

4. Голицын Г. А. Информация. Поведение, язык, творчество М.: ЛКИ, 2007г.
5. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978 - 239с.
6. Кущенко В. Н. Основные принципы обеспечения безопасности строительных конструкций. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка, 2009г.
7. Кущенко В. Н. Диагностическая функция безопасности конструктивного элемента в форме неопределенности. Сб. научных трудов, г. Макеевка, 1998г - 55-57с.

УДК 000.000

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АУТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Волосович О.В., к.т.н., профессор, Мамедов Р.Я., студент гр. ПГС-405

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В работе рассматриваются участвовавшие случаи автоколебаний плоскостных строительных конструкций (мостов). Приводятся результаты экспериментальных испытаний модели колебательной системы. На основе анализа событий и результатов эксперимента даются рекомендации для проектирования относительно легких плоскостных сооружений.

Автоколебания, мосты, автоколебательные конструкции, флаттер.

После случаев обрушения гибких конструкций, таких как мосты, в результате воздействия ветра стало ясно, что учёт аэродинамических свойств многопролетных полотен моста и их испытание в аэродинамической трубе является обязательным. Примерами таких случаев является мост Такома Нэрроуз, мост через реку Волга в Волгограде, Саратовский мост, Витебский мост и случай на мосту в Бейтауне, штат Техас.

Мост Такома-Нэрроуз был спроектирован Леоном Моиссеиффом и открыт для движения 1 июля 1940 года. Еще во время возведения строители дали ему прозвище «Галопирующая Герти» из-за того, что в ветреную погоду его дорожное полотно сильно раскачивалось (из-за малой высоты балки жесткости). 7 ноября 1940 при ветре, дувшем вдоль пролива Такома-Нэрроуз со скоростью 17–19 м/с, мост более часа совершал сначала изгибные колебания из-за срывного флаттера, а затем, после обрыва части подвесок, за полчаса изгибно-крутильных колебаний большой амплитуды (Рис.1), мост разрушился. При этом он был правильно рассчитан на статические нагрузки, возникающие при ветре до скорости 45 м/с. Как известно, та авария способствовала исследованиям в области аэродинамики и аэроупругости конструкций и изменению подходов к проектированию всех большепролетных мостов в мире.



Рис.1. Изгибно-крутильные колебания моста Такома-Нэрроуз.

Волгоградский мост общей длиной около 1260 м представляет собой балочную конструкцию не менее чем из 12 пролетов, 9 из которых хотя бы частично находятся в створе реки. Длина каждого из них превышает 100 м или близка к этой величине. Верхнее

строение моста – металлическое, на опорах находится ортотропная плита, состоящая из плоских стальных листов и объединенных с ними ребер жесткости облегченной конструкции с толщиной стенок 10 – 12 мм. Ширина асфальтобетонного полотна, уложенного на верхнее строение, после завершения первой очереди строительства составляет 16 м, то есть половину от проектной. 20 мая 2010 года в 18:40 по московскому времени было перекрыто автомобильное движение по новому мосту через реку Волга в городе Волгограде, так как начались колебания пролетов моста, размах которых достиг почти одного метра (Рис. 2). Все это продолжалось около часа. Все это относилось только к подвесным или вантовым мостам, а не к балочным, каковым является Волгоградский мост. Тем временем, совершенствование способов проектирования постепенно привело к тому, что и балочные мосты стали значительно более тонкими, легкими, изящными и, соответственно, менее жесткими, чем ранее.



Рис. 2. Колебания Волгоградского моста.

Известно, что имеется близнец Волгоградского моста по конструкции пролетов – новый Саратовский мост. Его основная часть между правым берегом Волги и островом Котлубань хоть и сильно отличается от Волгоградского моста по числу пролетов, однако их длина (за исключением крайних, расположенных у самых берегов или вообще полностью над землей) почти такая же: 10 пролетов по 126 м и 3 – по 157 м, 29. Длинные судоходные пролеты расположены недалеко от острова. Первая очередь Саратовского моста (половина верхнего строения, как сейчас на Волгоградском мосту) была открыта 16 декабря 2000 года, а полностью в строй мост вошел в строй 16 октября 2009 года, через 6 дней после открытия первой очереди Волгоградского моста. Строительство второй очереди Саратовского моста велось с левого берега реки. Середина этого строительства по данным источника приходится на зиму или начало весны 2009 года. Таким образом, оценка сверху продолжительности строительства второй очереди моста составляет не более полутора лет. Следовательно, в течение более 7 лет группа из трех пролетов длиной 157 м Саратовского моста находилась примерно в том же состоянии, в каком аналогичные три пролета Волгоградского моста, попавшие в срывной флаттер через 7 месяцев после начала эксплуатации.

Почему же за все эти годы на длинных пролетах Саратовского моста в отличие от Волгоградского моста не произошел срывной флаттер? Существуют два возможных ответа на этот вопрос.

Первый предполагает слабые отличия в длине пролетов этих мостов (157 и 155 м), отличия в граничных условиях для этой группы пролетов (у Волгоградского моста с одной стороны к этой группе прилегает пролет длиной 130 м, а у Саратовского моста – длиной всего лишь 84 м), а также возможные другие не слишком значительные конструктивные отличия, которые привели к достаточно заметному сдвигу собственных частот колебаний длинных пролетов этих двух мостов.

Второй ответ – за прошедшие годы Саратовский мост никогда не обдувался ветром с той скоростью, которая вызвала флаттер Волгоградского моста из-за различия их топографического окружения.

27 декабря 2006 года около 17 часов после окончания рабочей смены произошло обрушение строящегося моста через реку Западная Двина на юго-западном обходе Витебска. Этот мост строился по новой технологии: металлические конструкции собирались на берегу, а затем надвигались на бетонные опоры. 26 декабря это было сделано, а на следующий день пролет моста длиной 126 м сломался пополам и упал в реку (Рис. 3). Доступ к месту происшествия сразу же был закрыт – на расстоянии примерно полутора километров от недостроенного моста было установлено оцепление. В прессе после первых кратких сообщений об аварии никакой информации более не появилось, однако, стало известно, что подул ветер, и, вследствие вихревого возбуждения развились колебания конструкции. Когда в корне балки прирост напряжений достиг 120 МПа, она сломалась. Следует отметить, что берега Западной Двины в этом месте довольно крутые и высокие, а мост строился там, где возвышенности, расположенные на обоих берегах реки, сближаются, увеличивая местную скорость ветра.



Рис. 3. Обрушение недостроенного моста в Витебске.

При некоторых метеорологических условиях (главным образом при обледенении) провода линий электропередачи, протянутые между пилонами, могут колебаться с весьма большими амплитудами и низкими частотами. Аналогично такие явления происходили с тросами вантового моста в Бейтауне штат Техас, когда дождевые потоки, стекая, изменяли профиль тросов настолько, что ветер начинал раскачивать их (Рис. 4). Причем это происходило именно при умеренном дожде и ветре, дующем в определённом направлении.



Рис. 4. Колебания троса на мосту в Бейтауне штат Техас.

Может существовать ошибочное мнение, что колебание в этих мостах происходило в результате явления резонанса. На самом деле природа явления этих колебаний совершенно иная.

Явление, описанное в этих случаях, в науке называется автоколебанием или термином, взятым из авиации, - флаттером. Для флаттера такой солидной конструкции как мост, тем

более от ветра (аэродинамическая сила весьма незначительна по сравнению с массой и даже с грузоподъемностью пролета) необходимы три условия:

1) Флаттер зависит от скорости потока, а также от плотности и температуры воздуха. Предположим, что скорость изменяется. От скорости потока зависит значение энергии, получаемой системой за один цикл колебаний, и значение энергии, рассеиваемой за цикл колебаний вследствие внутреннего и аэродинамического демпфирования. Когда отношение этих значений энергии становится равным единице, в системе могут установиться колебания постоянной амплитуды;

2) Вектор подъемной силы должен совпадать по направлению с вектором скорости центральной части пролета при колебании (связь обычно кинематическая), и требуется точное совпадение собственных частот крутильных и изгибных колебаний. Необходимо также, чтобы кинетическая энергия ветрового потока, которая зависит как от скорости, так и от плотности ветра, была достаточной для возбуждения колебаний.

3) Коэффициент демпфирования конструкции должен быть очень малым. Второе условие с очень большой вероятностью получается для моста с несущей металлической конструкцией, причем не ферменного, а именно типа неразрезной коробчатой балки с большим отношением длины пролета к высоте профиля. (Рис. 5)

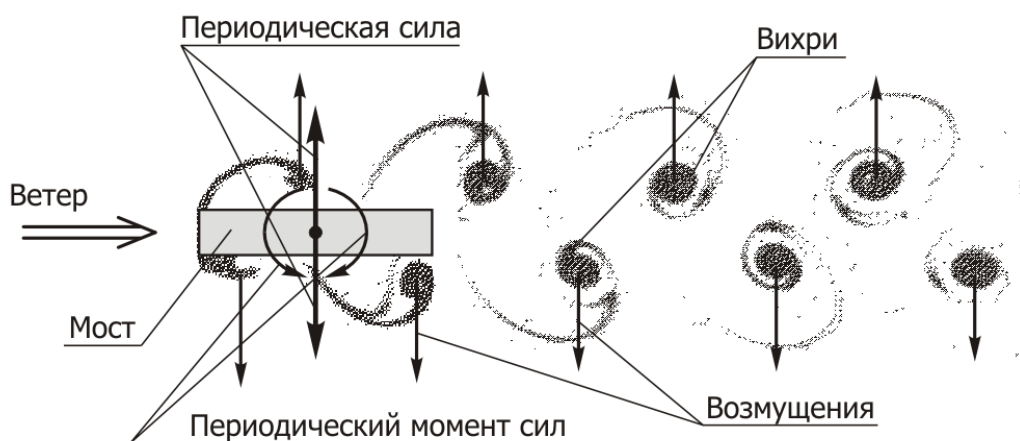


Рис. 5. Схема воздействия ветра на конструкцию типа коробчатой неразрезной балки.

Появилось желание проверить влияние изменения скорости ветра на модели. Модель колебательной системы представляет с собой прямоугольную жесткую раму из алюминиевых уголков. Внутри рамы на четырех податливых пружинах подвешен деревянный брусок полукруглого сечения длиной 370мм и диаметром 38мм (Рис. 6). Поток воздуха создается бытовым вентилятором с тремя позициями изменения интенсивности «ветра». К решетке вентилятора приклеены магнитофонные ленты длиной 350мм.



Рис. 6. Экспериментальная модель.

Испытания проводились при изменении интенсивности потока воздуха от нуля до максимума. Обдув производился как с плоской стороны бруска (Рис. 7а), так и с полукруглой (Рис. 7б). Движение струи воздуха можно было наблюдать с помощью магнитофонных лент. Процесс проведения эксперимента фиксировался на видеокамеру.

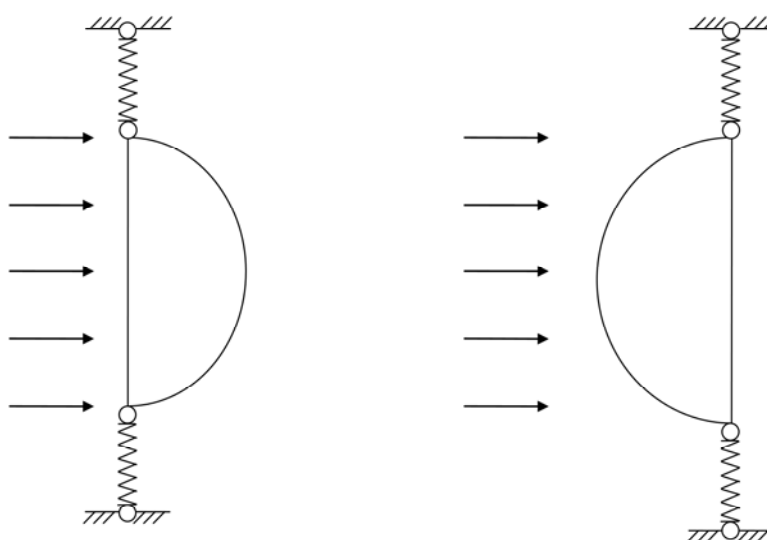


Рис. 7. Схема ветрового воздействия на модель

а) воздействие на плоскую поверхность

б) воздействие на обтекаемую поверхность

Уже при слабом ветровом воздействии наблюдались незначительные колебания. С увеличением скорости ветра признаки автоколебания становятся более явными. При максимальной скорости потока воздуха, создаваемой вентилятором, амплитуда колебаний, перпендикулярная к направлению потока, достигала такого величина, что вызывала «подпрыгивание» модели (Рис. 8). Такой стержень полукруглого сечения хорошо моделирует условия реальной системы в условиях флаттера или «галопирования».



Рис. 8. Автоколебания модели при максимальной скорости потока воздуха.

После этого этапа испытания модель поворачивалась полукруглой поверхностью к ветровому потоку. В этом случае даже при максимальной скорости обдува, явление флаттера не проявилось. Данный этап эксперимента подтвердил, что обтекаемая форма вызывает ламинарное обтекание потока воздуха, не вызывая никаких колебаний. Кстати при проведении испытаний было замечено, что магнитофонные ленты также находились в режиме автоколебаний, а именно, совершали волновой эффект в поперечном направлении (Рис. 9). После остановки вентилятора колебания продолжают, постепенно затухая, то есть как собственные колебания системы.



Рис. 9. Автоколебания магнитофонных лент под действием потока ветра.

В результате проведенного испытания были выявлены значительные колебания деревянного бруска в вертикальном направлении. Это позволяет сделать вывод, что автоколебания развиваются с собственной частотой, скорее всего, первого тона и по первой форме (звучание струн под действием смычка), то есть так, как «настроена» колебательная система. Форма колебаний зависит от конструктивной формы сооружения. Интенсивность автоколебаний зависит полностью от количества энергии, а именно, что при увеличении потока ветра, соответственно, увеличивается интенсивность колебания.

Существуют три пути борьбы с флаттером.

Первый способ основан на таком изменении характеристик системы, при котором достигается независимость колебаний, соответствующих различным степеням свободы, причем демпфирование всех этих различных форм колебаний положительно. Так можно добиться того, чтобы поворот оси профиля крыла относительно продольной оси сечения слабо зависел от вертикального перемещения оси. Для этого нужно, чтобы ось занимала определенное положение, а распределение массы по сечению профиля удовлетворяло определенному условию.

Другой способ заключается в увеличении собственных частот конструкции за счет увеличения отношений «жесткость/масса» отдельных ее частей. Этот способ основан на том, что энергия, получаемая системой при флаттере за один цикл колебаний, почти не зависит от частоты, тогда как энергия, рассеиваемая за один цикл, пропорциональна частоте. Два рассмотренных метода обычно используются в практике самолетостроения.

Третий метод борьбы с флаттером, вызываемым аэродинамическими силами, не всегда эффективен, но часто с успехом используется для устранения других видов автоколебаний. Этот метод заключается в демпфировании системы. Увеличивая трение в системе, склонной к флаттеру (т.е. увеличивая энергию, рассеиваемую за один цикл колебаний заданной амплитуды) можно, как правило, повысить критическую скорость системы.

ВЫВОДЫ

1. Явление автоколебаний не изучено до конца и требует дальнейшего изучения.
2. С появлением современных высокопрочных материалов облегчается и утончается их конструкция, а вследствие, увеличивается их гибкость, что увеличивает вероятность явления автоколебаний в строительных конструкциях.
3. При проектировании конструкции определенного вида необходимо учитывать аэродинамические свойства конструкции и особенности гидрометеорологических условий данной местности. Это можно проверить на моделях, испытываемых в аэродинамической трубе, что должно быть стандартной процедурой при проектировании строительных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бишоп Р. Колебания (перевод с англ. под ред. Пановко Я.Г.).- изд. Наука, Москва, 1979. - 160 с..
2. Вайнберг Д.В., Писаренко Г.С. Механические колебания и их роль в технике.- изд. Наука, Москва, 1965. - 276 с.
3. <http://www.synerjetics.ru/article/flutter.htm>
4. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи гидроупругости.- изд. Наука, Москва, 1979. - 320 с..

УДК 624.151.5

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭПЮРЫ НОРМАЛЬНЫХ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ ПОД ПОДОШВОЙ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Дьяков И.М. к.т.н., доцент, Дьяков А.И., студент

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Рассмотрены вопросы трансформации эпюры нормальных контактных напряжений под подошвой железобетонных прямоугольных отдельно-стоящих фундаментов при повторных нагружениях. Обоснована необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

Отдельно стоящие фундаменты, циклические нагрузки, эпюра контактных напряжений, продавливание

ВВЕДЕНИЕ

В работе системы основание-фундамент прочность фундамента на изгиб и продавливание в значительной степени зависит от формы эпюры нормальных контактных напряжений. Нормами расчета отдельно стоящих фундаментов на изгиб и продавливание предусмотрено использование прямоугольной или трапецевидной эпюры контактных напряжений [1]. Работа грунта основания, как правило, рассматривается в упругой стадии. Как показывают многочисленные исследования, при нагружении фундамента происходит