



(06)-0123-1

РОЗРОБКА МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ПЛЯСКОЮ ПРОВІДІВ ПЛ ДЛЯ УКРАЇНИ

Є.В. Шевченко, Т.Є. Удод

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури, вул. Державіна 2,
86123, м. Макіївка, Україна.
E-mail: sodrugestvo@skif.net*

Отримана 15 вересня 2006; прийнята 16 жовтня 2006

Анотація. Порухення електропостачання, які виникають під час низькочастотних коливань проводів, висувують завдання боротьби з ними на перший план. Проведені теоретичні дослідження поведінки проводу показали, що найнебезпечнішими є випадки пляски з 1, 2, 3 та 4-ма напівперіодами коливань у прольоті. На цей час відома велика кількість різних пропозицій відносно захисту ВЛ від пляски проводів, існує більше 130 патентів. Але така велика кількість методів захисту свідчить про те, що в цей час ще не знайдений радикальний спосіб боротьби з пляскою. Поставлена мета досягається тим, що в прольоті повітряної лінії електропередачі на провадах між суміжними провадами встановлено не менш, ніж один ізолюючий з'єднувач із твердим опором розтягання та м'яким опором стиску з обмеженою гнучкістю в напрямку зближення з'єднаних проводів. Запропоновані технічні рішення, як спосіб, так і пристрій дозволяють ефективно погасити пляску проводів, як правило, ще на початку її виникнення.

Ключові слова: повітряні лінії електропередачі, пляска проводів, теоретичні дослідження, аналіз результатів, розробка методів, пристрій.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПЛЯСКОЙ ПРОВОДОВ ВЛ ДЛЯ УКРАИНЫ

Е.В. Шевченко, Т.Е. Удод

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ул. Державина 2,
86123, г. Макеевка, Украина.
E-mail: sodrugestvo@skif.net*

Получена 15 сентября 2006; принята 16 октября 2006

Аннотация. Нарушения электроснабжения, которые возникают во время низкочастотных колебаний проводов, ставят задачу борьбы с ними на первый план. Проведенные теоретические исследования поведения провода показали, что наиболее опасными являются случаи пляски с 1, 2, 3 и 4-мя полупериодами колебаний в пролете. В настоящее время известно большое количество различных предложений касательно защиты ВЛ от пляски проводов, существует более 130 патентов. Но такое большое количество методов защиты свидетельствует о том, что в настоящее время еще не найден радикальный способ борьбы с пляской. Поставленная цель достигается тем, что в пролете воздушной линии электропередачи на провадах между смежными провадами установлено не менее, чем один изолирующий соединитель с жестким сопротивлением растяжению и мягким сопротивлением сжатия с ограниченной гибкостью в направлении сближения соединенных проводов. Предложенные технические решения, как способ, так и устройство позволяют эффективно погасить пляску проводов, как правило, еще в начале ее возникновения.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, пляска проводов, теоретические исследования, анализ результатов, разработка методов, устройство.

DEVELOPMENT OF THE CONTROL TECHNOLOGY FOR THE HV POWER LINE DANCING IN UKRAINE

Ye.V. Shevchenko, T.Ye. Udod

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2,
86123, Makeyevka, Ukraine.*

E-mail: sodrugestvo@skif.net

Received 15 September 2006; accepted 16 October 2006

Abstract. Power supply failure that occurs at low-frequency vibrations of wires puts the problem of its control in the forefront. Theoretical investigations of a wire behaviour showed that the most dangerous cases of dancing are those with 1, 2, 3 and 4 half-cycles of vibrations in a span. Now, there are known a lot of different suggestions as to HV power line dancing control, more than 130 patents have been granted. But such a big number of the control methods means that no efficient method of the dancing control has been found yet. The purpose set is reached if in an overhead power line span there is not less than one insulating connector with a hard resistance to tension and a soft resistance to compression with a limited flexibility in the line of approaching the wires connected. The engineering solutions suggested, both a means and a device, make it possible to dampen the wire dancing as a rule at the very beginning of its occurrence.

Keywords: overhead power transmission lines, wire dancing, theoretical investigations, result analysis, development of methods, a device.

Введение

Нарушения электроснабжения, которые возникают во время низкочастотных колебаний проводов, ставят задачу борьбы с ними на первый план. Пляска проводов – это колебания с частотой 0,2 - 2Гц, которые сопровождаются образованием стоячих волн с шагом, превышающим диаметр провода. Наблюдениями за этим опасным явлением установлено, что пляска относится к периодичным низкочастотным колебаниям. При этом образуются стоячие волны (иногда в сочетании с бегущими) с числом полуволн от одной до двенадцати и амплитудой от 0,3 до 5м. Из некоторых источников известна амплитуда до 17 м.

Анализ патентных и литературных источников показывает, что пляска проводов, как явление, изучена недостаточно. Необходимо дальнейшее изучение природы возникновения этого явления, а также поведения проводов воздушных линий электропередачи во время пляски проводов.

Проведенные теоретические исследования поведения провода в полете как в идеальных,

так и в реальных условиях работы провода показали, что наиболее опасными касательно влияния на ВЛ являются случаи пляски с 1, 2, 3 и 4-мя полупериодами колебаний в полете, при этом наибольшая амплитуда наблюдается в случае пляски с одним полупериодом колебаний. Поэтому методы борьбы с пляской в первую очередь должны быть направлены на то, чтобы погасить именно такие колебания.

Было предложено большое количество способов защиты ВЛ от пляски проводов, известно более 130 патентов. Существуют пассивные и активные методы борьбы с этим явлением. Практическое применение у нас нашли в основном такие методы гашения пляски проводов: плавка гололеда, установка межфазных распорок, плоские аэродинамические пластмассовые обтекатели, крутящиеся гасители, сооружение дополнительных опор, замена траверс. Из-за ряда недостатков, присущим этим методам или из-за их высокой стоимости эти способы борьбы с пляской не нашли широкого распространения.

Исследование пляски проводов ВЛ

Основной целью теоретических исследований пляски проводов является создание общей математической модели, которая позволила бы для заданных условий определить характеристики колебательного процесса – амплитуду, количество полуволн, частоту и др. Необходимо установить закономерности движения точек провода во времени в плоскости, перпендикулярной оси провода, и его изменение в интервале времени.

Совсем полной ясности в картине пляски в настоящее время не существует, но большинство авторов склонны связывать ее возникновение с резонансными колебаниями проводов под действием ветра. Для построения теории пляски отыскиваются аналогии в поведении проводов во время пляски, например, в уравнении движения нити. Существуют аналогичные уравнения для струны.

Ближайшая математическая модель колебаний провода в общем виде предложена в виде уравнения движения упругой нити на растяжение, кручение и изгиб – это система дифференциальных уравнений движения упругой нити по Гау в векторном виде и в проекциях. Выведенные уравнения позволяют учитывать изгибную жесткость нити и жесткость во время кручения.

Система полученных дифференциальных уравнений значительно упрощается в случае наложения ограничений на движение нити или пренебрегая жесткостью и дает полное совпадение с ранее достигнутыми результатами. Но практическое значение этих разработок ограничено, хотя поведение провода во время пляски в какой-то степени идентично. Допуски, принятые для нити, не позволяют полностью использовать их для проводов, где необходимо учитывать влияние гибкости опор, гирлянд изоляторов, рельеф поверхности земли и расположенных вблизи предметов.

Упрощенный подход к этой проблеме без учета достаточно сложной взаимосвязи между ветровым потоком и движущимся проводом, которая имеет место даже в простейшем случае колебательного процесса, не позволяет получить достаточно достоверные результаты и в лучшем случае может привести к общепользательным выводам.

В общем случае работа провода в полете представляет собой сложный комплекс сочетаний взаимосвязанных влияний на процессы, которые протекают в проводах, и, в зависимости от важности тех или иных условий, которые производят к различным путям развития этих процессов.

В спокойном состоянии провод находится под влиянием только весовых составляющих и занимает положение, которое соответствует провисанию по цепной линии. Провода смежных пролетов уравнивают друг друга и поэтому опора, которая поддерживает эти смежные пролеты, тоже находится в уравновешенном спокойном состоянии.

При наличии возмущающих сил равновесие нарушается – провода начинают неким образом перемещаться, влияние переменного тяжения проводов приводит к неравномерным воздействиям на опору или ее элементы, например, на гирлянды подвесных изоляторов. Это, в свою очередь, придает движение гирлянде (отклонения их от уравновешенного состояния) или к соответствующим отклонениям вершин опор в результате их некоторой гибкости.

Изменение положения точек крепления провода из-за перемещения элементов опоры происходит с определенной периодичностью. В результате этого происходит вторичное влияние на провода – теперь уже со стороны перемещения точек крепления проводов. Такое влияние приводит к периодическому изменению «длины пролета», тяжению провода и его раскачиванию вдоль линии.

Таким образом, провод поддается сложному комплексному воздействию:

- а) со стороны внешних сил природы – ветра, гололеда и ветра с гололедом;
- б) со стороны совместного влияния опор и их элементов на провод и наоборот;
- в) со стороны действия внутренних сил инерции в самом проводе;
- г) воздействию на характер взаимодействий отдельных параметров провода (его длины, веса, сечения и т.п.) и опор (их гибкость и др.), и их сочетаний на возникновение или гашение резонансных явлений, которые возникают в системе проводов, вместе с опорами, в полете.

Рассмотрим случай расположения провода между двумя абсолютно жесткими анкерными опорами. Особенности этого случая: точки крепления проводов неподвижны, то есть длина пролета $l = const$, вместе с этим в процессе колебательных перемещений длина провода l может изменяться в пределах удлинений за счет упругих деформаций. При этом наибольшая длина провода может равняться максимальной

$$L_{\max} = 2a \cdot sh \frac{l}{2a},$$

а в случае расположения провода по горизонтали – равняется длине пролета $L_{\min} = l$.

В процессе колебания провода изменяется его длина, а, следовательно и усилие тяжения провода. Минимальное тяжение провода в пролете соответствует расположению провода горизонтально, то есть параллельно оси X. По мере отклонения от горизонтали тяжение в проводе возрастает.

Для оценки физических процессов в проводе, который колеблется, рассмотрим произвольный отрезок этого провода в пролете. На этот отрезок, как и на весь провод, действуют силы тяжения провода, вызванные всем спектром действующих на провод сил.

Все ожидаемые виды нагрузок на провод распределены вдоль провода и поэтому их можно представить в виде суммы нагрузок ρ . Эту сумму или, иначе говоря, удельную нагрузку можно разделить на такие группы нагрузок:

1 - группа нагрузок, которые остаются неизменными, то есть не зависят от изменения места расположения точки провода в данный

момент времени (например, собственный вес);

2 - нагрузки, которые могут изменяться во времени (например, ветровые);

3 - нагрузки, которые зависят от нагрузок, которые изменяются во времени, и точки расположения провода в пространстве в данный момент времени (например, подъемная сила крыла с учетом его положения в пространстве и скоростного ветрового напора).

Как известно из математического анализа, провод в пролете провисает по форме цепной линии. Цепная линия – это линия, форму которой принимает гибкая тяжелая не растягиваемая нить, подвешенная в двух точках. График функции цепной линии приведен на рис.1.

На рисунке приняты следующие обозначения: a - координата вершины кривой провисания, которая соответствует расстоянию от условной оси абсцисс до нижней точки провисания провода в пролете в случае равновысокого расположения опор ВЛ над горизонтально расположенной местностью;

l - длина пролета между смежными опорами ВЛ;

h - высота подвеса провода на опоре от условной оси абсцисс;

f - стрела провисания провода.

Применив классическую теорию расчета механической прочности провода ВЛ, определяем тяжения в различных точках провода. В практических расчетах рекомендуется использовать упрощенные формулы, исходя из замены цепной линии параболой. Тяжение провода в точке подвеса равняется нагрузке от веса провода

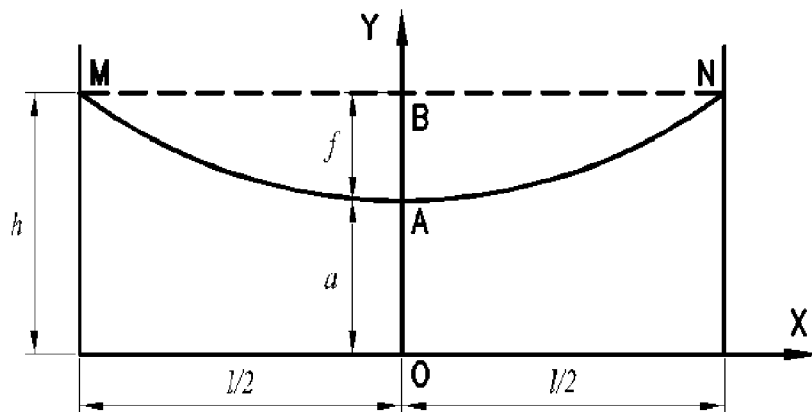


Рис. 1. Линия провисания провода в пролете.

длиной, равной ординате в точке подвеса провода. Учитывая особенности цепной линии, можно сделать вывод о том, что величина тяжения провода не является постоянной и увеличивается по мере отклонения от точки максимального провисания, достигая наибольшего значения в точке подвеса провода. Это одно из существенных отличий реального провода по сравнению с идеальным случаем, когда изменением тяжения можно пренебречь.

Анализ проведенных теоретических исследований возникновения колебаний провода, влияния длины и закрепления концов провода на процесс колебаний, поведения провода во время возникновения колебаний точки подвеса провода позволяет сделать вывод о том, что усилие, которое влияет на провод, главным образом определяется начальным тяжением провода и дополнительным усилием тяжения за счет колебаний точки крепления провода.

Таким образом, проведенные теоретические исследования необходимо считать только первым приближением до теоретического изучения процесса пляски проводов и поэтому для компенсации недостающих знаний касательно природы колебаний провода были проработаны экспериментальные исследования непосредственно на макетах воздушных линий и на действующих ВЛ.

Изменяя параметры модели ВЛ (длину пролета, высоту подвески провода, изменения конфигурации расположения проводов на опорах ВЛ и др. – в масштабе макета), были получены качественные показатели, которые характеризуют условия возникновения пляски проводов. Другим этапом исследований стало моделирование устройств, которые в таких условиях приводили бы к гашению колебаний.

Особое внимание уделялось отысканию на макете такого размещения в пролетах ВЛ, чтоб противостоять синхронизации с низкими собственными частотами провода, то есть чтоб не возникала пляска проводов в первую очередь с 1, 2, 3 и 4-мя полуволнами колебаний в пролете.

Методы борьбы с пляской проводов ВЛ

В настоящее время известно большое количество различных предложений касательно защиты ВЛ от пляски проводов, известно более 130

патентов. Но такое большое количество методов защиты свидетельствует о том, что в настоящее время еще не найден радикальный способ борьбы с пляской. Каждое предложение лишь частично решает эту проблему.

Из-за практического отсутствия высокоэффективных способов борьбы с пляской Правилами устройства электроустановок и Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, как главный способ борьбы с пляской, предложено проводить плавку гололеда электрическим током. Но такой способ энергоемкий, требует использования сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, явление пляски наблюдалось также при отсутствии гололеда. В таком случае способ гашения пляски путем плавки оказался непригодным.

Учитывая возможные повреждения проводов в условиях пляски, необходимо увеличивать расстояния между проводами в местах их крепления. Особенно большие расстояния необходимо обеспечить в случае вертикального расположения проводов, даже если предусматривается некоторое одновременное смещение их по горизонтали.

Значительно проще решается вопрос при горизонтальном расположении проводов. Поэтому одним из первых способов борьбы с пляской был использован метод расположения проводов в районах с частой и интенсивной пляской только горизонтально.

Покрытие проводов водоотталкивающими веществами позволяет значительно снизить силу сцепления гололеда с проводом, однако пока не представляют практической ценности из-за сложности нанесения покрытия и его периодическое обновление на действующих ВЛ. Что касается борьбы с пляской - этот способ действует только побочно, поскольку уменьшает вероятность образования на проводах гололеда, как вероятного показателя возникновения пляски проводов.

Существуют и другие способы предупреждения возникновения пляски, которые непосредственно относятся к борьбе именно с пляской. Так, для конкретной линии частоту собственных колебаний линии электропередачи можно изменить уменьшением или увеличением длины пролета. При этом в соседних пролетах колебания будут происходить с разной ча-

стотой, и в результате взаимного влияния через подвесные гирлянды изоляторов можно ожидать снижения интенсивности колебаний.

Для ограничения колебаний проводов устанавливаются петлевые гасители колебаний, выполненные из одного или нескольких гибких элементов, жестко соединенных между собой или с проводом с помощью элементов крепления. Гибкие элементы центральных петель расположены под поддерживающим зажимом в плоскости под углом 15-45° к вертикали снаружи относительно опоры бока поддерживающего зажима.

Колебания проводов фаз и тросов воздушных линий электропередачи возбуждают колебания гибких элементов петлевых гасителей. При этом в центральных петлях возникают крутящие и поперечные колебания, которые повышают эффективность процесса диссипации энергии колебаний провода.

Еще одним примером, где используется принцип гашения продольных и поперечных колебаний в вертикальной плоскости, является устройство для гашения пляски проводов на воздушных линиях электропередачи 6-20 кВ, имеющий гибкие изолирующие межфазные распорки, вставленные в пролете, и тросовые растяжки, которые соединяют опору с проводом, причем растяжка закреплена на опоре жестко и присоединена к проводу на расстоянии 0,25-0,35 длины пролета.

Для более эффективной работы устройств для гашения пляски проводов были определены их количества и оптимальные размещения. В результате было установлено, что эффективность установки гасителей достигается в случае, когда их размещение выполнять по принципу расположения на расстояниях 1:6, 1:8 и их комбинации. Здесь учтен еще один нюанс – установку устройств ближе к опоре легче выполнить, так как в середине пролета провода более раскачиваются и установить автовышку, с которой ведутся работы, в таком случае оказывается сложнее.

Новый метод борьбы с пляской проводов ВЛ

На основании проведенного анализа по оптимальному расположению мест установки

гасителей, а также результатов проведенных экспериментальных работ на модели и на действующих ВЛ установлено, что, во-первых, не обязательно устанавливать гасители по нескольку в одном пролете, достаточно установить хотя бы один гаситель в пролете; во-вторых, эффективность гашения пляски зависит от места установки гасителя, потому что не во всех точках гашения волн пляски этот процесс происходит с большой вероятностью.

Суть предложенного способа гашения пляски проводов.

Местом работы является линия электропередачи, на которой между смежными проводами необходимо установить не менее чем один изолирующий соединитель. Предложения по способу предупреждения и гашения пляски проводов состоит в том, что предлагаемый способ содержит такие последовательные операции (действия):

1. Определение места, где необходимо выполнить присоединение соединителей.
2. Выполнение разметки места присоединения одного из концов соединителя.
3. Присоединение его к размеченному проводу.
4. Присоединение другого конца соединителя к другому из соединяемых проводов на том же расстоянии от края пролета с допустимым отклонением.

Определение мест присоединения осуществляется, исходя из части участка (от полной длины пролета) от точки крепления проводов до места установки соединителя.

Выполнение действий по определению мест присоединения необходимо осуществлять в соответствии с приведенным описанием и формулами определения зависимостей. Точкой, относительно которой необходимо отмерять расстояние до нужной точки, где будет выполняться присоединение, принято точку крепления провода.

Длина пролета является параметром действующей воздушной линии, на которой выполняются работы по предложенному способу и поэтому, как правило, задается заказчиком работ. В случаях, когда на начало работ эта величина не была определена, то ее отмеряют на месте проведения работ. Этот параметр не относится к изобретению и поэтому он считается заранее заданным.

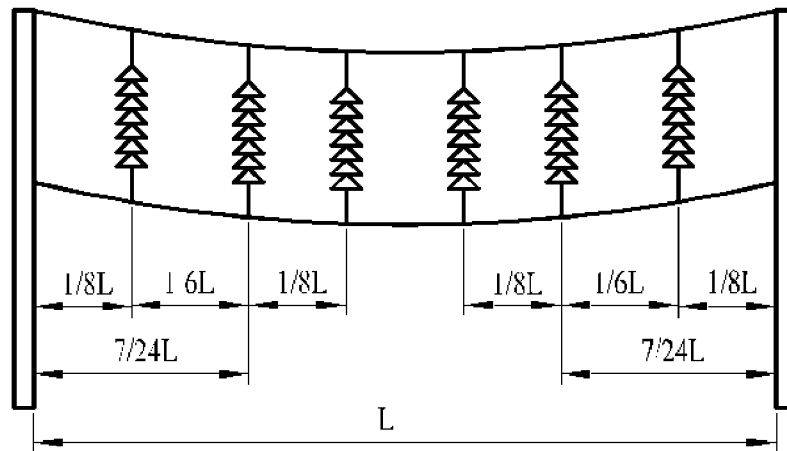


Рис. 2. Пример выполнения работ по предложенному способу.

Количество устанавливаемых соединителей не нормировано и определяется желанием заказчика работ.

Пример выполнения работ по предложенному способу приведен на рис.2.

Учитывая то, что такие работы выполняются, как правило, с телескопической вышки на высоте, такие решения позволят выполнить работу в кратчайшее время. Это дополнительные преимущества предлагаемого способа.

Если бы существовал только один вариант возможной пляски проводов, то наиболее эффективным был бы вариант установки соединителей в точках посередине между узлами пляски. Но таких вариантов много.

Практически достаточно ограничиться гашением первых четырех гармоник, что и принято во время выполнения работ по предложенному изобретению. Узлы пляски по всем возможным вариантам, наиболее опасным случаям пляски проводов, приведены на рис. 3 и рис. 4. Каждый из этих случаев может произойти с определенной вероятностью.

Соединители необходимо установить таким образом, чтобы все варианты возможного существования явления пляски были предусмотрены, поэтому проводилась теоретическая оптимизация, которая потом корректировалась экспериментальными исследованиями на макетах и на действующих воздушных линиях электропередачи.

Кроме способа, основанного на базе выполненных теоретических исследований, предложен «Прибор предупреждения и гашения пляски проводов».

Целью изобретения является повышение эффективности предупреждения и/или гашения «пляски» проводов, в первую очередь с

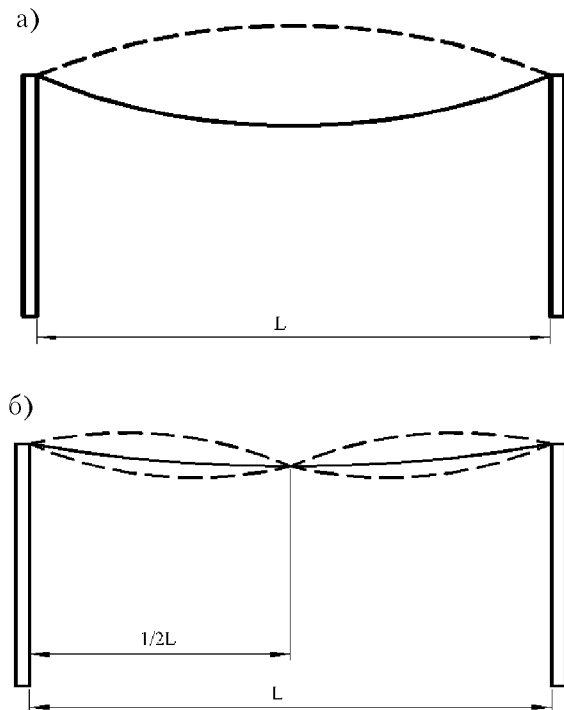


Рис.3. Схемы пляски проводов с разным количеством полупериодов:
а) схема однополупериодической пляски;
б) схема двухполупериодической пляски.

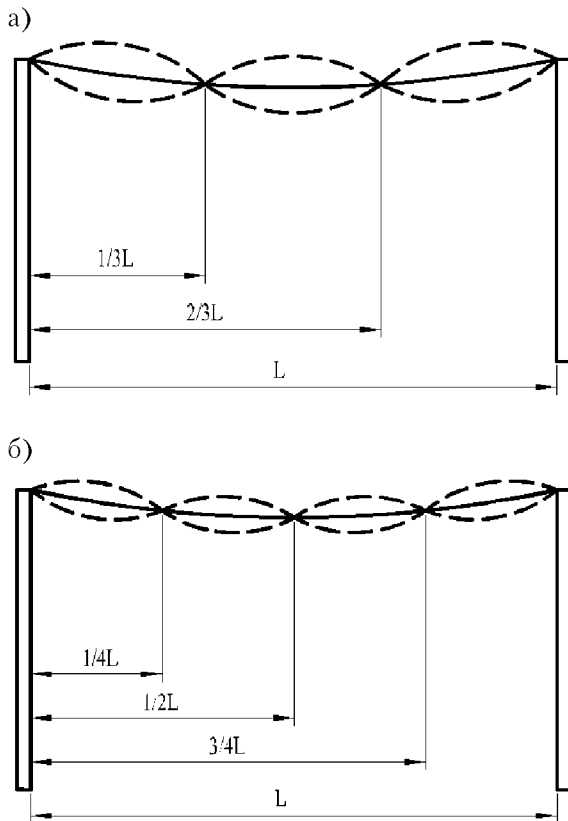


Рис. 4. Схемы пляски проводов с разным количеством полупериодов:

- а) схема трехполупериодической пляски;
 б) схема четырехполупериодической пляски.

одним, двумя, тремя и четырьмя полупериодами в пролете.

Поставленная цель достигается тем, что в пролете воздушной линии электропередачи на проводах между смежными проводами установлено не менее, чем один изолирующий соединитель с жестким сопротивлением растяжению и мягким сопротивлением сжатию с ограниченной гибкостью в направлении сближения соединенных проводов. Для получения указанных конструктивных особенностей соединителя, его выполнено, как минимум, частично гибким, то есть элементы или полностью гибкие, или имеют соединенные с ними последовательно твердые элементы. Предлагаются такие варианты конструктивного исполнения соединителей:

- а) изолирующие элементы соединителя выполнены гибкими;
 б) изолирующие элементы соединителя соединены между собой гибкими элементами;
 в) изолирующие элементы соединителя соединены между собой проводящими элементами из гибкого стержня.

Во время возникновения «пляски» предложенное устройство будет действовать таким образом: в случае расхождения соединенных проводов на устройство действует растягивающая сила, а из-за того, что сопротивление устройства на растяжение максимально, противодействующая разведению будет максимальной. В случае перемещения проводов на сближение, на устройство действует сила сжатия, которая из-за мягкого сопротивления устройства в этом направлении будет восприниматься с мягким демпфированием. В этом случае, во-первых, в двух направлениях перемещению провода будет противодействие устройства этим перемещениям и, во-вторых, возникает неравнозначное действие в разных направлениях, что приводит к возникновению разбалансирования колебаний и усилению их несогласованности. Как следствие, колебания провода гасятся еще на начальной стадии их возникновения.

Выводы

Предложенное устройство выполняет задачу гашения «пляски» проводов во всех наиболее опасных случаях, а именно при одно-, двух-, трех- и четырехполупериодических колебаниях; устройство выполнено с использованием изолирующих элементов, которые имеют меньшую материалоемкость и соответственно меньше нагружают провода из-за того, что нет необходимости выдерживать механическое нагружение на сжатие – отсутствует требование устойчивости, а в прототипах – это обязательное требование.

Таким образом, предложенные технические решения, как способ, так и устройство позволяют эффективно погасить пляску проводов, как правило, еще в начале ее возникновения.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Госэнергоиздат, 1959.
2. Посібник з вивчення правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Електротехнічне обладнання, оперативно-диспетчерське керування. — Київ: ДП „НТУКЦ” АСЕЛЕНЕРГО, 2004.
3. Андриевский В.Н. Эксплуатация металлических и железобетонных опор линий электропередачи. — Госэнергоиздат, 1963.
4. Глазунов А.А. Основы механической части воздушных линий электропередачи. — Том 1. — Госэнергоиздат, 1956.
5. Горохов Є.В., Казакевич М.І., Турбін С.В., Назім Я.В. та ін. Вітрові та ожеледі впливи на повітряні лінії електропередачі // За ред. Є.В.Горохова. — Донецьк, 2005.
6. Груба Г.І., Шевченко В.Г., Плакіда В.Т., Удод Т.Є. Спостереження за пляскою проводів на повітряних лініях електропередачі в Криму // Новини енергетики. — Київ. — №1. — 2005.
7. Груба Г.И., Плакида В.Т., Левченко В.Г., Крыжов Г.П., Удод Т.Е. Исследование процессов, протекающих при пляске проводов // Новини енергетики. — Київ. — №3. — 2005.
8. Крижов Г.П., Удод Т.Є. Боротьба з проявами пляски проводів на повітряних лініях електропередачі // Електропанорама. — Киев. — №1-2. — 2006.
9. Либерман А.Я. Исследования вибрации проводов расщепленной фазы на линиях 400-500 кВ. Дальняя электропередача Волжская ГЭС им. В.И. Ленина // Сб. статей под общей редакцией А.М. Некрасова и С.С. Рокотяна. — М.: Госэнергоиздат, 1958.
10. Эдварде А., Медынский А. Исследование пляски проводов линий электропередачи // Энергетика за рубежом. Линии электропередачи высокого напряжения. — Вып.3. — Госэнергоиздат, 1958.

Шевченко Євген Володимирович є професором кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Академік Академії будівництва України. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі і антенних опор.

Удод Тарас Євгенович є здобувачем кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: оптимальне проектування конструкцій повітряних ліній електропередачі по критерію передаваної натуральної потужності.

Шевченко Евгений Владимирович является профессором кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Академик Академии строительства Украины. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор.

Удод Тарас Евгеньевич является соискателем кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи по критерию передаваемой натуральной мощности.

Shevchenko Evgen Volodymyrovych is a professor at the Metal Construction Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of the Ukrainian Association of Metal Construction, an academician of the Civil Engineering Academy of Ukraine. His scientific interests include an optimum designing of the overhead power line structures and antenna towers.

Udod Taras Evgenovych is a competitor of the Metal Construction Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. His scientific interests include an optimum designing of the overhead power line structures by the criterion of the natural power transmitted.