

## **О ВЛИЯНИИ СМЕЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИНЕРЦИОННО-УДАРНЫХ ГАСИТЕЛЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ ВЕТРОВОГО РЕЗОНАНСА БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Горохов Е.В., Мущанов В.Ф.**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,*

**Гримуд Г.И.**

*НЭК «Укрэнерго»,*

**Кулябко В.В., Масловский А.В., Михеев А.В.**

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

---

Введение – состояние моделирования смежных и составных сооружений из стержневых элементов, гибких нитей и связей различного характера.

Известно, что смежные конструкции, сооружения и их подсистемы могут оказывать существенное влияние на динамические характеристики строительных объектов. Например, в изданной в Польше книге [1] описаны методики измерения и анализа вибрации костелов, зданий и сооружений, расположенных вблизи транспортных магистралей.

Кроме того, серьезную трудность для современного проектировщика представляет проблема ветрового резонанса объекта или его элемента. К сожалению, удобная и достаточно простая инженерная методика расчета сооружений цилиндрической формы (на возникающее при их взаимодействии с ветровым потоком так называемое вихревое возбуждение), которая давалась в нормах 1974 г. (СНиП II-6-74) и 1978 г. (Руководство по расчету на ветровую нагрузку), в последующих действующих нормативных документах [2, 3] была исключена. Это явление, а также другие сложные явления аэроупругих колебаний (типа галопирования, бафтинга) в общем виде были рассмотрены в работах [4–6]. В конкретных областях техники известны результаты весьма специфических исследований – например, один из современных вариантов анализа взаимодействия ветрового потока с опорами линий электропередачи (ЛЭП), с воздушными линиями и открытыми распределительными устройствами (ОРУ) дан в работе [7], а некоторые предложения по нелинейным расчетам участков ЛЭП были даны в работах [8, 9].

Быстрый прогресс компьютерной техники позволил создать программные комплексы на базе МКЭ (с многоэлементными объектами и разнообразными статическими и динамическими нагрузками), прежде всего, в линейной постановке. XXI век характерен очень частым выпуском постоянно обновляемых версий наиболее популярных в Украине ПК ЛИРА, SCAD [10, 11]. Отрадно отметить, что последние версии этих ПК успешно «ведут атаки» на некоторые, начально-простейшие, нелинейные расчеты: учитываются некоторые виды физических и геометрических нелинейностей не только при статических, но и при динамических нагрузках.

На предыдущих конференциях по мостам и дорогам в Киеве (НТУ и ДержДорНДІ в 2001, 2006, 2007 гг.) авторы данной статьи описывали отдельные методики и предложения по статико-динамическим расчетам, конструированию и технической диагностике сложных мостовых и дорожных конструкций [12-15]. Характерными чертами указанных методик были:

- решения тех теоретических задач, которые в настоящее время не могут быть исследованы с применением метода конечных элементов (МКЭ) – в этих случаях применяются особые альтернативные методики и статико-динамические модели (см. упомянутые труды НТУ);
- использование численных решений дифференциальных уравнений движения во временной области;

- исследование влияния на реакции систем и подсистем сооружений большого спектра различных нелинейностей, воздействий и взаимодействий (с воздушным потоком, с подрессоренными транспортными средствами, с толпой пешеходов и т.д.).

В работе [15] влияние смежных строительных объектов на частоты и формы собственных колебаний основного объекта исследовалось применительно к многоэтажным зданиям, причем сопоставление этих динамических характеристик, являющихся косвенным показателем комфорта, проводилось на основе рекомендаций соответствующего международного стандарта ISO. Оказалось, что реализация простейшей конфигурации составного здания, в котором несколько параллельных базовых зданий объединяются в двух-трех уровнях по высоте небольшими галереями, имеет ухудшенные (по сравнению с базовым – одиночным зданием) показатели по второй и третьей формам собственных колебаний. Из этого следует необходимость научного подхода при поиске рациональных конфигураций составных объектов.

В данной статье рассматриваются задачи, связанные с эксплуатацией весьма ответственных элементов ОРУ – так называемой жесткой ошиновки. Поведение горизонтально расположенных сборных шин жесткой ошиновки (в дальнейшем – алюминиевые трубы) при критических скоростях ветра, по свидетельствам очевидцев, напоминает явление ветрового резонанса. Критическая скорость  $V_{кр}$  горизонтального ветрового потока, как известно, зависит, в основном, от диаметра  $D$  цилиндра и частоты собственных колебаний (сооружения или его элемента):  $f_i = 1/T_i$ . Для колебаний ветрового резонанса трубы (шины) критическая скорость определяется по формуле

$$V_{кр} = 5D/T_i. \quad (1)$$

В данной работе вначале исследуются частоты и формы собственных пространственных колебаний нескольких вариантов конструкций сборки. Это сделано для того, чтобы оценить влияние опорных и смежных конструкций и затем в формуле (1) учесть более корректно период собственных колебаний всей сложной составной системы, ибо наличие упругих несущих конструкций на опорах трубы снижает ее собственные частоты. При этом расчеты ведутся по стержневым моделям методом конечных элементов (МКЭ) при помощи вычислительного комплекса SCAD.

Затем следует раздел, в котором на специальном компьютерном комплексе исследуются вертикальные колебания трубы с гасителями, с разрывом связи между ними при интенсивных нелинейных колебаниях. Колебания моделировались во временной области. Использовался математический аппарат, реализуемый в пакетах типа MatLab.

В заключительном разделе приводятся статико-динамические модели и расчеты прикрепляемых к опорам и шинам ОРУ воздушных линий (нитей). В докладе обсуждаются также возможные варианты стабилизации труб и всей системы, сформулированы перспективные направления теоретических и экспериментальных исследований.

### **1. Влияние смежных опорных конструкций на частоты и формы собственных колебаний пространственных систем**

В данном разделе рассматриваются следующие подсистемы: **алюминиевая труба** (диаметр 220 мм, толщина стенки 4 мм; сплав 1915Т) с шарнирным или полностью защемленным («жестким») закреплением посредством вертикальных изоляторов на раме, а также пространственная рама с двумя и с пятью пролетами труб. При этих исследованиях для их универсальности будем рассматривать две границы всех частотных диапазонов: минимальные и максимальные частоты. Будем варьировать массы рамы и основной трубы. Так как к трубе крепятся провода внешних воздушных линий, а внутри нее устанавливаются провода гасителей, то массы всех этих проводов и крепежных деталей условно для максимального

варианта сосредоточены в трех сечениях каждого пролета, величина каждой такой дополнительной массы принята 70 кг. Общая длина блоков – 17 м; 34 м; 85 м, высота до оси горизонтальной трубы равна 12,5 м (все размеры для получения более низких частот приняты наибольшими из предполагаемых; условно принимались сечения: изолятора – труба 150x4 мм; рама – стойки – труба 316x6 мм, ригель – квадратная труба 300x300x4 мм).

В итоговой таблице данного раздела (табл. 1) приведены частоты низших форм собственных колебаний для отдельной шины (варианты 1-4) с шарнирными (вар. 1, 2) и жесткими (вар. 3, 4) опорами; соответственно для двух (вар. 5-8) и пяти (вар. 9-12) пространственных пролетов. Заметим, что эти результаты для отдельной балки совпали с результатами для континуальной модели: известна формула линейной частоты любого  $i$ -го тона для балки с пролетом  $l$ , с погонной массой  $\bar{m}$  и с изгибной жесткостью  $EI$  ( $I$  – момент инерции сечения трубы,  $E$  – модуль упругости материала сплава):

$$f_i = \frac{i^2 \cdot \pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (2)$$

Дополнительные сосредоточенные грузы 3x70 кг понизили частоты соответствующих изгибных тонов собственных колебаний шины почти в два раза. Максимальное ужесточение опор до заземления (вар. 3, 4) повышает низшую частоту вар. 1, 2 более чем в 2 раза.

Далее проанализируем степень понижения собственных частот трубы-шины из-за учета нижележащих упругих конструкций опорных рам и изоляторов. Вначале это исследуем на двухпролетной системе.

Учет изгибных жесткостей изоляторов и рам дал низшую частоту 0,66 Гц при шарнирном опирании, но этой частоте соответствовала форма колебаний с преобладающими продольными перемещениями всех труб поступательно и без существенного изгиба. А интенсивные колебания труб в этом варианте происходят на частоте 1,197 Гц (вторая собственная форма). Заметим, что такое поведение труб на низших нескольких собственных формах соответствует очень близким частотам от 1,197 до 1,27 Гц.

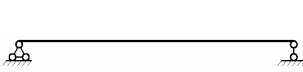
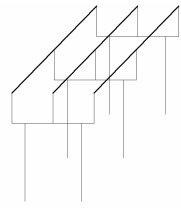
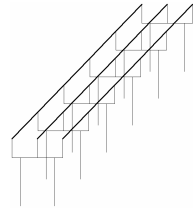
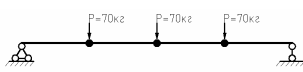
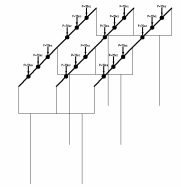
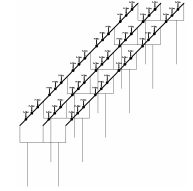
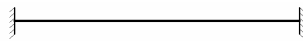
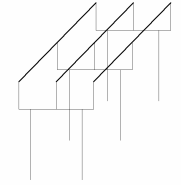
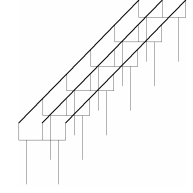
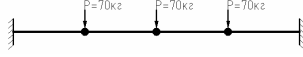
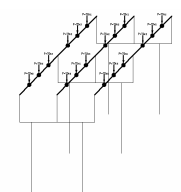
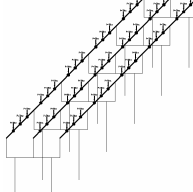
Добавление масс 3x70 кг на каждой трубе понижает частоты описанных форм двухпролетной системы при шарнирном опирании до диапазона 0,61-1,14 Гц (формы колебаний системы без дополнительной нагрузки и с ней качественно весьма близки).

В системе с двумя пролетами добавление масс 3x70 кг частоту поступательных перемещений труб по горизонтали понижает незначительно: при шарнирном опирании с 0,66 до 0,61 Гц, при жестком – с 0,73 до 0,68 Гц. Причем при жестком опирании на второй собственной форме проявляется изгиб рам поперек осей труб-шин в одной фазе (форма 2) или в противофазе движения торцевых рам (форма 3), или в противофазе средней и торцевых рам (форма 4), а также индивидуальное закручивание рам вокруг их вертикальной оси симметрии (форма 5).

Особенности поведения жесткой ошиновки при большом количестве пролетов исследовались на пятипролетных рамах. Первая форма в этом многопролетном сооружении остается продольно-поступательная, а вторая – поперечно-поступательная. Эти формы для шарнирных опор аналогичны двухпролетному варианту.

Следовательно, при ветровом резонансе шины изгиб труб автономных без опорных рам происходит (при принятых условных сечениях) в частотном диапазоне около 2-5 Гц при отсутствии больших нагрузок в пролете. Нагружение шин снижает этот диапазон до 1-3 Гц. Установка труб на опорные изоляторы и рамы снижает частоты изгибных колебаний труб в 1,5-2 раза, причем эти колебания возникают не на первой форме собственных колебаний всей системы. Это последнее обстоятельство требует индивидуального расчета наиболее опасных изгибных форм для определения соответствующего периода  $T$  для определения критической скорости ветра (1).

Таблица 1 – Частоты собственных колебаний ошиновки при различных закреплениях и массах

Тип подсистемы (вариант закрепления труб на изоляторах)	Низшие собственные частоты, Гц	Тип подсистемы (вариант закрепления труб на изоляторах)	Низшие собственные частоты, Гц	Тип подсистемы (вариант закрепления труб на изоляторах)	Низшие собственные частоты, Гц
1. Шарнирное закрепление 	2,12	5. Шарнирное закрепление 	I – 0,66 II – 1,19	9. Шарнирное закрепление 	I – 1,29 II – 1,6 III – 1,66 IV – 1,74 V – 1,86
2. Шарнирное закрепление 	1,18	6. Шарнирное закрепление 	I – 0,61 II – 0,95 III – 1,06 IV – 1,09 V – 1,14	10. Шарнирное закрепление 	I – 0,93 II – 0,95 III – 0,99 IV – 1,04 V – 1,06
3. Жесткое закрепление 	4,81	7. Жесткое закрепление 	I – 0,73 II – 1,21 IV – 1,29	11. Жесткое закрепление 	I – 1,13 II – 1,65 III – 1,69 IV – 1,79 V – 1,96
4. Жесткое закрепление 	2,67	8. Жесткое закрепление 	I – 0,68 II – 1,09 IV – 1,27	12. Жесткое закрепление 	I – 1,14 II – 1,31 III – 1,33 IV – 1,36 V – 1,40

Заметим, что по старым нормативным документам (см., например, СНиП 2-6-74) существовал диапазон для критических скоростей ветра, в котором проверка на ветровой резонанс могла не производиться. Это касалось критических скоростей более 25 м/с и менее  $2\sqrt{q_0}$ . Если принимался нормативный скоростной напор ветра на высоте 10 м (например, для третьего ветрового района  $45 \text{ кгс/м}^2$ ), то нижняя граница получалась равной примерно  $2 \times 6,7 = 13,4 \text{ м/с}$ . Для рассмотренных случаев (см. итоговую таблицу) критические скорости ветра (с позиции ветрового резонанса) могут определяться по формуле (1) как  $5Df = 5 \times 0,22 \times f = 1,1 f$ .

Следовательно, судя по прежним рекомендациям, расчет на ветровой резонанс жесткой ошиновки можно было бы не производить, если бы критическая скорость была менее 13,4 м/с, а при этом частота была бы менее  $13,4/1,1 = 12,2 \text{ Гц}$ . Как видно из табл. 1, все низшие формы колебаний (и отдельных труб, и труб вместе с опорными рамами) при изгибных деформациях труб имеют основные частоты изгибных форм не более 5 Гц. Однако, в новых нормах [2] в п.9,17 (и в разделе 12) отсутствует упомянутый диапазон и сказано, что для «высоких сооружений...необходимо производить поверочный расчет на вихревое возбуждение (ветровой резонанс)». Следовательно, такая проверка необходима.

## 2. Моделирование колебаний трубы (изгибных колебаний основного тона) с ДГК классического типа. Анализ отрыва гасителя от трубы при ветровом резонансе

В некоторых ОРУ внутри горизонтальных труб крепятся свободно уложенные в трубу провод или трос. При ветровых резонансных колебаниях трубы они работают как бы между ударными и динамическими гасителями колебаний. Эффективность их работы нуждается в теоретической и экспериментальной проверке. Для того, чтобы изучить эту систему, смоделируем ее работу по наиболее простой схеме – сначала как простого осциллятора без гасителя, а затем – как цепочечной системы с классическим ДГК.

**2.1. Изучение первого тона изгибных колебаний трубы (модель – осциллятор).** Примем условную массу частично загруженной шины равной 100 кг. На основании результатов раздела 1 зададимся частотой собственных колебаний шины порядка 1,5 Гц. Тогда соответствующую жесткость  $R$  пружины-балки можно определить из следующего выражения:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R}{M}}, \quad (3)$$

откуда  $R = 4\pi^2 \cdot M \cdot f^2 = 4 \cdot (3,14)^2 \cdot 100 \cdot 1,5^2 = 8882 \text{ Н/м}$ .

Логарифмический декремент колебаний трубы без гасителя примем равным  $\delta = 0,1$ . Тогда при малом трении и малых колебаниях коэффициент эквивалентного вязкого трения равен примерно

$$\beta = 2Mf\delta = 2 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 0,1 = 30 \text{ Н с/м}. \quad (4)$$

Предположим, что к массе-шине приложена гармоническая сила (моделирующая при критической скорости ветра явление ветрового резонанса) с резонансной частотой и с амплитудой возмущающей силы 30Н. Система обыкновенных дифференциальных уравнений (после замены переменных в дифференциальном уравнении второго порядка), описывающая такие колебания, см. (5), имеет неизвестные  $X_1, X_2$  – перемещения и скорость среднего сечения трубы.

$$\dot{X}_1 = X_2;$$

$$100 \cdot \dot{X}_2 = -8882X_1 - 30X_2 - 30\sin(9,42 \cdot t) - mg. \quad (5)$$

Решение такой системы дифференциальных уравнений при нулевых начальных условиях (при внезапном приложении силы тяжести) показывает (на рис. 1 – свободные колебания, а на рис. 2 – вынужденные), что при ветровом резонансе устанавливаются стационарные колебания с постоянной амплитудой перемещений, равной 0,11 м.

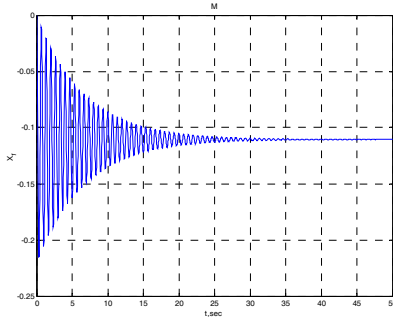


Рис. 1. График свободных колебаний шины

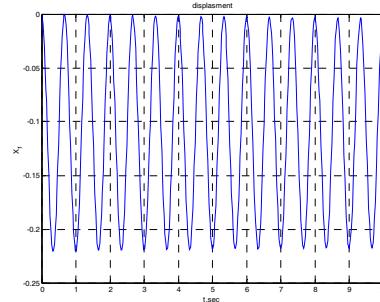


Рис. 2. График вынужденных колебаний при ветровом резонансе трубы без гасителя

Из графика свободных затухающих колебаний (из рис. 1:  $\delta=0,105$ ) видно, что статический прогиб трубы в данном случае тоже равен 0,11м. Увеличив фрагмент графика, можно определить для контроля ЛДК.

**2.2. Колебания осциллятора с классическим ДГК.** Определим жесткость пружины ДГК из условия настройки ДГК. Пусть величина массы ДГК будет весьма малой (около 5 % от колеблющейся основной массы), и равна 5 кг. Тогда жесткость, с которой она прикреплена к основной массе, можно определить из формулы  $\theta^2 = \frac{R_2}{M_2}$  следующим образом:

$$R_2 = \theta^2 \cdot M_2 = 9,42^2 \cdot 5 = 443 \text{ Н/м}. \quad (6)$$

Вязкое трение в комплекте между основной массой и массой ДГК определим («пропорционально жесткостям») – из соотношения жесткостей на основной массе и в ДГК и примем равным  $30 / (8882 / 443) = 1,496 \text{ Н с/м}$ . Система дифференциальных уравнений вынужденных колебаний, описывающая поведение цепочки из двух масс, записана следующими четырьмя обыкновенными дифференциальными уравнениями (здесь  $X_1$  и  $X_2$  – вертикальные перемещения основной массы и ДГК соответственно;  $\dot{X}_3$  и  $\dot{X}_4$  – скорости этих процессов колебаний):

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= X_3; \quad \dot{X}_2 = X_4; \\ 100 \cdot \dot{X}_3 &= -8882,64X_1 - 30X_3 - 30\sin(9,42 \cdot t) + 443,68(X_2 - X_1) + 1,496(X_4 - X_3) + Mg \\ 5 \cdot \dot{X}_4 &= -443,68(X_2 - X_1) - 1,496(X_4 - X_3) + mg \end{aligned} \quad (7)$$

(Более подробно компьютерный инструментарий по реализации данной методики динамического расчета приведен в статье Масловского А.В. в этом сборнике).

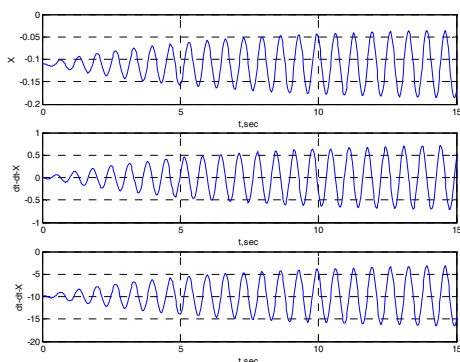
В соответствии с (7), и рис. 2 (без ДГК) через некоторое время (30-50с) установится постоянная амплитуда колебаний ветрового резонанса шины, равная 0,002м. Амплитуда колебаний понизилась в 55 раз. Здесь же обратим внимание на темп включения ДГК в эффективную работу: при малом трении это время составляло примерно 30 с; при увеличении трения в трубе-шине в 3 раза ДГК включается через 10 с (в 3 раза быстрее), а в 4 раза – через 5 с.

**2.3. Исследование условий отрыва гасителя от трубы.** Рассмотрим теперь задачу, в которой необходимо определить динамические параметры и возмущающую силу, при которой в процессе вихревого возбуждения колебаний шины происходит отрыв внутреннего троса – гасителя колебаний (ГК) от внутренней поверхности трубы.

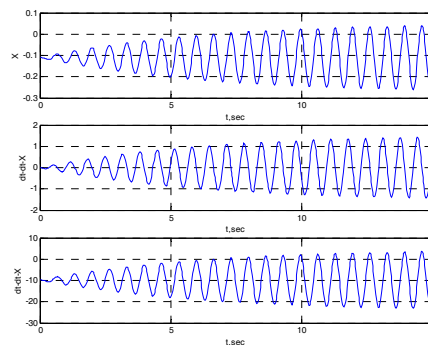
Для этого прежний осциллятор (масса 100 кг; жесткость 8882 Н/м; коэффициент вязкого трения 30 Н·с/м; амплитуда силы 25 Н при частоте возмущения 1,5 Гц) сначала рассмотрим в режиме с ускорениями среднего сечения трубы, меньшими, чем ускорение силы тяжести  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ . Такое ускорение, очевидно, будет иметь и внутренний трос-гаситель, в результате чего он не будет отрываться от трубы и не будет создавать эффект гашения (см. рис. 3). Заметим, что амплитуда перемещений трубы приближается в этом случае к 100мм, а ускорений – к  $8 \text{ м/с}^2$ .

Если же увеличить амплитуду силы ветрового резонанса с 25 Н до 50 Н то условие отрыва будет выполнено (рис.4). Ускорение троса станет больше  $g$ , и трос начнет отделяться от трубы. В таком режиме амплитуда перемещений трубы приближается к 150 мм, а ускорений – к  $12 \text{ м/с}^2$ .

При дальнейшем росте амплитуды колебаний трубы на каком-то этапе трос начнет ударяться о верхнюю и нижнюю поверхности в трубе, и только после этого, возможно, он начнет создавать эффект гасителя колебаний.



*Рис. 3. Перемещения (верхняя виброграмма), скорости (средняя) и ускорения (нижняя) среднего сечения трубы и внутреннего троса при силе 25 Н (безотрывный режим)*



*Рис. 4. Перемещения (верхняя виброграмма), скорости (средняя) и ускорения (нижняя) среднего сечения трубы и троса при силе 50 Н (на 6-8 секунде, с 9-11 периода – отрыв)*

**3. Некоторые направления перспективных теоретических и экспериментальных исследований.** Рассмотрим возможный вариант исследований виброударного процесса гашения колебаний шины с целью поиска рациональных конструктивных решений и их параметров.

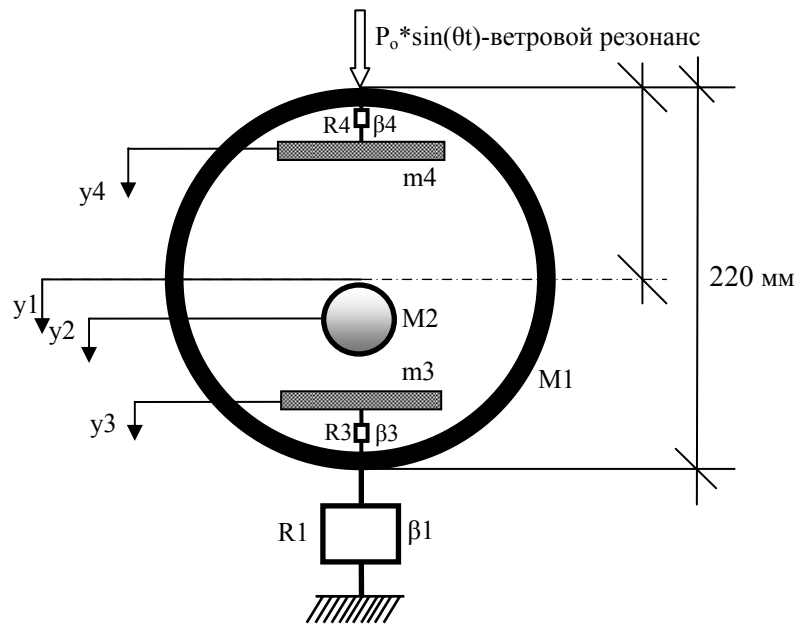


Рис. 5. Перспективная нелинейная динамическая модель виброударного процесса

На рис. 5 приведена перспективная нелинейная динамическая модель виброударного процесса ветрового резонанса системы с односторонними связями для исследования взаимодействия алюминиевой трубы (шины) с ветровым потоком на критических скоростях ветра при наличии в трубе свободно лежащего гасителя колебаний (троса). Здесь обозначено:

$M1$  – основная масса, моделирующая алюминиевую трубу 220x4 мм, равная (для эквивалентности частот первой формы собственных колебаний) примерно половине массы всей трубы с учетом внешних нагрузок;

$M2$  – масса условного отрезка (соответствующего  $M1$ ) гасителя колебаний в виде троса;

$m3, m4, R3, R4, \beta3, \beta4$  – весьма малые по величине массы, жесткости и коэффициенты вязкого трения для условного учета соударений масс  $M1$  и  $M2$  в дифференциальных уравнениях движения;

$y1, y2, y3, y4$  – обобщенные координаты соответствующих масс;

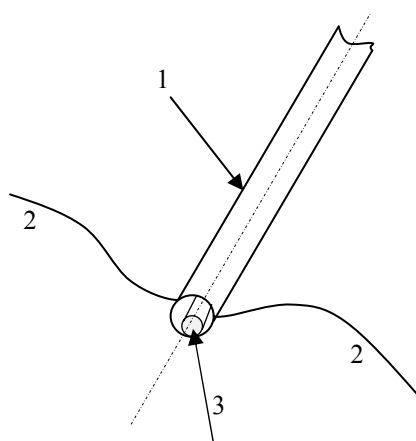
$R1, \beta1$  – жесткость и коэффициент вязкого трения, моделирующие упруго-диссипативные свойства алюминиевой трубы и всех опорных конструкций;

$P_0$  – амплитуда гармонической возмущающей силы, возникающей при ветровом резонансе конструкции;

$\theta$  – круговая частота вынужденных колебаний конструкции, соответствующая критической скорости ветрового потока;

$t$  – время колебательного процесса при ветровом резонансе и определенных начальных условиях.





1 – труба (шина); 2 – присоединяемые воздушные линии (гибкие нити);  
3 – внутренний трос-гаситель.

Рис. 6. Фрагмент жесткой ошиновки

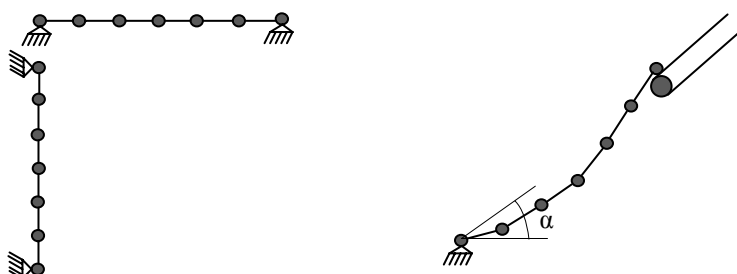


Рис. 7. Статико-динамическая модель ВЛ (нити) при различных начальных углах крепления  $\alpha$  и для схем тестирования  $\alpha=90^\circ$ ;  $\alpha=0$ ; и около  $45^\circ$

Выполним тестирование этой модели, взяв за исходные данные значения параметров нити из книги В.Н.Шимановского [9]. Результаты тестирования сведем в табл.2.

**Таблица 2** – Сравнение результатов статических тестов нити по разным методикам

$I$	$\alpha$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$
Полное статическое перемещение в средней точке нити				
	SCAD	0,2431	0,198	4,2e-5
	C++	0,2364	0,2037	3,9e-5
Усилие при статическом провисании от собственного веса в припорном стержне				
	SCAD	2,382e4	1,745e4	7,947e2
	C++	2,245e4	1,66e4	6,125e2

На рис. 6 приведен фрагмент сочетания трубы (шины) с нитями воздушных линий и тросовым внутренним гасителем. Очевидно, что механические параметры присоединяемых нитей и тросов будут оказывать влияние на собственные частоты трубы (шины). И наоборот, неточно определенные собственные частоты всей системы могут привести к возникновению ветрового резонанса на незапланированных критических скоростях ветра. В связи с этим была составлена статико-динамическая модель нити для различных сочетаний отметок опор. Учитывались

продольные (и изгибные) деформации и диссипативные свойства при продольных (изгибных) колебаниях – см. рис. 7.

Для выбора вида дискретных моделей нитей и количества учитываемых в расчете сосредоточенных масс было проведено тщательное тестирование принятой методики (для систем типа рис.7 составление дифференциальных уравнений проводилось по аналогии с работой [7]) путем сравнения с результатами, полученными авторами при помощи МКЭ [11] и В.Н. Шимановским [9].

## Литература

1. Ciesielski R., Maciag E. Drgania drogowe i ich wplyw na budynki. // Wydawnictwo Komunikacji. – Warsaw.: 1990. – 248 p.
2. ДБН В.1.2-2:2006 “Нагрузки и воздействия”. – К.: Минстрой Украины, 2006. – 60 с.
3. СНиП 2.01.07-85 “Нагрузки и воздействия”. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 36 с.
4. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов. – М.: Транспорт, – 1987. – 240с.
5. Смирнов А.Ф. (ред.), Александров А.В., Лашеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Динамика и устойчивость сооружений / Уч. для вузов. – М.: Стройиздат, 1984. – 416 с.
6. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций: Справочник проектировщика / Под ред. Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
7. Горохов Є.В., Казакевич М.І., Турбін С.В., Назім Я.В. / Вітрові та ожеледі впливи на повітряні лінії електропередачі / За ред. Горохова Є.В. – Донецьк, 2005. – 348 с.
8. Гримуд Г.И., Кулябко В.В., Чабан В.П., Турбин С.В. / Новый способ моделирования взаимодействия воздушных линий и опор ЛЭП при их расчете на обрыв проводов // Theoretical Foundations of Civil Engineering – XII, OW PW. – Warsaw.: 2004. – P. 759-764.
9. Шимановский В.Н. Висячие системы: (Конструкции и расчет нитей конечной жесткости) – К.: Будівельник, 1984. – 208с.
10. Лантух-Лященко А.И. ЛИРА. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. – Уч. пособие. К.-М.: 2001. – 312 с.
11. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Киев: ВПП «Компас», 2001. – 448 с.
12. Кулябко В.В. Методы динамического формообразования (МДФ) мостов, конструирования (МДК) их нелинейных демпфирующих элементов и диагностики (МДД) технического состояния // Зб. “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво”, №73, Київ, НТУ, 2006. С. 195-199.
13. Кулябко В.В. Динамика пространственных объектов – расчеты, принципы конструирования и стабилизации // Пространственные конструкции зданий и сооружений – М.: «Девятка принт», 2004 – вып. 9 – С. 74-82.
14. Кулябко В.В. Резервы конструкторских приемов и методик расчетов нелинейного гашения колебаний зданий, сооружений и их элементов // Пространственные конструкции зданий и сооружений – М.: МОО ПК, 2005 – вып. 10 – С. 157-167.
15. Кулябко В.В., Масловский А.В., Михеев А.В. Особенности научного сопровождения предпроектных работ и эксплуатационного мониторинга для многоэтажных жилых зданий повышенной комфортности и живучести // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. Вып. 40–Днепропетровск, ПГАСА. 2007. – С. 69-73.