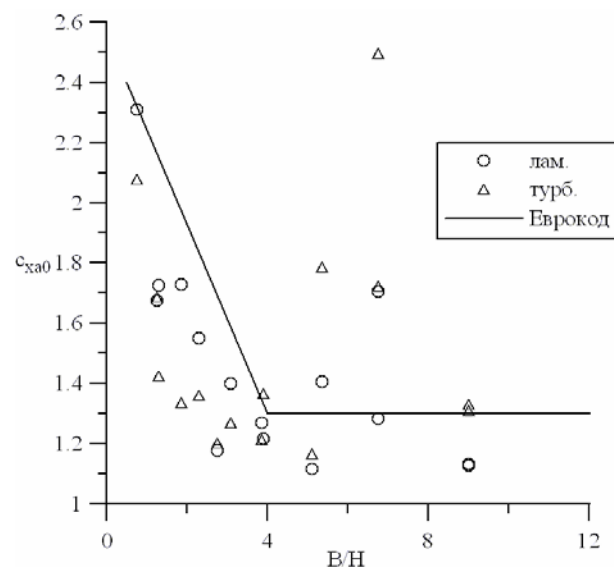


Рисунок 3. Сопоставление данных по коэффициенту лобового сопротивления типовых сечений

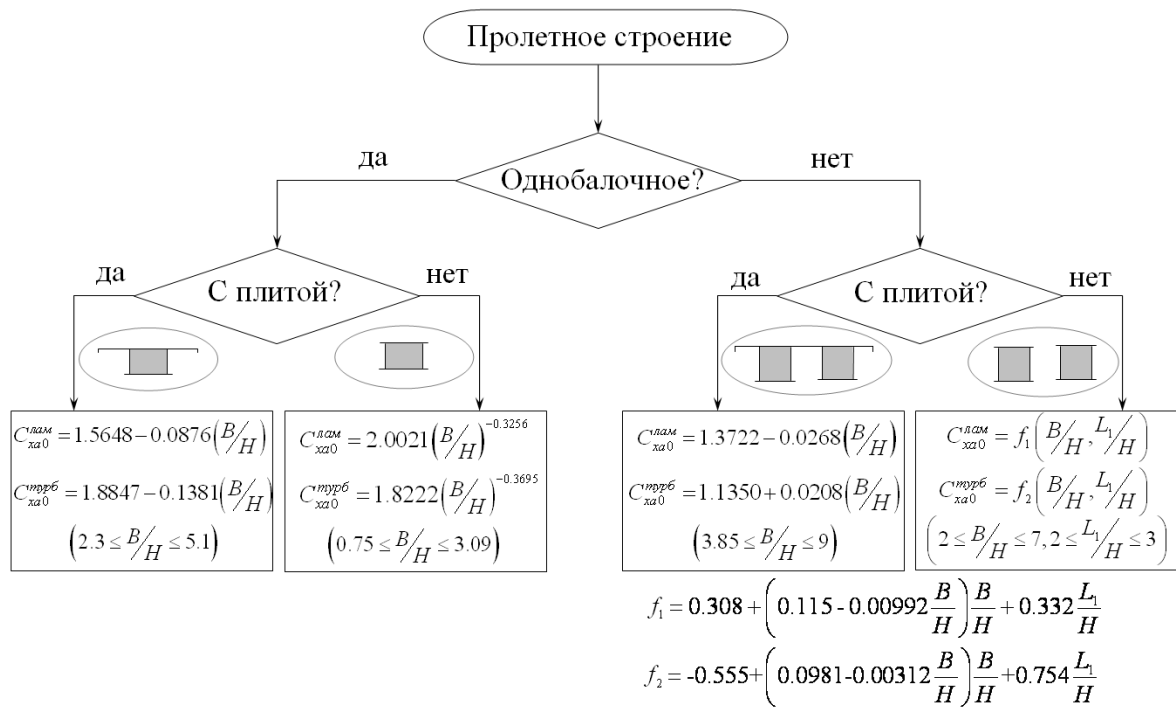


Рисунок 4. Алгоритм расчета коэффициента лобового сопротивления сечения (без ограждений и автотранспорта)

Полученные обобщенные зависимости дают достаточно достоверные (отклонения до 20–23 %) оценки коэффициента лобового сопротивления и для сечений, близких по форме к типовым (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение данных по коэффициенту лобового сопротивления пролетных строений некоторых мостов

Пролетное строение	B / H	C _{ха0}	
		[12]	авторы
мост через реку Верле	3	1	1.2
мост с трапециевидной балкой и плитой	5	1.44	1.13...1.2
вантовый мост Констанца – Мангалия	5.46	1.26	0.97...1.15

Аэродинамические коэффициенты подъемной силы $c_{y\alpha 0}$ и момента c_{m0} , а также их производные по углу атаки $c_{y\alpha 0}^\alpha \equiv \partial c_{y\alpha 0} / \partial \alpha$ и $c_{m0}^\alpha \equiv \partial c_{m0} / \partial \alpha$ для типовых сечений весьма чувствительны к изменению формы сечения. Величины $c_{y\alpha 0}$ и c_{m0}^α могут существенно отличаться по величине от рекомендуемых Еврокодом (рис. 5 и 6). Указанная чувствительность вызвана сложным влиянием формы обтекаемого контура на параметры потока в отрывных зонах над верхней и нижней поверхностями строения, в межбалочных пространствах и вихревом следе. В итоге систематизация результатов по указанным коэффициентам затруднительна.

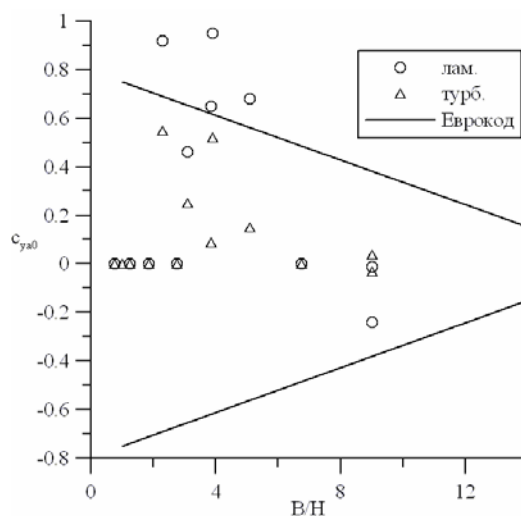
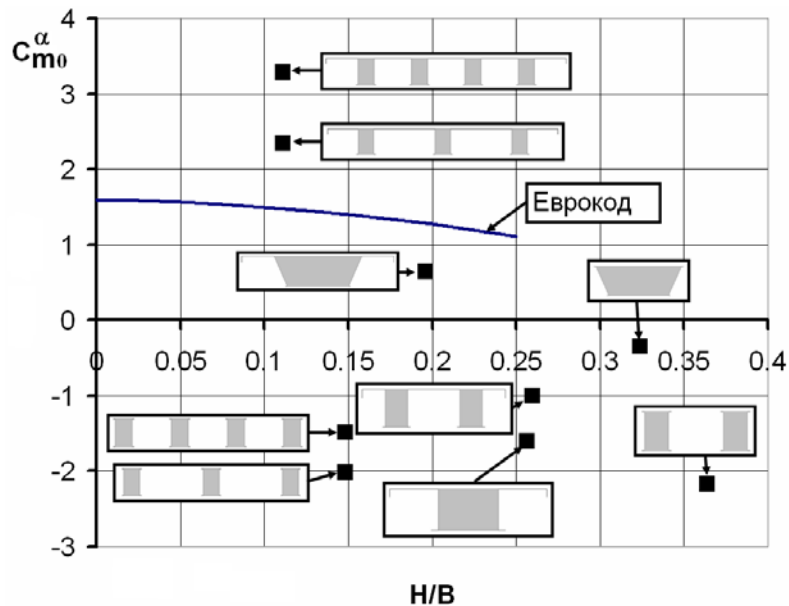


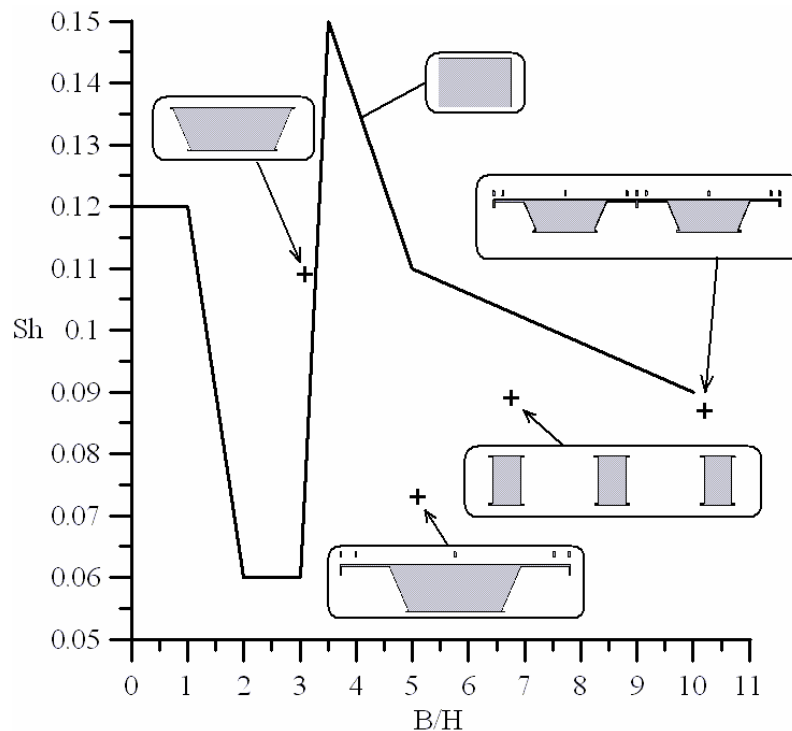
Рисунок 5. Сопоставление данных по коэффициенту подъемной силы типовых сечений



**Рисунок 6. Влияние формы сечения на производную c_{m0}^{α} :
сплошная линия – данные Еврокода, символы – данные авторов**

Согласно рисунку 6 учет формы сечения при определении производной c_{m0}^{α} особенно важен для многобалочных пролетных строений. Например, при оценке критической скорости $V_{кр}$ дивергенции (флаттера) для 4-балочного сечения с плитой использование данных Еврокода может привести к завышению $V_{кр}$ на 40 %.

Форма сечения (наклон передней и задней стенок балки, оснащение плитой и ограждениями) также влияет и на число Струхала $Sh = f_a H / V_{\infty}$ (f_a – частота схода вихрей), определяющее критическую скорость вихревого возбуждения колебаний (рис. 7).





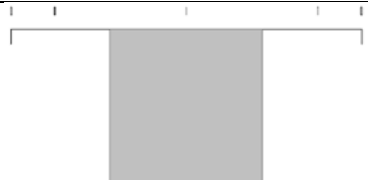
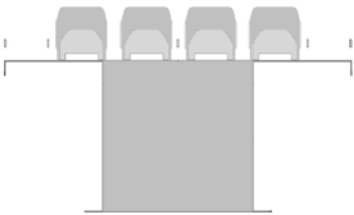




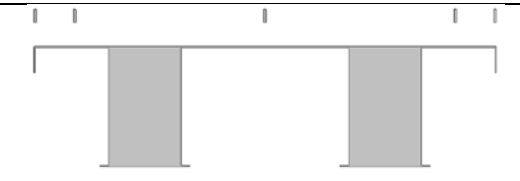
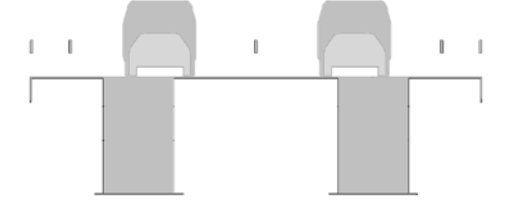
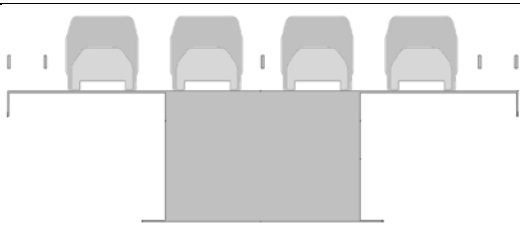
**Рисунок 7. Влияние формы сечения на число Струхала:
сплошная линия – данные Еврокода, символы – данные авторов**

Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д., Саленко С.Д. Влияние формы на аэродинамические характеристики балочных мостов

С точки зрения подверженности галопированию (параметр $A = c_{x\alpha 0} + c_{y\alpha 0}^{\alpha} < 0$) опасными являются типовые поперечные сечения с относительной шириной $B/H \leq 4$ (как и для классического призматического тела прямоугольного сечения), относящиеся по форме к классу сечений однобалочных или многобалочных, оснащенных плитой/ограждениями/автотранспортом (табл. 2).

Таблица 2. Склонные к галопированию типовые сечения

Сечение	B/H	Поток	A
	0.75	турб.	-1.03
	1.24	лам. турб.	-0.58 -2.99
	1.85	лам. турб.	-2.61 -3.12
	2.3	лам. турб.	-0.78 -2.63
	2.3	лам. турб.	-0.64 -2.36
	2.3	турб.	-0.63
	3.09	лам.	-6.31
	3.85	лам.	-5

Сечение	B/H	Поток	A
	3.85	лам. турб.	-1.82 -1.49
	3.85	лам. турб.	-0.58 -2.37
	3.9	турб.	-0.59

В общем случае влияние плиты на АДХ (даже на коэффициент лобового сопротивления) неоднозначно.

Оснащение пролетного строения ограждениями в большинстве случаев приводит к возрастанию коэффициента лобового сопротивления, причем коэффициент $c_{xa0,огр}$ сечения с ограждениями близок к коэффициенту c_{xa0} неоснащенного сечения, если при расчете площади фронтальной проекции сечения учитывать его полную высоту $H + H_0$:

$$c_{xa0,огр} \approx \frac{H + H_0}{H} c_{xa0}.$$

Коэффициент подъемной силы уменьшается для сечений всех форм.

Присутствие на проезжей части автотранспортных средств увеличивает лобовое сопротивление за счет увеличения площади миделевого сечения и уменьшает подъемную силу, очевидно, из-за провоцирования более раннего срыва потока.

Заключение

1. Разработана база аэродинамических данных для оценки ветровых нагрузок и воздействий (дивергенции, флаттера, вихревого возбуждения колебаний, галопирования) на пролетные строения балочных мостов (свыше 30 типовых конфигураций), уточняющая известные нормы учетом формы поперечного сечения строения.

2. При оценках АДХ поперечных сечений данные Еврокода должны использоваться с осторожностью. В частности, из-за неучета влияния формы сечения ошибка может составлять: по коэффициенту лобового сопротивления при относительной ширине сечения $B/H \leq 4$ до 50 %, при $B/H > 4$ – до 100 %; по производной коэффициента момента – до 100 %; по числу Струхала – до 50 %. В результате критические скорости дивергенции, флаттера и ветрового резонанса могут рассчитываться с неудовлетворительной точностью.

3. Типовые сечения, склонные к галопированию, имеют относительную ширину $B/H \leq 4$ и по форме относятся к однобалочным строениям или многобалочным строениям с плитой.

4. Для поперечных сечений, близких по форме к типовым (без ограждений и автотранспорта), получены обобщающие зависимости коэффициента лобового сопротивления от относительных ширины и межбалочного расстояния, удовлетворительно согласующиеся с известными литературными данными.

5. Данные по коэффициентам подъемной силы и момента и их производным не систематизируются, что объясняется чувствительностью указанных коэффициентов к изменению формы сечения. Поэтому для пролетных строений с поперечными сечениями, отличных от типовых, рекомендуется проводить специальные аэродинамические исследования.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № УД 47/182 от 12 октября 2011 г. (ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)»); гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-07-00421.

Литература

1. Yuh-Yi Lin, Chii-Ming Cheng, Jong-Cheng Wu, Tsang-Lien Lan and Kuo-Ting Wu. Effects of deck shape and oncoming turbulence on bridge aerodynamics // Tamkang Journal of Science and Engineering. 2005. Vol. 8. No 1. Pp. 43–56.
2. Liaw K.F. Simulation of flow around bluff bodies and bridge deck sections using CFD: thesis submit. for the degree of PhD [Электронный ресурс]. University of Nottingham, 2005. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://etheses.nottingham.ac.uk/125/> (дата обращения: 04.04.2014).
3. Morgenthal G..Comparison of numerical methods for bridge deck aerodynamics: thesis submit. for the degree of Mphil. University of Cambridge, 2000. 87 p.
4. Vezza M., Taylor I. Application of a discrete vortex method for the analysis of suspension bridge deck sections // Journal of Wind and Structure. 2001. Vol. 4. Pp. 333–352.
5. Bruno L., Fransos D. Edge degree-of-sharpness and integral length scale effects on the aerodynamics of a bridge deck [Электронный ресурс] // BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. Milano, 2008. 16 p. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://staff.polito.it/luca.bruno/2008_BBAAVI_bruno_fransos.pdf (дата обращения: 04.04.2014).
6. Miyata T. Historical view of long-span bridge aerodynamics // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2003. Vol. 91. Pp. 1393–1410.
7. Walshe D.E., Wyatt T.A. Bridge aerodynamics 50 years after Tacoma Narrows. Part II: A new discipline world-wide // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1992. Vol. 40. Pp. 327–336.
8. Scanlan R.H. Interpreting aeroelastic models of cable-stayed bridges // Journal of Engineering Mechanics. 1987. Vol. 113. No. 4. Pp. 555–575.
9. Scanlan R.H., Jones N.P. Aeroelastic analysis of cable-stayed bridges // Journal of Structural Engineering. 1990. Vol. 116. No. 2. Pp. 279–297.
10. Miyata T., Yamaguchi K. Aerodynamics of wind effects on the Akashi Kaikyo Bridge // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1993. Vol. 48. Pp. 287–315.
11. O'Connor C., Shaw P.A. Bridge loads. An international perspective. Taylor & Francis Group, 2000. 330 p.
12. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов. М.: Транспорт, 1987. 240 с.
13. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. М.: ГП ЦПП, 1996. 214 с. (актуализированная редакция в виде СП 35.13330.2011).
14. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. М.: Госстрой СССР, 1986. 32 с. (актуализированная редакция в виде СП 20.13330.2011).
15. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions. EN 1991-1-4:2005 / European Standard. Brussels, 2005.
16. Национальное Приложение к Еврокоду EN-1991-1-4. Еврокод 1: Воздействия на сооружения – Часть 1-4: Основные воздействия. Ветровые воздействия. Москва, 2012.
17. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. ANSI/ASCE 7-98, ASCE, New York, 2000.
18. Air Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 6. Wind Loads. Architectural Institute of Japan, 2004.

Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д., Саленко С.Д. Влияние формы на аэродинамические характеристики балочных мостов

19. Standard Australia. Minimum design loads on structures. Part 2: Wind Loads. Standards Australia. North Sydney, 1989.
20. International Building Code, 2003.
21. Design Manual for Roads and Bridges. Volume 1. Section 3. General Design. BD 49/01 Design Rules for Aerodynamic Effects on Bridges; BD 37 Loads for Highway Bridges.
22. Разработка рекомендаций по снижению динамических нагрузок от воздействия ветра на пролетное строение моста через р. Обь в г. Барнауле: отчет о НИР / НГТУ; науч. рук. Кураев А.А.; отв. исп. Саленко С.Д. Новосибирск, 1994. 127 с.
23. Исследование способов снижения динамических нагрузок от воздействия ветра на пролетное строение моста, возводимого через р. Томь в г. Кемерово: отчет о НИР / НГТУ; науч. рук. Саленко С.Д. Новосибирск, 2001. 85 с.
24. Исследование способов снижения динамических нагрузок от воздействия ветра на пролетное строение моста, возводимого через р. Иртыш в г. Омске: отчет о НИР / НГТУ. науч. рук. Саленко С.Д.; отв. исп. Обуховский А.Д. Новосибирск, 2001. 88 с.
25. Разработка рекомендаций по снижению динамических нагрузок от воздействия ветра на пролетное строение моста через р. Томь в г. Томске: отчет о НИР / НГТУ; науч. рук. Саленко С.Д.; отв. исп. Обуховский А.Д. Новосибирск, 1997. 56 с.
26. Саленко С.Д., Обуховский А.Д., Телкова Ю.В. Гашение аэроупругих колебаний пролетного строения моста через реку Обь // В мире научных открытий. Сер.: Математика. Механика. Информатика. 2011. № 1(13). С. 167–176.
27. Саленко С.Д., Обуховский А.Д., Телкова Ю.В. Пассивные гасители аэроупругих колебаний пролетного строения моста на стадии монтажа // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16). Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2011_2\(16\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2011_2(16).pdf).
28. Саленко С.Д., Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д. Аэродинамические исследования типовых многобалочных конструкций // Теплофизика и аэромеханика. 2013. Том 20. №4. С. 451–460.
29. Саленко С.Д., Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д. Аэродинамические характеристики типовых пролетных строений мостов с трапециевидными балками // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 1 (31). Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SalenkoGosteevObukhovsky-2014_1\(31\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SalenkoGosteevObukhovsky-2014_1(31).pdf) (дата обращения: 04.04.2014)
30. Ефимов П.П. Проектирование мостов. Омск: Дантэя, 2006. 111 с.
31. Саламахин П.М., Воля О.В., Лукин Н.П. [и др.] Мосты и сооружения на дорогах: Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. 2 / Под ред. П.М. Саламахина. М.: Транспорт, 1991. 448 с.
32. Ильясевич С.А. Металлические коробчатые мосты. М.: Транспорт, 1970. 280 с.
33. Kaimal J.C., Wyngaard J.C., Izumi Y., Cote O.R. Spectral characteristics of surface-layer turbulence // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1972. Vol. 98. Pp. 563–598.

*Юрий Анатольевич Гостеев, г. Новосибирск, Россия
Тел. раб.: +7(383)346-19-97; эл. почта: gosteev@corp.nstu.ru*

*Александр Дмитриевич Обуховский, г. Новосибирск, Россия
Тел. раб.: +7(383)346-19-97; эл. почта: agd@craft.nstu.ru*

*Сергей Дмитриевич Саленко, г. Новосибирск, Россия
Тел. раб.: +7(383)346-19-97; эл. почта: salenkod@yandex.ru*

© Гостеев Ю.А., Обуховский А.Д., Саленко С.Д., 2014

doi: 10.5862/MCE.49.7

Influence of the shape on aerodynamic characteristics of girder bridges

Yu.A. Gosteev

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
+73833461997; e-mail: gosteev@corp.nstu.ru

A.D. Obuhovskiy

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
+73833461997; e-mail: agd@craft.nstu.ru

S.D. Salenko

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
+73833461997; e-mail: salenkosd@yandex.ru

Key words

bridge spans; aerodynamic characteristics; divergence; flutter; vortex excitation of oscillations; galloping; physical and mathematical simulation; wind tunnel

Abstract

For accurate calculation of wind loads and prevention of aeroelastic superstructure vibrations it is necessary to research aerodynamic characteristics (ADF) of both particular designed bridges and typical superstructure sections. The analysis of information on the issue showed that the impact of the cross-sectional shape on ADF of a bridge needs additional research.

The object of the study was typical cross-sections of girder bridge superstructures. The research program included a wind tunnel and numerical calculations of the flow over 30 standard configurations in laminar and turbulent wind flows.

The research resulted into the development of the database of aerodynamic data for estimating wind loads and effects (divergence, flutter, vortex excitation of oscillations, galloping) on girder bridge spans, and for specifying standards allowing for the cross-sectional shape of the structure.

References

1. Yuh-Yi Lin, Chii-Ming Cheng, Jong-Cheng Wu, Tsang-Lien Lan and Kuo-Ting Wu. Effects of deck shape and oncoming turbulence on bridge aerodynamics. *Tamkang Journal of Science and Engineering*. 2005. Vol. 8. No 1. Pp. 43–56.
2. Liaw K.F. *Simulation of flow around bluff bodies and bridge deck sections using CFD: thesis submit. for the degree of PhD* [Online resource]. University of Nottingham, 2005. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://etheses.nottingham.ac.uk/125/> (accessed: April 4, 2014).
3. Morgenthal G. *Comparison of numerical methods for bridge deck aerodynamics: thesis submit. for the degree of Mphil*. University of Cambridge, 2000. 87 p.
4. Vezza M., Taylor I. Application of a discrete vortex method for the analysis of suspension bridge deck sections. *Journal of Wind and Structure*. 2001. Vol. 4. Pp. 333–352.
5. Bruno L., D. Fransosy. *Edge degree-of-sharpness and integral length scale effects on the aerodynamics of a bridge deck* [Online resource]. BBAA VI International Colloquium on Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. Milano, 2008. 16 p. System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: http://staff.polito.it/luca.bruno/2008_BBAAVI_bruno_fransos.pdf (April 4, 2014).
6. Miyata T. Historical view of long-span bridge aerodynamics. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2003. Vol. 91. Pp. 1393–1410.
7. Walshe D.E., Wyatt T.A. Bridge aerodynamics 50 years after Tacoma Narrows. Part II: A new discipline world-wide. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1992. Vol. 40. Pp. 327–336.
8. Scanlan R.H. Interpreting aeroelastic models of cable-stayed bridges. *Journal of Engineering Mechanics*. 1987. Vol. 113. No. 4. Pp. 555–575.
9. Scanlan R.H., Jones N.P. Aeroelastic analysis of cable-stayed bridges. *Journal of Structural Engineering*. 1990. Vol. 116. No. 2. Pp. 279–297.

Gosteev Yu.A., Obuhovskiy A.D., Salenko S.D. Influence of the shape on aerodynamic characteristics of girder bridges

10. Miyata T., Yamaguchi K. Aerodynamics of wind effects on the Akashi Kaikyo Bridge. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1993. Vol. 48. Pp. 287–315.
 11. O'Conno C., Shaw P.A. *Bridge loads. An international perspective*. Taylor & Francis Group, 2000. 330 p.
 12. Kazakevich M.I. *Aerodinamika mostov* [Aerodynamics of bridges]. Moscow: Transport, 1987. 240 p. (rus)
 13. SNiP 2.05.03-84*. *Mosty i truby. (aktualizirovannaya redaktsiya v vide SP 35.13330.2011)* [Building code 2.05.03-84*. Bridges and pipes (actualized version as Set of rules 35.13330.2011)]. Moscow: GP TsPP, 1996. 214 p. (rus)
 14. SNiP 2.01.07-85*. *Nagruzki i vozdeystviya. (aktualizirovannaya redaktsiya v vide SP 20.13330.2011)* [Building code 2.01.07-85*. Load and effects. (actualized version as Set of rules 20.13330.2011)]. Moscow: Gosstroy SSSR, 1986. 32 p. (rus)
 15. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions. EN 1991-1-4:2005 / European Standard. Brussels, 2005.
 16. Natsionalnoye Prilozheniye k Yevrokodu EN-1991-1-4. Yevrokod 1: Vozdeystviya na sooruzheniya – Chast 1-4: Osnovnyye vozdeystviya. Vetrovyye vozdeystviya [National Annex to Eurocode EN-1991-1-4. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: The major effects. Wind actions]. Moscow, 2012.
 17. American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. ANSI/ASCE 7-98, ASCE, New York, 2000.
 18. Air Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 6. Wind Loads. Architectural Institute of Japan, 2004.
 19. Standard Australia. Minimum design loads on structures. Part 2: Wind Loads. Standards Australia. North Sydney, 1989.
 20. International Building Code, 2003.
 21. Design Manual for Roads and Bridges. Volume 1. Section 3. General Design. BD 49/01 Design Rules For Aerodynamic Effects on bridges; BD 37 Loads for Highway Bridges.
 22. *Razrabotka rekomendatsiy po snizheniyu dinamicheskikh nagruzok ot vozdeystviya vetra na proleynoye stroyeniye mosta cherez r. Ob v g. Barnaule* [Development of recommendations to reduce the dynamic loads from the effects of wind on the transit building a bridge across the river Ob Tom in Barnaul]. Research report / NSTU; scientific adviser Kurayev A.A.; principal investigator Salenko S.D. Novosibirsk, 1994. 127 p. (rus)
 23. *Issledovaniye sposobov snizheniya dinamicheskikh nagruzok ot vozdeystviya vetra na proleynoye stroyeniye mosta, vozvodimogo cherez r. Tom v g. Kemerovo* [Study ways to reduce the dynamic loads from the effects of wind on the superstructure of the bridge being built across the river Tom in Kemerovo]. Research report / NSTU; scientific adviser Salenko S.D. Novosibirsk, 2001. 85 p. (rus)
 24. *Issledovaniye sposobov snizheniya dinamicheskikh nagruzok ot vozdeystviya vetra na proleynoye stroyeniye mosta, vozvodimogo cherez r. Irtysh v g. Omske* [Study ways to reduce the dynamic loads from the effects of wind on the superstructure of the bridge being built across the river Irtysh in Omsk]. Research report / NSTU; scientific adviser Salenko S.D; principal investigator Obukhovskiy A.D. Novosibirsk, 2001. 88 p. (rus)
 25. *Razrabotka rekomendatsiy po snizheniyu dinamicheskikh nagruzok ot vozdeystviya vetra na proleynoye stroyeniye mosta cherez r. Tom v g. Tomske* [Development of recommendations to reduce the dynamic loads from the effects of wind on the superstructure of the bridge over the river Tom in Tomsk]. Research report / NSTU; scientific adviser Salenko S.D; principal investigator Obukhovskiy A.D. Novosibirsk, 1997. 56 p. (rus)
 26. Salenko S.D., Obukhovskiy A.D., Telkova Yu.V. *Gasheniye aerouprugikh kolebaniy proleynogo stroyeniya mosta cherez reku Ob* [Aeroelastic damping of the oscillations of the superstructure of the bridge across the Ob River]. *V mire nauchnykh otkrytiy. Ser.: Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2011. No. 1(13). Pp. 167–176. (rus)
 27. Salenko S.D., Obukhovskiy A.D., Telkova Yu.V. *Passivnyye gasiteli aerouprugikh kolebaniy proleynogo stroyeniya mosta na stadii montazha* [Passive dampers aeroelastic vibrations of the superstructure of the bridge during the installation]. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya*. 2011. Vol. 2(16). System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2011_2\(16\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2011_2(16).pdf).
 28. Salenko S.D., Gosteyev Yu.A., Obukhovskiy A.D. *Aerodinamicheskiye issledovaniya tipovykh mnogobalochnykh konstruksiy* [Aerodynamic studies of model structures mnogobalochnyh]. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2013. Vol. 20. No. 4. Pp. 451–460. (rus)
 29. Salenko S.D., Gosteyev Yu.A., Obukhovskiy A.D. *Aerodinamicheskiye kharakteristiki tipovykh proleynykh stroyenykh mostov s trapetsiyevidnymi balkami* [Aerodynamic characteristics of typical bridge spans with trapezoidal beams]. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya*. 2014. Vol. 1(31). System requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2014_1\(31\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Salenko-2014_1(31).pdf).
- Gosteev Yu.A., Obuhovskiy A.D., Salenko S.D. Influence of the shape on aerodynamic characteristics of girder bridges

requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SalenkoGosteevObukhovsky-2014_1\(31\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/SalenkoGosteevObukhovsky-2014_1(31).pdf) (rus)

30. Yefimov P.P. *Proyektirovaniye mostov* [Design of bridges]. Omsk: Danteya, 2006. 111 p. (rus)
31. Salamakhin P.M., Volya O.V., Lukin N.P. [et al]. *Mosty i sooruzheniya na dorogakh* [Bridges and Structures Roads]. Tutorial for high school in 2 parts. Part 2. Edited by P.M. Salamakhina. Moscow: Transport, 1991. 448 p. (rus)
32. Ilyasevich S.A. *Metallicheskiye korobchatyye mosty* [Metal Box Shaped bridges]. Moscow: Transport, 1970. 280 p. (rus)
33. Kaimal J.C., Wyngaard J.C., Izumi Y., Cote O.R. Spectral characteristics of surface-layer turbulence. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1972. Vol. 98. Pp. 563–598.

Full text of this article in Russian: pp. 63–72