

TAKING THE RESONANCE INTO ACCOUNT WHEN DESIGNING BRIDGE CROSSINGS

H. Tagaev¹, Doctor of International Academy “Antique World”, Director of Scientific Center of Inventions of Academy, Full professor
N. Gapporov², Candidate of Mathematics and Physics, Associate Professor
B. Gapporov³, Senior Lecturer
Jizzakh State Pedagogical Institute, Uzbekistan^{1,2}
Jizzakh Polytechnical Institute, Uzbekistan³

In the article its authors have considered the influence of resonance at destruction of bridge crossings on the example of Tacoma Bridge, USA. The essence and the reasons of resonance, as well as scientific and theoretical bases of their elimination are revealed.

Keywords: resonance, bridge, design, natural phenomena, wind speed, bridge paths, fluctuations.

Conference participants, National championship in scientific analytics, Open European and Asian research analytics championship


УЧЕТ РЕЗОНАНСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Тагаев Х.¹, д-р международной академии “Antique World”, директор научного центра изобретений академии, проф.
Гаппоров Н.Г.², канд. физ.-мат. наук, доцент
Гаппоров Б.Н.³, ст. преподаватель
Джизакский государственный педагогический институт, Узбекистан^{1,2}
Джизакский Политехнический институт, Узбекистан³

В статье рассматривается влияние резонанса при разрушении мостовых переходов на примере Такома моста США. Раскрывается сущность и причины резонанса и научно-теоретические основы их устранения.

Ключевые слова: резонанс, мост, проектирование, природные явления, скорость ветра, дорожки моста, колебаний.

Участники конференции, Национального первенства по научной аналитике, Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:pmc.v0i7.1186>

Для выяснения разрушительного влияния резонанса на мостовые переходы рассмотрим случившиеся природные явления на Такома мосте в Америке. Седьмого ноября 1940 водители движущиеся через подвесной мост Такома были свидетелями (на первый взгляд) противоестественного явления (рис.1): несмотря на небольшую скорость ветра (~ 17 м/с) дорожки моста изгибались с частотой колебаний 36/мин., при этом амплитуда колебаний достигала до 1,5 метров, движение по мосту остановилось, многие автомобили остались на середине моста. Водители не смогли перегнать свои автомобили на безопасное расстояние. Частота колебаний постепенно возрастала. На центральной опоре появилась трещина, после этого колебания моста изменили свой характер, резко увеличилась их амплитуда и через некоторое время весь мост разрушился.

Чтобы объяснить это явление обращаем внимание на основные законы механических колебаний, а именно на сущность свободных и вынужденных колебаний [1]

Механические колебания, которые происходят под действием сил, возникающих в самой колебательной системе, называются свободными (это соответствует естественным колебаниям моста, возникающим от собственного веса подвесного моста и прохождения потока автотранспорта).

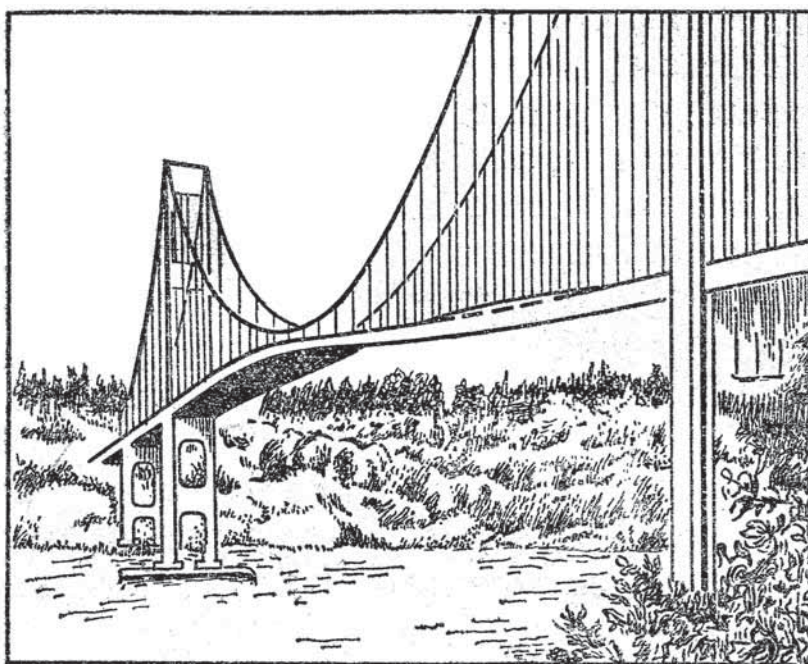


Рис. 1.

Колебания, которые совершает тело, под действием внешней силы называются вынужденным (это соответствует к внешнему воздействию ветра на мост).

Чтобы объяснить причины разрушительного колебания моста вспомним число Рейнольдса для течения жидкости. Число Рейнольдса 2300 - соответствует на ламинарное течение жидкости, от 2300 до 6000 – соответствует неустойчивому режиму тече-

ния, более 6000 относится к турбулентному течению жидкости. При ламинарном течении сила сопротивления F пропорционально скорости потока \mathcal{V} , а при турбулентном течении F пропорционально к квадрату скорости, то есть на \mathcal{V}^2 .

Ламинарный поток (безвихревой) для данного случая не представляет интереса. Нас интересует только турбулентное движение жидкости (ветра).

Явление правильного расположе-

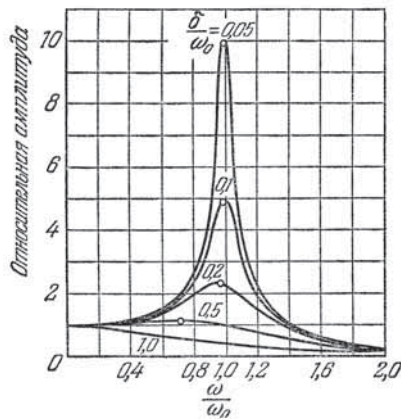


Рис.2.

ния вихрей позади обтекаемого тела впервые было изучено экспериментально немецким физиком Бенаром в начале XX века. Но только благодаря последовавшим вскоре работам Кармана такое течение, казавшееся сначала весьма своеобразным, получило объяснение. По имени этого ученого система периодических вихрей называется дорожкой Кармана. Именно вихревая дорожка Кармана имеет большое практическое значение. Например, провода линий электропередачи колеблются под действием ветра, дующего с постоянной скоростью, из-за отрыва вихрей, эти цепочки вихрей, периодически срывающиеся с поверхности струны, и возбуждают ее звучание, подобному прикосновению к ним пальца.

Из курса физики известно, что амплитуда вынужденных колебаний резко возрастает, если период синусоидальной внешней силы приближается к периоду свободных колебаний тела, это явление называют резонансом.

На рис. 2 приведен резонансные кривые при различных затуханиях

По вертикали отложены относительная амплитуда $\frac{AK}{F_0}$, где A – амплитуда смещения, K – коэффициент квазиупругой силы, F_0 – постоянная сила, равная амплитуде действующей силы.

По горизонтали отложены относительные изменения частоты $\frac{\omega}{\omega_0}$, где ω

- круговая частота, который связаны

с частотой колебаний ν следующим отношением: $\omega = 2\pi\nu$; $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

частота свободных колебаний при отсутствии трения. Кривые относятся к различным значениям $\frac{\delta}{\omega_0}$, где δ

- коэффициент затухания. Кружочки указывают положение максимального значения амплитуды смещения.

Из рисунка видно, что при $\frac{\delta}{\omega_0} \ll 1$ резонанс увеличивается. В том числе,

при $\frac{\omega}{\omega_0} = 1$, то есть когда частота

та внешней силы. Равняется к частоте свободных колебаний (ветра) системе (моста), то амплитуда смещения бу-

дет равно $\frac{\delta}{\omega_0} = 0,5$ и соответственно

резонанс имеет своего максимального значения.

При $\frac{\delta}{\omega_0} \ll 1$ резонанс не проявляется.

Из вышеуказанного можно сделать вывод, что причиной разрушения Такомского подвесного моста является возникновение резонанса от вихря обдуваемого ветром скоростью ~ 17 м/с. Вихри отрывались от несущей конструкции проезжей части моста. При этом частота ω колебаний внешней силы (сила ветра) приблизилась к частоте колебаний системы ω_0 (свободное колебание моста), это привело к резкому увеличению амплитуды колебаний системы (до 1,5 метра), то есть, к проявлению разрушительного резонанса.

Для устранения вызывающего резонанса моста от вынужденного колебания обсудим некоторые особенности мостовой дорожки обращенной к потоку ветра и типы течения ветра вокруг их поверхности.

Сила сопротивления, возникающая вследствие разности давлений на передней и задней части (кромках) мостовой дорожки, зависит от плотности воздуха, скорости потока ветра и площади максимального поперечного

сечения, перпендикулярного потоку

$$\rho_x = c \cdot \rho \cdot s \cdot \frac{g^2}{2}$$

Где c - безразмерное число (определяется экспериментально и зависит от скорости) его значение приведены в таблицах.

ρ - плотность воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$

s - площадь наибольшего сечения моста, перпендикулярной направлению потока, м^2

g - скорость потока ветра, $\text{м}/\text{с}$

Под действием силы сопротивления от внешней силы ветрового потока на поверхностях мостовой дорожки возникают поперечные (колебательные) силы, они являются результатом того перераспределения давлений по поверхности (плоскости) мостовой дорожки, которое вызвано действием присоединенного к потенциальному потоку вихря, то есть при этом на передней поверхности моста сохраняются положительные разности давлений. За счет этой разницы давлений возникают вынужденные колебания моста.

Это можно определить по теореме Жуковского $P_y = \rho \cdot g \cdot \Gamma$

где Γ - циркуляция скорости потока ветра v .

Циркуляцией Γ скорости потока g по контуру профиля s , называется контурным интегралом от скалярного произведения v на элементарной dr дуге контура C .

$$\Gamma = \oint g \cdot dr$$

Для профиля произвольной формы, вокруг которого установилось тем или иным путем циркуляция равно произведению периметра контура на средние из всех проекций скорости на сам контур.

По Жуковскому вектор поперечной силы P_y направлен по вектору скорости набегающего потока g повернутому на 90° в сторону, противоположную направлению циркуляции.


Из вышесказанного видно, что амплитуда вынужденных колебаний приводящей к резонансу напрямую зависит от отрывающихся вихрей с поверхности (проезжей части) мостовой дорожки. В конечном счете это зависит от формы поверхности моста обдуваемого ветром.

Для Такомского моста, имеющего форму лобовой поверхности (площади) в виде четырехугольной пластины, безразмерный коэффициент был равен $C_{пл} = 1,1$, то есть имел максимальное значение, который привело к максимальному завихрению, соответственно амплитуда вынужденных колебаний тоже достигала максимального значения и равнялась с свободным колебанием, в результате чего получился резонанс и разрушился мост.


Так, например, для формы полусферы обращенной потоку, этот коэффициент равен $C_{ис} = 0,35$ и в этой конструкции вихрь образуется слабо, тем самым амплитуда вынужденных колебаний будет меньше чем свободные колебания, соответственно, и резонанс будет слаб или совсем не проявится.

Таким образом, для предотвращения резонанса мостовых переходов при проектировании надо учитывать форму лобовой поверхности (эллипс, овал, в виде клина и т. п.) в зависимости от значения C и технической эстетики.

References:

1. Aslamazov L.G., A.A. Varlamov, Udivitel'naja fizika [The wonders of Physics]. – Moskva., «Nauka», 1988., - pp. 99-102.  <http://dx.doi.org/10.1142/4458>
2. Koshkin N.I., Shirkevich M.G. Spravochnik po jelementarnoj fizike [Reference book on elementary Physics]. - Moskva., «Nauka», 1982, - pp. 81-82.
3. Emcov B.T. Tehniceskaja gidromehaniка [Technical hydromechanics]. – Moskva., «Mashinostroenie», 1978.
4. Smirnov G. Rozhdennye vihrem [Born by the whirlwind]. – Moskva., «Znaniye», 1982.

Литература:

1. Асламазов Л.Г., А.А. Варламов, Удивительная физика. – Москва., «Наука», 1988., с. 99-102.  <http://dx.doi.org/10.1142/4458>
2. Кошкин Н.И., Ширкевич

М.Г. Справочник по элементарной физике. - Москва., «Наука», 1982, стр. 81-82.

3. Емцов Б.Т. Техническая гидромеханика. – Москва., «Машиностроение», 1978.
4. Смирнов Г. Рожденные вихрем. – Москва., «Знание», 1982.

Information about authors:

1. Hojamberdi Tagaev - Doctor of International Academy "Antique World", Director of Scientific Center of Invantions of Academy, Full professor, Jizzakh State Pedagogical Institute; address: Uzbekistan, Jizzakh city; e-mail: bahrom.ms_@inbox.ru
2. Nematulla Gapparov - Candidate of Mathematics and Physics, Associate Professor, Jizzakh State Pedagogical Institute; address: Uzbekistan, Jizzakh city; e-mail: bahrom.ms_@inbox.ru
3. Begzod Gapparov - Senior Lecturer, Jizzakh Polytechnical Institute; address: Uzbekistan, Jizzakh city; e-mail: bahrom.ms_@inbox.ru

