

УДК 624.042.8

В. Ф. МУЩАНОВ, С. А. ФОМЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДЛИННОМЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В статье рассматриваются новые способы гашения колебаний под действием вихревого возбуждения ветра (на примере конструкций жесткой ошиновки). Приведены теоретические исследования совместной работы конструкции жесткой ошиновки с пружинным гасителем и гасителем в виде жесткой вставки.

Ключевые слова: жесткая ошиновка, вихревое возбуждение ветра, гаситель колебаний, напряженно-деформированное состояние.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Жесткая ошиновка (ЖО) предназначена для передачи и распределения электрической энергии между высоковольтными аппаратами в составе как открытых (ОРУ), так и закрытых распределительных устройств (ЗРУ) быстромонтируемых комплектных трансформаторных подстанций. Одним из основных вопросов при проектировании конструкции жесткой ошиновки является вопрос стабилизации конструкции под действием различных динамических нагрузок.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Отечественные и зарубежные нормы [1, 2, 3] утверждают, что устойчивые (стабилизированные) ветровые резонансные колебания шин не наступают, если наибольший прогиб шин при периодическом срыве воздушных вихрей с резонансной частотой $u_{p,max}$ не достигает допустимых значений $u_{p,доп}$, т. е.

$$u_{p,max} \leq u_{p,доп}. \quad (1)$$

Если условие (1) не выполняется, тогда необходимо использование специальных устройств для гашения резонансных колебаний трубы-шины. Дальнейшие методики по выбору таких устройств и их параметров отсутствуют.

Целью исследования является создание новых (рис. 1) рациональных демпфирующих устройств гашения колебаний конструкций ЖО.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Пружинный гаситель (рис. 1) состоит из пружины и сосредоточенной на краю массы, которая колеблется в противофазе к основной конструкции.

Гаситель в виде жесткой вставки (рис. 2) – это твердое тело (полнотелое и полое), помещенное внутрь трубы на часть пролета или по всей длине конструкции.

Совместную работу конструкции, подверженной вихревому возбуждению ветра, и пружинного гасителя изложено в работе [4]. Масса пружинного гасителя колебаний лежит в пределах 1...3 % от массы колеблющейся конструкции.

Для гасителя в виде жесткой вставки механическая система мысленно разбивается на три тела: стержень A_0A_1 , твердое тело A_1A_2 и стержень A_2A_3 . Уравнения движения механической системы состоят из уравнения поперечных колебаний первого стержня A_0A_1 , уравнений движения твердой вставки A_1A_2 и уравнения поперечных колебаний второго стержня A_2A_3 .

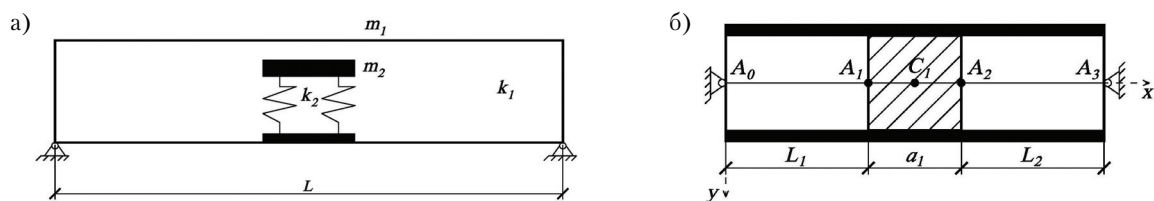


Рисунок 1 – Схема совместной работы жесткой ошиновки и гасителя колебаний: а) «пружинного гасителя» и трубы: m_1, m_2 – масса трубы и масса гасителя; k_1, k_2 – жесткость трубы и гасителя; б) гасителя в виде жесткой вставки и трубы: L_1, L_2 – длина части трубы; a_1 – длина жесткой вставки.

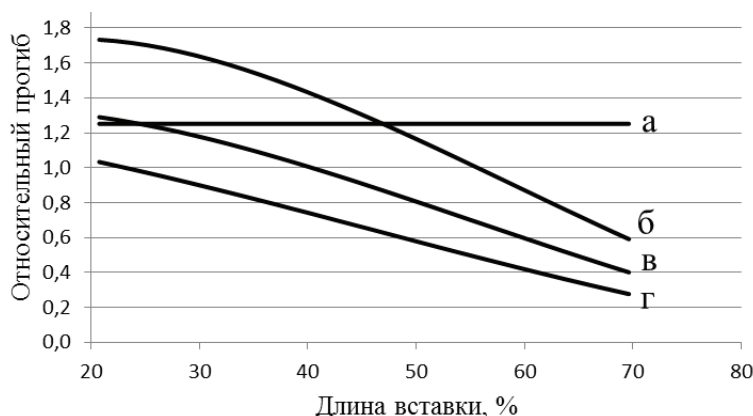


Рисунок 2 – Изменение относительного прогиба (амплитуды) трубы в зависимости от длины жесткой вставки: а – прогиб трубы без вставки; б – прогиб трубы со стальной вставкой; в – прогиб трубы с алюминиевой вставкой; г – прогиб трубы с деревянной вставкой.

Дифференциальные уравнения поперечных колебаний стержней A_0A_1 и A_2A_3 имеют вид:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0. \quad (2)$$

Этим уравнением поперечных колебаний стержня с достаточной точностью можно пользоваться в предположении, что размеры поперечных сечений стержня малы по сравнению с его длиной, в противном случае необходимо пользоваться более полным дифференциальным уравнением поперечных колебаний, учитывающим влияние поперечной силы и инерции вращения:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - mi^2 \left(1 + \frac{kE}{G} \right) \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{i^2 km^2}{FG} \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} = 0. \quad (3)$$

Уравнения движения твёрдой вставки A_1A_2 с частью трубы:

$$\begin{cases} m_1 a_y = \sum_k F_{ky}, \\ J_c \varepsilon = \sum_k m_{c1} (\bar{F}_k). \end{cases} \quad (4)$$

Из приведенных зависимостей были получены трансцендентные уравнения для определения частот собственных колебаний трубы-шины и новых гасителей колебаний, а также определены амплитуды собственных колебаний трубы-шины с приведенными гасителями колебаний.

Численный эксперимент (рис. 2) для гасителя в виде жесткой вставки проведен для стальной трубы сечением $159,0 \times 5,5$ мм, пролет трубы – 13,5 м, опирание на концах – шарнирное. Жесткая вставка рассматривалась полностью из древесины (плотность 500 кг/м^3), стали (плотность 7850 кг/м^3) и алюминиевого сплава (плотность 2770 кг/м^3). Длина жесткой вставки варьировалась в пределах 20...70 % от длины трубы.

ВЫВОДЫ

Впервые теоретически обосновано применение пружинного гасителя для гашения колебаний конструкций жесткой ошиновки. Масса пружинного гасителя лежит в пределах (1...3) % от массы шины. Жесткость пружинного гасителя зависит от частоты собственных колебаний трубы-шины.

Впервые получены рациональные параметры гасителя в виде жесткой вставки. Гаситель рационален при его небольшой массе (плотность менее 500 кг/м³) и длине, равной 40...60 % от длины трубы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОУ 40.132385941-39:2011. Проектирование жесткой ошиновки в открытых распределительных устройствах напряжением от 110 до 750 кВ [Текст]. Методические указания. – Введ. 2011-06-06. – [Б. м.] : Институт «Укрэнергопроект», 2010. – 75 с.
2. СТО 56947007-29.060.10.006-2008. Методические указания по расчёту и испытаниям жёсткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ [Текст]. – Введен впервые ; введ. 2007-06-25. – [Б. м.] : ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. – 64 с.
3. Design Guide for Rural Substations [Текст]. – RUS Bulletin 1724E-300. – Official publication. – Washington : United States Department of Agriculture, 2001. – 764 p.
4. Денисов, Е. В. Пружинный одномассовый инерционный динамический гаситель колебаний [Текст] / Е. В. Денисов, С. А. Фоменко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Випуск 2010-4(84) : Матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів, студентів. Том І. – С. 15–18.

Получено 29.05.2017

В. П. МУЩАНОВ, С. О. ФОМЕНКО
ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ДОВГОМІРНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглядаються нові способи гасіння коливань під дією вихрового збудження вітру (на прикладі конструкцій жорсткої ошиновки). Наведено теоретичні дослідження сумісної роботи конструкції жорсткої ошиновки з пружинним гасителем та гасителем у вигляді жорсткої вставки.

Ключові слова: жорстка ошиновка, вихрове збудження вітру, гаситель коливань, напружено-деформований стан.

VOLODYMYR MUSHCHANOV, SERAFIM FOMENKO
VIBRATION SUPPRESSION OF LONG STRUCTURES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper deals with the new ways of oscillation damping under the action of eddy excitation of the wind (for example, the structures of rigid bus). The theoretical researches of the joint operation of rigid bus with a spring-damper and with a damper as rigid insert are given in the article.

Key words: rigid bus, the eddy excitation of the wind, oscillation absorbers, the stress-strain state.

Мушанов Владимир Филиппович – д. т. н., профессор; заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Фоменко Серафим Александрович – магистр строительства, ассистент кафедры теоретической и прикладной механики ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов гашения колебаний.

Мушанов Володимир Пилипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, проректор з наукової роботи ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Фоменко Серафим Олександрович – магістр будівництва, асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій та пошук раціональних способів гасіння коливань.

Mushchanov Volodymyr – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: include the reliability theory, analyses, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.

Fomenko Serafim – Master in Engineering, assistant, Theoretical and Applied Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.