



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 1, 13–23

УДК 624.014.7:621.316.37

(11)-0229-1

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЖОРСТКОЇ ОШИНОВКИ У ВІДКРИТИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

Є. В. Денисов, С. О. Фоменко

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: denissovev@ukr.net*

Отримана 6 січня 2011; прийнята 28 січня 2011.

Анотація. У статті розглянуто вітчизняний та зарубіжний досвід використання у відкритих розподільних пристроях конструкцій жорсткої ошиновки. Наведено різні варіанти конструктивних виконань жорсткої ошиновки, в тому числі і при наявності великих прольотів. Основну увагу в аналізі конструкцій приділено способам гасіння коливань конструкцій жорсткої ошиновки при вихровому збудженні коливань під дією вітру. Зроблено аналіз відомих способів гасіння коливань конструкцій жорсткої ошиновки. Розглянуто основні принципи роботи спеціальних гасителів коливань – демпферів, що використовуються у даному виді конструкцій. Також висвітлено новітні розробки та пропозиції у даному питанні вчених Росії та України. Вказані недоліки існуючих способів гасіння коливань та сформульовані висновки відносно перспективних напрямків досліджень у сфері створення нових способів гасіння коливань конструкцій жорсткої ошиновки.

Ключові слова: жорстка ошиновка, труба-шина, відкритий розподільний пристрій, гаситель коливань, демпфування, вітровий резонанс, вихрове збудження коливань.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ В ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Е. В. Денисов, С. А. Фоменко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: denissovev@ukr.net*

Получена 6 января 2011; принята 28 января 2011.

Аннотация. В статье рассмотрен отечественный и зарубежный опыт использования в открытых распределительных устройствах конструкций жесткой ошиновкой. Приведены различные варианты конструктивных исполнений жесткой ошиновки, в том числе и при наличии больших пролетов. Основной акцент в анализе конструкций выполнен на способы гашения колебаний конструкций жесткой ошиновки при вихревом возбуждении колебаний под действием ветра. Проанализированы известные способы гашения колебаний конструкций жесткой ошиновки. Рассмотрены основные принципы работы специальных гасителей колебаний – демпферов, использующихся в данном виде конструкций. Также освещены новейшие разработки и предложения в данном вопросе ученых России и Украины. Указаны недостатки существующих способов гашения колебаний и сформулированы выводы относительно перспективных направлений исследований в области создания новых способов гашения колебаний конструкций жесткой ошиновки.

Ключевые слова: жесткая ошиновка, труба-шина, открытое распределительное устройство, гаситель колебаний, демпфирование, ветровой резонанс, вихревое возбуждение колебаний.

FEATURES OF APPLICATION OF RIGID BUS DESIGNS IN OUTDOOR SWITCHGEARS

Denisov Evgeny, Fomenko Serafim

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.
E-mail: denissovev@ukr.net*

Received 6 January 2011; accepted 28 January 2011.

Abstract. The paper deals with the domestic and foreign experience of rigid bus design application in outdoor switchgears. There have been various variants of rigid bus design, including the big spans. The principle emphasis in the design analysis has been done to the ways of vibration termination of rigid bus designs at vortex excitation of vibrations under the wind effect. The familiar ways of vibration damping of the rigid bus designs have been analysed. The main principles of work of special-purpose vibration damping devices – dampers used in this kind of designs have been considered. The latest designs and offers of the problems proposed by the Russian and Ukrainian researchers have been also presented in the paper. The disadvantages of the existing methods of vibration termination have been pointed out and the conclusions of the prospect trends of research and investigations in the sphere of generation and invention of fresh methods of vibration termination in the rigid bus designs have been formulated.

Keywords: rigid bus, tube-busbar, outdoor switchgear, damper, damping, wind resonance, vortex vibration excitation.

Введение

Конструкция жесткой ошиновки (ЖО) в электросетевом строительстве получила широкое распространение во многих странах. Например, в Великобритании, Германии, Японии, США, Канаде по типовым проектам построены и успешно эксплуатируются открытые распределительные устройства (ОРУ) напряжением 110–500 кВ. В США и Канаде ОРУ 765 кВ выполняются только с жесткими шинами. В последние годы в России в ОРУ напряжением 110 кВ и выше рядом с гибкой ошиновкой все шире также используются конструкции с жесткими шинами. Опыт внедрения конструкций ЖО в Украине начинается с 30-х годов прошлого столетия. В середине 50-х годов появились проекты закрытых распределительных устройств (ЗРУ), а также ОРУ 110 кВ и 220 кВ с жесткими сборными шинами из алюминиевых сплавов и однорядной установкой выключателей. В 1957 году введено к эксплуатации ЗРУ 150 кВ Каховской ГЭС, сборные шины которой изготовлены из медных труб [1].

До 80-х годов жесткая ошиновка ОРУ 110 кВ, разработанная институтом «Энергосетьпро-

ект» и его филиалами, изготавливалась в мастерских электромонтажных организаций; позднее, как правило, на заводах ВПО «Союзэлектро-сетьизоляция». Эти решения использовались при сооружении ОРУ 220 кВ и 500 кВ с жесткими шинами. Кроме того, элементы жесткой ошиновки нашли применение в ОРУ 330 кВ и 500 кВ с подвесными разъединителями (проекты института «Атомтеплоэлектропроект») [6].

В последние годы ЗАО «Завод электротехнического оборудования» (ЗАО «ЗЭТО»), ЗАО «КЭС-ЭнергоСтройИнжиниринг», ЗАО «КТП-Урал» и другие организации занимаются разработкой и внедрением ЖО в российских ОРУ напряжением 110–500 кВ (рис. 1) [3].

Следует отметить, что ряд шинных конструкций во многом основан на разработках 60–80-х годов прошлого столетия. Современные конструкции ЖО проектируют, используя наилучшие отечественные и зарубежные решения, а также существует практика использования новых оригинальных подходов.

В 2009 году в Киевской области закончено строительство подстанции «Киевская», напряжением 750 кВ. Подобный класс напряжения

является наивысшим на сегодняшний день в Украине. Конструкции реализованы в виде ЖО. Токпроводящие шины выполнены из труб алюминиевого сплава 1915 наружным диаметром 220 мм и толщиной стенки 4 мм. Максимальный пролет однопролетных шин на ПС «Киевская» составляет 17 м (рис. 2) [4].

Варианты конструктивных исполнений конструкций жесткой ошиновки

Принципиальная схема конструкции жесткой ошиновки ОРУ представлена на рисунке 3.

Основу конструкции ЖО составляют шины поз. 1 (рис. 3). Шины ЖО соединяют функции электрического проводника и несущей строительной конструкции. Соединения шин между собой осуществляют с помощью



Рисунок 1. Современные ОРУ с жесткой ошиновкой (ЗАО «ЗЭТО») в России.



Рисунок 2. Конструкции жесткой ошиновки ПС «Киевская».

токовых компенсаторов поз. 2. Токковые компенсаторы обеспечивают высокое качество электрического соединения и исполняют роль экранов, устраняя возможность развития коронных разрядов и радиопомех. Шины опираются на изоляторы поз. 4 с помощью специального шинодержателя поз. 3. Конструкцию шинодержателя, который жестко связан с изолятором, выполняют в нескольких вариантах: с фиксированным креплением шины; со свободным креплением шины; с комбинированным способом крепления шины. Такая конструкция позволяет компенсировать возможные продольные деформации шины при воздействиях перепада температур. Опорные изоляторы могут быть как фарфорового, так и полимерного выполнения. Параметры изолятора определяются условиями утечки тока и его прочностью при действии ветровых и электродинамических нагрузок при коротком замыкании. Изоляторы устанавливаются на опорную раму поз. 6, которую, как правило, выполняют из стальных конструкций, закрепленных на железобетонном фундаменте [2].

Профили шин должны обладать технологичностью изготовления, необходимыми характеристиками для сопротивления изгибу как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Шины должны быть удобными в монтаже,

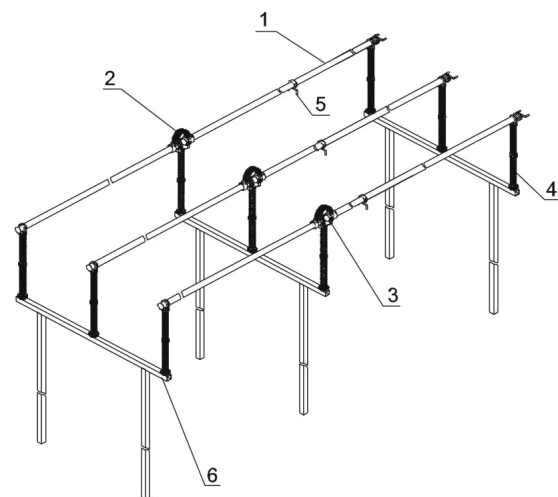


Рисунок 3. Принципиальная схема конструкции ЖО: 1 – трубчатая шина; 2 – токовый компенсатор; 3 – шинодержатель; 4 – опорный изолятор; 5 – замок; 6 – опорная рама.

обеспечивать хороший отвод тепла, низкий уровень радиопомех и пр. Применяемые сегодня профили шин представлены на рисунке 4.

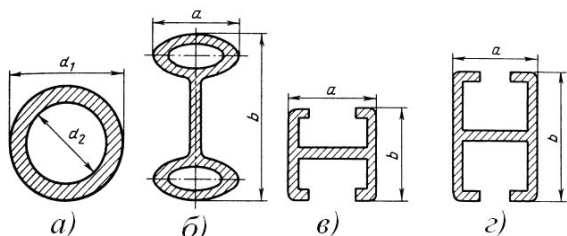


Рисунок 4. Основные применяемые профили шин: а – круглая труба; б – сдвоенный эллиптический профиль; в, г – профиль «двойное Т».

Наибольшее распространение в ОРУ 110 кВ и выше получили шины из круглых труб (рис. 4а). В редких случаях шины имеют другие формы. Например, в Германии предложены шины сдвоенного эллиптического профиля (рис. 4б). В США, Германии и Швейцарии использовались профили «двойное Т» (рис. 4в, 4г). В некоторых странах в качестве профилей шин применялись швеллера. Шины с плоскими поверхностями удобны при выполнении болтовых соединений, однако по условиям короны их применение в ОРУ напряжением выше 220 кВ нецелесообразно [6].

В отечественной практике нашли применение профили шин в виде круглых труб. По известным данным максимальный наружный диаметр труб-шин сегодня в Украине составляет 220 мм. В Западной Европе применяются трубы диаметром до 350 мм, а в Японии – до 500 мм. Максимальная длина трубчатых профилей из алюминиевых сплавов определяется технологией производства полуфабрикатов и составляет от 4 до 30 м. В тех случаях, когда трубы поставляют относительно короткими отрезками, их соединяют с помощью сварки. В редких случаях соединение труб осуществляется с помощью специальных болтовых соединений.

В зависимости от класса напряжения и условий размещения ОРУ, применяемые в них шины имеют различные конструктивные исполнения: балочные, ферменные, рамные и пр. В Англии, США и других странах в ОРУ 400 кВ и выше используются шины в виде пространственных ферм, жестко связанных трубчатыми

распорками. Длина пролета таких шин-ферм достигает 30 м.

Оригинальная конструкция жестких шин для типового проекта ОРУ 500 кВ разработана в конце 70-х годов в энергосистеме TVA (управление долины Теннесси) [6]. Конструкция шины имеет вид пространственной фермы квадратного поперечного сечения со стороной около 600 мм, состоящей из четырех продольных труб с внешним диаметром 38 мм. Продольные трубы связаны круглыми поперечными и диагональными стержнями внешним диаметром 19 мм (рис. 5). Трубы и стержни выполнены из алюминиевого сплава 6061-Т6. Длина пролета фермы 29 м. Пролет состоит из нескольких секций, максимальная длина которых по условиям транспортировки составляет 11,6 м.

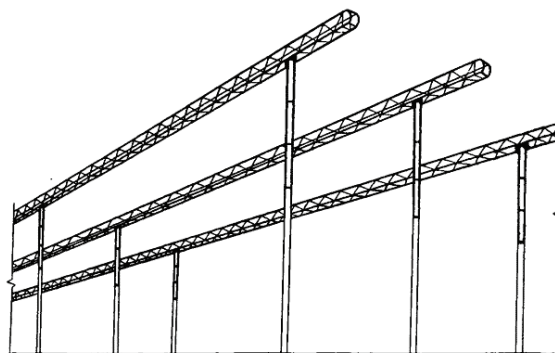


Рисунок 5. Общий вид ОРУ 500 кВ энергосистемы TVA (США).

В Великобритании была применена конструкция ЖО в виде П-образной рамы (рис. 6). Рама имеет решетчатую сварную конструкцию. Горизонтальная часть рамы поз. 5 (рис. 6) – трехгранная. Ширина основания 760 мм, высота у начала вертикальной стойки поз. 6 также 760 мм. Вертикальные стойки рамы выполнены из четырех основных труб наружным диаметром 63,5 мм и решетки из труб диаметром 32 мм. Для облегчения изготовления сварных узлов в вершинах стоек установлены трубы диаметром 127×102 мм. Трубы, литые элементы и пластины изготовлены из алюминиевого сплава H30WP, шарнирные опорные болты, гайки и другие детали – из нержавеющей стали. Общие очертания рамы и ее концевые участки закруглены для уменьшения коронирования.

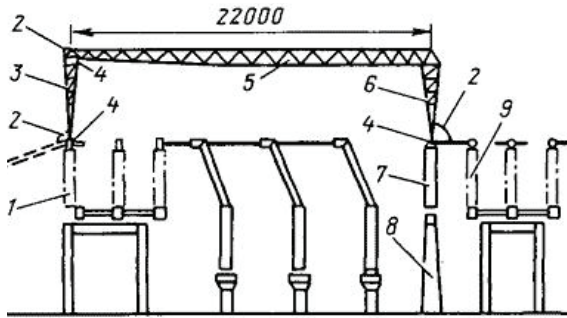


Рисунок 6. Фрагмент ОРУ 400 кВ (Великобританія) з токоведущою П-образною рамой для ошиновки верхнього яруса: 1, 7 – ізолятори; 2 – гнучкі алюмінієві проводи; 3, 6 – вертикальні стойки; 4 – шарнір; 5 – горизонтальна трикутна частина рами; 8 – залізобетонна конструкція; 9 – роз'єдинитель.

Интересные конструктивные решения жесткой ошиновки использованы в ОРУ с напряжением 220 кВ (рис. 7) и 380 кВ на подстанциях в окрестностях Рима в Италии.

Схемы электрических соединений в представленной ОРУ (рис. 7) – две системы сборных шин с одним выключателем на цепь. Сборные шины – трубчатые, диаметром 150×140 мм, изготовлены из алюминиевого сплава. Длина пролета шины (равная шагу ячейки) в ОРУ 220 кВ принята 14 м, в ОРУ 380 кВ – 21 м. Расстояние между фазами соответственно 3,5 и 5,0 м [6]. В данной конструкции для уменьшения длины пролета шины, применяются жесткие подвесы. Такая неразрезная схема балки позволяет существенно уменьшить изгибающие моменты и прогибы шины, что влияет на расход материалов.

В отечественной практике применялись составные шины из труб двух разных диаметров.

Средняя часть пролета изготовлена из трубы меньшего диаметра, которая свободно входит в трубы большего диаметра, жестко закрепленные на опорных изоляторах. За счет облегчения средней части пролета обеспечиваются уменьшению прогиба и расход цветного металла. Свободное перемещение трубы средней части пролета позволяет компенсировать не только температурные деформации шин, но и погрешности установки шинных конструкций. Электрическое соединение составных шин осуществляется с помощью гибких проводов.

Комплекты жесткой ошиновки 110–750 кВ успешно эксплуатируются на энергообъектах: в Украине – НЭК «Укрэнерго»; в России – МЭС «Центра», МЭС «Северозапада», МРСК «Центра»; ОАО «Башкирэнерго».

Способы гашения колебаний конструкций жесткой ошиновки

Одним из основных вопросов при проектировании конструкции жесткой ошиновки является вопрос стабилизации конструкции под действием различных динамических нагрузок [9]. Реализация конструкций ЖО в Украине с большими пролетами труб-шин показали реальную опасность возникновения явления вихревого возбуждения (ветрового резонанса) цилиндрических конструкций труб-шин. Это явление относится к аэроупругим автоколебаниям. Оно опасно тем, что при малых скоростях ветрового потока происходят интенсивные колебания трубы в вертикальной плоскости, добавляя к статическим нагрузкам существенную динамическую составляющую. Уровень ее сопоставим с нагрузками от собственного веса конструкций и может

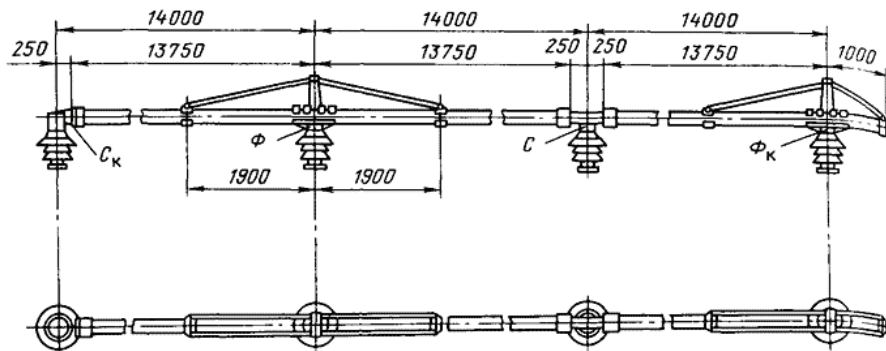


Рисунок 7. Конструкция сборных шин ОРУ 220 кВ в Италии.

в совокупности с остальными нагрузками вызывать напряжения, близкие к предельным по 1-й группе предельных состояний. Стабилизация алюминиевых конструкций особо важна и потому, что их эксплуатация на объектах с динамическими нагрузками вообще не рекомендуется из условий обеспечения прочности и эксплуатационной надежности сооружений [8].

Основными известными методами предотвращения вихревого возбуждения колебаний (ветрового резонанса) являются:

- использование схем с небольшими пролетами;
- укладка внутрь трубы стержней или тросов;
- использование специальных демпфирующих устройств;
- применение конструкционного демпфирования – поглощение энергии колебаний некоторыми узлами конструкции, например, использование шинодержателей специальной конструкции.

Одним из наиболее известных на практике способов гашения колебаний трубы-шины является способ укладки внутрь трубы одного или нескольких канатов или стержней. Такой способ гашения колебаний, например, использован в конструкциях ЖО ПС «Киевская», где в трубу-шину укладывались четыре свободно лежащих каната АС500/27 (рис. 8).



Рисунок 8. Укладка внутрь трубы нескольких канатов с целью гашения ее возможных колебаний.

Очевидно, что наличие в трубе-шине канатов или стержней приводит к увеличению ее погонной массы. Увеличение погонной массы шины влечет за собой снижение значений спектра частот ее собственных колебаний, что, возможно, приводит к отстранению нижних частот спектра от резонансной области частот срыва с трубы вихрей Кармана. Виброударный

эффект гашения колебаний, связанный с соударениями канатов о стенки трубы, для такого демпфирующего устройства начнется при значениях ускорений сечений трубы-шины, которые существенно превышают ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Некоторое рассеивание энергии колебаний также возможно за счет появления сил трения канатов между собой и стенкой трубы.

Применение данного решения при гашении колебаний имеет ряд недостатков:

- существенное увеличение погонной массы шины, что требует при проектировании увеличения ее поперечного сечения из условий прочности и жесткости;
- возникновение виброударного эффекта гашения колебаний, как правило, при существенных амплитудах колебаний трубы;
- незначительное рассеивание энергии за счет трения.

Одним из разновидностей способа укладки внутрь трубы одного или нескольких канатов является схема, представленная на рисунке 9 [17]. Данная схема предполагает укладку внутрь жесткой трубчатой шины поз. 1 с крышкой поз. 2 гибких элементов поз. 4, которые с определенным интервалом опираются на некоторые жесткие элементы поз. 3.

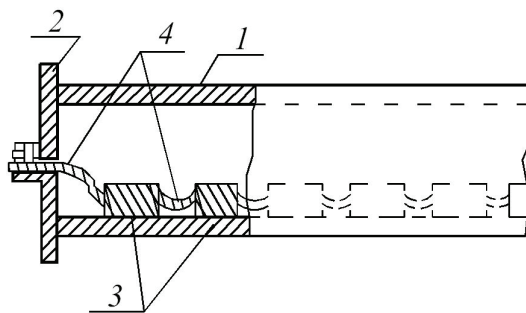


Рисунок 9. Устройство для передачи и распределения электроэнергии: 1 – шина; 2 – крышка; 3 – жесткие элементы; 4 – гибкие элементы.

Эффект рассеяния энергии колебаний достигается за счет трения гибких элементов о жесткие внутри шины. Также за счет разной амплитуды колебаний жесткой трубчатой шины в разных точках вдоль ее оси происходит разновременное соударение отдельных жестких элементов с ее внутренней поверхностью [17] при появлении виброударного эффекта.

Известный способ гашения колебаний с использованием демпфирующего узла с оттяжкой [10], предполагает закрепление упругой одно-сторонней связи, например, нити из диэлектрика, к некоторому сечению трубы (по возможности, ближе к середине её пролета) (рис. 10).

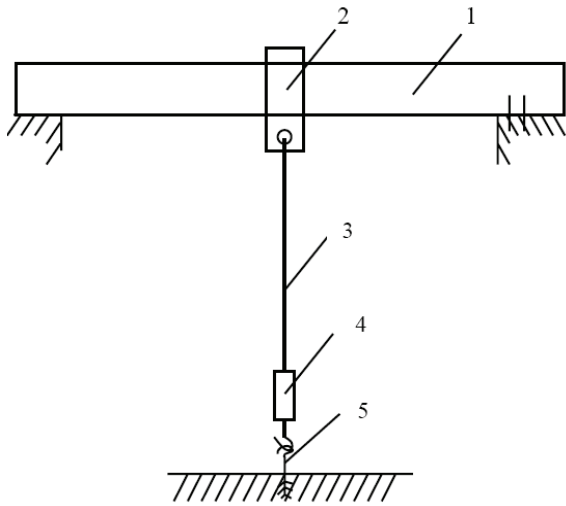


Рисунок 10. Принципиальная схема гашения колебаний при помощи оттяжки и демпфирующего узла: 1 – шина; 2 – хомут; 3 – струна; 4 – демпфирующий узел; 5 – анкер.

Демпфирующий узел может быть расположен как с одной стороны, так с двух сторон оттяжки, которая может располагаться под любым углом к оси трубы. Эффект гашения или недопущения колебаний достигается за счет:

- изменения динамической модели шины за счет введения дополнительной опоры одно-стороннего действия. Введение оттяжки существенно изменяет спектр частот собственных колебаний шины, отстраняя его от резонансной области частот срыва с трубы вихрей Кармана [5, 7];
- рассеивания энергии колебаний системы в специальном демпфирующем узле.

В качестве недостатков данного способа гашения колебаний можно отметить: возможное появление коронных разрядов в месте крепления хомута на шине при больших напряжениях; проблемы изоляции оттяжки при ее наматывании или обледенении; возможное ограничение свободного пространства под конструкциями ЖО, что в ряде случаев является неприемлемым.

Гашения изгибных колебаний основного тона ЖО возможно с использованием пластинчато-балочного виброударного динамического гасителя колебаний (ДГК) (рис. 11) [11]. Принцип действия такого гасителя состоит в передаче энергии колебаний от основной конструкции к ДГК. При определенных параметрах закрепленного на трубе-шине ДГК возможно добиться эффекта, при котором будут происходить только колебания ДГК, а шина будет оставаться в покое. Процесс подбора таких параметров называется настройкой ДГК и выполняется, как правило, в натурных условиях [4].

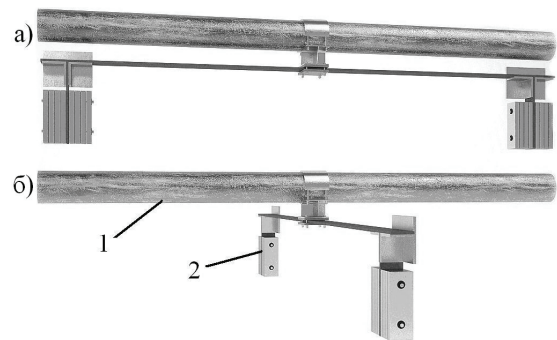


Рисунок 11. Конструкция пластинчато-балочного виброударного ДГК: а – расположение ДГК вдоль шины; б – расположение ДГК поперек шины; 1 – шина; 2 – ДГК.

К недостаткам данного метода гашения колебаний можно отнести: возможное появление короны в элементах ДГК при высоких напряжениях в шинах; возможность повреждений шины при соударении с ДГК в процессе колебаний.

Аэродинамический способ гашения изгибных колебаний трубы-шины [12] состоит в навивке (по рекомендациям, например, справочника [7]), но без жесткого крепления между концевыми сечениями, гибкого провода с диаметром на порядок меньше, чем диаметр сечения шины (рис. 12). Гибкие конструкции на шине закрепляют только на торцах с расчетным начальным натяжением и возможностью их относительного сдвига относительно поверхности трубы по направляющим при изгибных колебаниях трубы.

В этом случае ветровой поток обтекает трубчатую конструкцию с гибкой навивкой

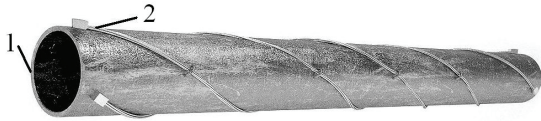


Рисунок 12. К аэродинамическому способу гашения изгибных колебаний шины: 1 – шина; 2 – гибкий провод.

почти без образования опасных для ветрового резонанса вихрей Кармана. Также вследствие появления сил трения между трубой и гибкой навивкой происходит рассеивание энергии колебаний, что отражается на величине логарифмического декремента колебаний. Эффективность данного способа гашения колебаний в конструкциях ЖО не имеет на сегодняшний день экспериментального подтверждения [4].

Рассеивание энергии колебаний за счет сил поверхностного трения реализовано в [13]. Этот способ предполагает присоединение к конструкции некоторой легкой протяженной конструкции с фрикционным контактом по внешней или внутренней поверхности (рис. 13).

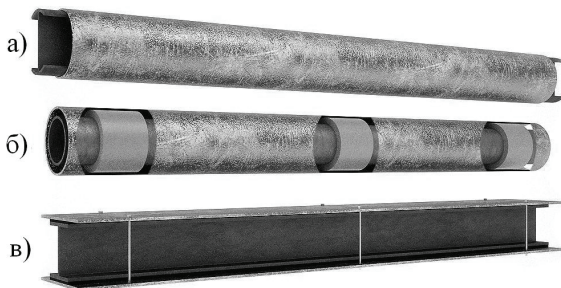


Рисунок 13. Схема конструкций гасителей в виде жесткой вставки: а – при помощи внутренней конструкции; б – с промежуточной прокладкой между гасителем и шиной; в – внешние накладки.

К трубе-шине присоединяется дополнительная упруго-демпфирующая конструкция гасителя, которая специально организованными контактными поверхностями, например, с применением съемных элементов из материалов типа фторопласта, связана с шиной. При колебаниях дополнительно присоединенная упруго-демпфирующая конструкция через контактные поверхности включается в работу и несколько смещается относительно основной кон-

струкции в продольном направлении. В зонах контакта энергия колебаний всей системы поглощается за счет сил сухого трения в съемных фрикционных элементах.

Одним из основных недостатков такого метода является технологическая сложность установки демпфирующих конструкций и их последующее обслуживание.

Один из возможных вариантов гашения изгибных колебаний является применение струнного демпфера [14]. Внутри в средней части трубы устанавливается демпфирующая насадка малой жесткости на струне с зазорами к поверхности трубы (рис. 14). На торцах трубы струна крепится с помощью упруго-демпфирующих прокладок.

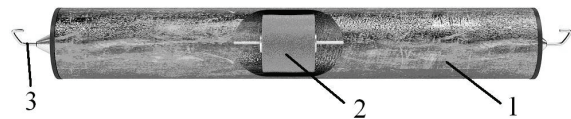


Рисунок 14. Конструкция струнного демпфера изгибных колебаний: 1 – труба-шина; 2 – демпфирующая насадка; 3 – струна.

При ветровом резонансе труба ударяется об «условно неподвижный» демпфер и колебания гасятся за счет диссипативных свойств материалов насадки и струны [14]. Эффективность гашения колебаний и реализации данного способа в трубах ЖО экспериментально на сегодняшний день не доказана.

Еще одним известным способом гашения изгибных колебаний труб является вибропоглощающий трубопровод [15]. Вибропоглощающий трубопровод содержит концентрично расположенные внутреннюю (поз. 1) и внешнюю (поз. 2) трубы, которые имеют жесткое соединение по всей длине при помощи разделяющего их вязкоупругого материала (поз. 4) (рис. 15).

При изгибе в слое вибропоглощающего вязкоупругого материала, помещенного между ребрами, возникают интенсивные деформации сдвига, которые обуславливают эффект вибропоглощения за счет диссипации сдвиговой колебательной энергии в вязкоупругом слое.

Реализация схемы гашения в виде «вибропоглощающий трубопровод» возможна также

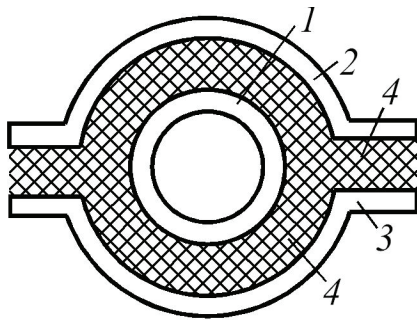


Рисунок 15. Вибропоглощаючий трубопровод: 1 – внешняя труба; 2 – внутренняя труба; 3 – продольные ребра; 4 – вязкоупругий материал.

в несколько измененной форме с привлечением дополнительного рассеивания энергии колебаний за счет трения вязкоупругого материала по специально созданным поверхностям сдвига (рис. 16) [16].

Покрытие для демпфирования вибраций трубы содержит предназначенный для соединения с трубой (поз. 1) слой вязкоупругого материала (поз. 2) и армирующий последний слой жесткого при растяжении материала (поз. 3), например, металлическую фольгу. В жестком поверхностном слое выполнены прорезы (поз. 4), расположенные под углом к продольной оси трубы.

Применение последних способов гашения колебаний, связанных с нанесением на трубу вязкоупругих материалов, сопряжено с рядом трудностей: технологического характера, связанного с нанесением данных покрытий; эксплуатационного характера, связанного с нагревом шин при токах короткого замыкания и пр.

Выводы

Конструкции ЖО представляют собой отдельный класс конструкций электросетевого стро-

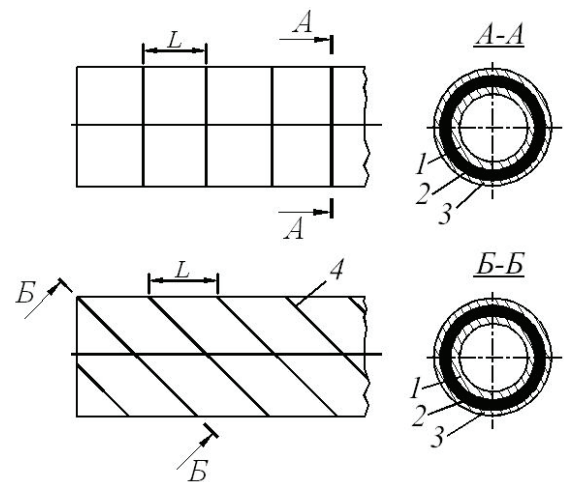


Рисунок 16. Покрытие для демпфирования вибраций труб: 1 – труба; 2 – вязкоупругий слой; 3 – жесткий поверхностный слой.

ительства. В мире накоплен большой опыт проектирования этих конструкций, реализованы многочисленные принципиально разные конструктивные решения. Конструкции ЖО являются перспективным направлением в строительстве ОРУ больших классов напряжений в Украине.

Конструкции ЖО подвержены воздействию вихревого возбуждения колебаний под действием ветра, что обуславливает необходимость гашения возникающих колебаний. Существуют известные способы гашения колебаний шин, примененные на многих реализованных объектах. Также известны современные разработки в данном направлении с изученной эффективностью их применения и возможностью реализации. Однако потребности современного проектирования и строительства ОРУ требуют усовершенствования известных и поиск новых способов гашения колебаний конструкций ЖО.

Литература

1. Долин, А. П. Основные положения и требования новых нормативных документов по жесткой ошиновке ОРУ и ЗРУ 110-500 кВ [Электронный ресурс] / А. П. Долин, М. А. Козина // Производственно-технический научный журнал «Электро». – 2008. – № 2. – С. 31–37. – Режим

References

1. Dolin, A. P.; Kozinova, M. A. Fundamentals and requirements of new normative documents on rigid busbar of the OdSG and IdSG 110-500 kV. *Production and technical journal «Electro»*, 2008, No. 2, p. 31–37. – http://ntc-eds.ru/userfiles/files/2008_2.pdf. (in Russian)

- доступа к журн. : http://ntc-eds.ru/userfiles/files/2008_2.pdf.
2. Design Guide for Rural Substations: RUS Bulletin 1724E-300. – Official publication. – Washington : United States Department of Agriculture, 2001. – 764 p.
 3. Долин, А. П. Анализ результатов испытаний жесткой ошиновки 110 кВ и выше [Электронный ресурс] / А. П. Долин, Л. Е. Егорова // Журнал «Энергетик». – 2010. – № 8. – С. 36–39. – Режим доступа к журн. : http://ntc-eds.ru/userfiles/files/Energetik_8_2010.pdf.
 4. Ways of antihunting rigid conductors structures of outdoor switchgears of the power supply network construction / Ye. V. Gorokhov, V. F. Mushchanov, V. V. Kulyabko [at al.] // The 10th International Conference «Modern Building Materials, Structures and Techniques», Vilnius, 19–21 may, 2010. – P. 619–627.
 5. Vasant Annasaheb Matsagar. Viscoelastic damper connected to adjacent structures involving seismic isolation / Vasant Annasaheb Matsagar and Radhey Shyam Jangid // Journal of civil engineering and management. – 2005. – № 11(4). – P. 309–322.
 6. Долин, А. П. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой / А. П. Долин, Г. Ф. Шонгин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
 7. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: справочник проектировщика / М. Ф. Барштейн, Н. М. Бородачев, Л. Х. Блюмин [и др.]; под ред. Б. Г. Коренева, Н. М. Рабиновича. – М. : Стройиздат, 1981. – 215 с.
 8. Строительные нормы и правила. Алюминиевые конструкции : СНиП 2.03.06-85. – Взамен главы СНиП 11-24-74; введ. 1987-01-01. – М. : Госстрой СССР, 1985. – 75 с.
 9. Аэродинамика электросетевых конструкций / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим ; Под ред. Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с.
 10. Пат. 40435 Украина, МПК F16F 15/00. Узел соединения оттяжек с жесткими элементами / Кулябко В. В., Муцанов В. Ф., Масловский А. В., Денисов Е. В. ; заявл. 27.10.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
 11. Пат. 40431 Украина, МПК F16F 15/00. Способ гашения основного тона изгибных колебаний жесткой ошиновки / Кулябко В. В., Муцанов В. Ф., Масловский А. В., Денисов Е. В. ; заявл. 23.10.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
 12. Пат. 40094 Украина, МПК F16F 15/00. Аэродинамический способ гашения изгибных колебаний ветрового резонанса трубы / Кулябко В. В., Муцанов В. Ф., Масловский А. В., Денисов Е. В. ; заявл. 20.10.2008 ; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.
 13. Пат. 40434 Украина, МПК F16F 15/00. Гаситель изгибных колебаний / Кулябко В. В., Муцанов В. Ф., Масловский А. В., Денисов Е. В., Михеев А. М. ; заявл. 27.10.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
 2. Design Guide for Rural Substations: RUS Bulletin 1724E-300. Official publication. Washington: United States Department of Agriculture, 2001. 764 p.
 3. Dolin, A. P.; Egorova, L. E. Analysis of results of rigid busbar testing at 110 kV and more. *Journal «Energetic»*, 2010, № 8, p. 36–39. – http://ntc-eds.ru/userfiles/files/Energetik_8_2010.pdf. (in Russian)
 4. Gorokhov, Ye. V.; Mushchanov, V. F.; Kulyabko, V. V. at al. Ways of antihunting rigid conductors structures of outdoor switchgears of the power supply network construction. *The 10th International Conference «Modern Building Materials, Structures and Techniques»*, Vilnius, 19–21 may, 2010, p. 619–627.
 5. Vasant Annasaheb Matsagar and Radhey Shyam Jangid. Viscoelastic damper connected to adjacent structures involving seismic isolation. *Journal of civil engineering and management*, 2005, No. 11(4), p. 309–322.
 6. Dolin, A. P.; Shongin, G. F. Rigid busbar outdoor switchgears. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 192 p. (in Russian)
 7. Barshtein, M. F.; Borodachev, N. M.; Blumin, L. Kh. et al.; Ed. B. G. Korenev, N. M. Rabinovich. Dynamic analysis of special effects on structures: Designer's reference book. Moscow: Stroiizdat, 1981. 215 p. (in Russian)
 8. Structural Rules and Regulations. Aluminium structures: SNiP 2.03.06-85. Moscow: Gosstrois SSSR, 1985. 75 p. (in Russian)
 9. Gorokhov, Ye. V.; Kazakevich, M. I.; Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V.; Ed. Ye. V. Gorokhov, M. I. Kazakevich. The network structure aerodynamics. Donetsk, 2000. 336 p. (in Russian)
 10. Patent 40435 of Ukraine, IPC F16F 15/00. A joint of connecting stretching wires with rigid components / Kulyabko V. V., Mushchanov V. F., Maslovsky A. V., Denisov E. V.; applied 27.10.2008; published 10.04.2009, Bulletin of inventions No. 7. (in Russian)
 11. Patent 40431 of Ukraine, IPC F16F 15/00. A way of antihunting the major tone of the rigid busbar bending vibrations / Kulyabko V. V., Mushchanov V. F., Maslovsky A. V., Denisov E. V.; applied 23.10.2008; published 10.04.2009, Bulletin of inventions No. 7. (in Russian)
 12. Patent 40094 of Ukraine, IPC F16F 15/00. An aerodynamic way of antihunting bending vibrations of the wind resonance of a tube / Kulyabko V. V., Mushchanov V. F., Maslovsky A. V., Denisov E. V.; applied 20.10.2008; published 25.03.2009, Bulletin of inventions No. 6. (in Russian)
 13. Patent 40434 of Ukraine, IPC F16F 15/00. Bending vibrations damper / Kulyabko V. V., Mushchanov V. F., Maslovsky A. V., Denisov E. V., Mikheyev A. M.; applied 27.10.2008; published 10.04.2009, Bulletin of inventions No. 7. (in Russian)
 14. Patent 40099 of Ukraine, IPC F16F 15/00. A string damper for antihunting bending vibrations of the

14. Пат. 40099 Украина, МПК F16F 15/00. Струнный демпфер для гашения изгибных колебаний ветрового резонанса трубы / Кулябко В. В., Мушчанов В. Ф., Масловский А. В., Денисов Е. В. ; заявл. 20.10.2008 ; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.
15. Пат. 1163071 СССР, МПК F16F 15/00, F17D 1/20. Вибропоглощающий трубопровод / Байков Э. В., Бувайло Л. Е., Ионов А. В. ; заявл. 16.04.83 ; опубл. 23.06.85, Бюл. № 23.
16. Пат. 721616 СССР, МПК F16F 13/00. Покрытие для демпфирования вибраций трубопроводов / Зейнетдинова Р. З., Наумкина Н. И., Тартаковский Б. Д. ; заявл. 21.08.78 ; опубл. 15.03.80, Бюл. № 10.
17. Пат. 2402129 Российская Федерация, МПК F16F 15/00. Устройство для передачи и распределения электроэнергии / Долин А. П., Долин С. А. ; заявл. 25.08.2008 ; опубл. 20.10.2010, Бюл. № 29.
- wind resonance of a tube / Kulyabko V. V., Mushchanov V. F., Maslovsky A. V., Denisov E. V.; applied 20.10.2008; published 25.03.2009, Bulletin of inventions No. 6. (in Russian)
15. Patent 1163071 of the USSR, IPC F16F 15/00, F17D 1/20. Vibration-absorbing pipeline / Baikov E. V., Buvailo L. E., Ionov A. V.; applied 16.04.83; published 23.06.85, Bulletin of inventions No. 23. (in Russian)
16. Patent 721616 of the USSR, IPC F16F 13/00. Coverage for damping pipeline vibrations / Zeinetdinova R. Z., Naumkina N. I., Tartakovsky B. D.; applied 21.08.78; published 15.03.80, Bulletin of inventions No. 10. (in Russian)
17. Patent 2402129 of the Russian Federation, IPC F16F 15/00. A device for electric energy transmission and distribution / Dolin A. P., Dolin S. A.; applied 25.08.2008; published 20.10.2010, Bulletin of inventions No. 29. (in Russian)

Денисов Євген Валерійович – к.т.н., доцент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: динаміка стержневих конструкцій, технічна діагностика будівельних конструкцій.

Фоменко Серафим Олександрович – асистент кафедри теоретичної і прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток загальної методики динамічних розрахунків елементів будівельних конструкцій та пошук раціональних способів демпфування коливань.

Денисов Евгений Валериевич – к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: динамика стержневых конструкций, техническая диагностика строительных конструкций.

Фоменко Серафим Александрович – ассистент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие общей методики динамических расчетов элементов строительных конструкций и поиск рациональных способов демпфирования колебаний.

Denisov Evgeny – Ph. D. (Eng.), an Assistant Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: dynamics of bar structures, engineering diagnostics of building structures.

Fomenko Serafim – M. E. Sc., a teaching fellow of the Theoretical and Applied Mechanics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of the general dynamic design technique of building structure elements and search for the rational ways of vibration damping.