

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ АРМАТУРЫ СПИРАЛЬНОГО ТИПА

Линейная арматура является важным конструктивным элементом линии, поскольку непосредственно от нее зависит надежность работы линии. Стандартная линейная арматура, применяемая в энергосистемах Украины и России для строительства новых и поддержания состояния существующих объектов, не только морально устарела, но и перестала отвечать установленным требованиям по ряду характеристик. За годы эксплуатации в ней были выявлены серьезные конструктивные недостатки. В связи с этим принимаются меры по модернизации существующей и созданию нового типа арматуры – спиральной.

В основу конструкции спиральной арматуры положен известный еще со времён Эйлера принцип передачи силы от гибкой нити к цилиндру, реализованный в виде проволочной спирали, охватывающей провод. Фактически такая арматура является сочетанием идеи защиты проводов преформированными спиральными прядями с Эйлеровым принципом передачи усилия натяжения от провода к зажиму через спиральное защемление [1].

Спиральная арматура применяется для подвески и ремонта как неизолированных, так и защищённых изоляцией проводов, самонесущих оптических кабелей и грозозащитных тросов, в том числе с встроенным оптическим кабелем на опорах воздушных линий электропередачи, контактной сети железных дорог, городского наземного электротранспорта и уличного освещения. Это и спиральные шлейфовые соединители типа ШС-Дпр-01, протекторы для защиты проводов в поддерживающих зажимах ПГН-5-3 типа ПЗС-Дпр-01, протекторы у соединительных зажимов типа ПЗС-Дпр-31, это и поддерживающие зажимы типа ПС-Дпр-01 и ПС-Дпр-11 для защиты и ремонта проводов ВЛ 110 кВ, дистанционные распорки-гасители, гасители вибрации, протекторы под гасителями вибрации типа ПЗС-Дпр-11, натяжные и поддерживающие зажимы для подвески самонесущих оптических кабелей связи, диэлектрических и встроенных в грозозащитный трос и т.п. [2].

Разработанные технические решения по ремонту проводов и грозозащитных тросов с применением спиральной арматуры позволяют восстанавливать их состояние до нормативного практически с любыми видами повреждений за очень короткие сроки и без применения специального инструмента. Это не только увеличивает срок службы провода при эксплуатации, но и не требует его преждевременной замены.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия одно- и двухпетлевого виброгасителя спирального типа при пляске проводов, возникающей при ветре и обледенении. Скорость ветра есть параметр, который определяет возможность или невозможность развития пляски. Пляска провода – это взаимно согласованные вертикальное (горизонтальное) и крутильные колебания. Основная роль гасителей состоит в повышении частоты колебаний для недопущения ее приближения к вертикальным колебаниям провода, а точнее – в компенсации ее снижения из-за обледенения провода и, как результат, препятствие возникновению пляски [3].

Конструктивно гаситель состоит из груза массой  $M$ , подвешенного к проводу посредством двух упругих элементов, выполненных на основе спиральной арматуры и представляющих собой пряди из проволок ( $n_{\text{пров}}$ ) диаметром  $d$  в виде дуг полуокружностей диаметром  $D$  (рис 1а).

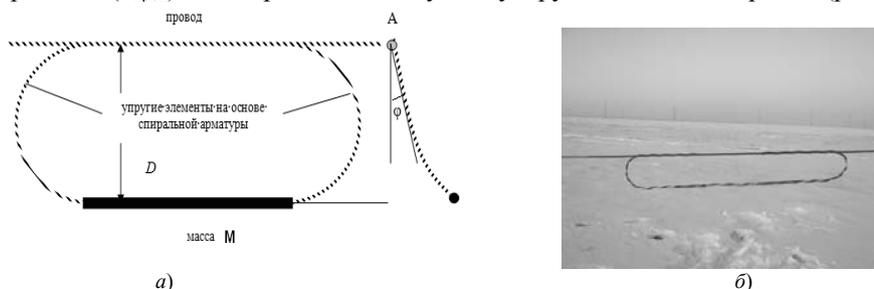


Рис. 1. Однопетлевой гаситель:

а) динамическая схема гасителя; б) гаситель, установленный на провод

Если в пролете установлено  $n$  гасителей, общая масса которых мала по сравнению с массой провода, то частоты вертикальных колебаний практически не изменяются, а основная частота крутильных колебаний “расщепляется” на две ( $\Omega_1, \Omega_2$ ):

$$\Omega_1 \approx \omega_c \sqrt{\lambda}, \quad \Omega_2 \approx \omega_M.$$

Здесь:

$\omega_M = \sqrt{g/D}$  – частота колебаний гасителя, свободно вращающегося вокруг точки А – маятниковые колебания, (рис.1 а);

$g$  – ускорение свободного падения;

$D$  – диаметр полуокружности;

$\lambda = \frac{MD^2}{\theta}$  – параметр момента инерции ( $\theta$  – момент инерции);

$\omega_c = \sqrt{c_z/M}$  – частота колебаний гасителя, жестко защемленного в точке А (упругие колебания);

$c_z = \pi d \dot{\phi} / V$  – коэффициент подъемной силы;

$M$  – масса груза;

$V$  – скорость ветра;

$\dot{\phi}$  – угол отклонения гасителя от вертикали под действием ветра;

$d$  – диаметр проволок.

Между этими частотами существует простое соотношение, легко определяемое экспериментально:

$$\left( \frac{\omega_M}{\omega_c} \right)^2 = \frac{Mg}{Dc_z} = \frac{\Delta}{D}$$

где  $\Delta$  – статическое смещение груза под действием собственного веса при горизонтальном расположении петли гасителя.

Очевидно, что из соображений прочности гаситель должен проектироваться так, чтобы это отношение было малым, то есть  $\omega_M \ll \omega_c$ .

Поскольку при этом  $\lambda \gg 1$ , момент инерции провода мал по сравнению с моментом инерции конструктивно приемлемого гасителя. Благодаря этому при  $\omega_c \approx \omega_K$  снижение частоты крутильных колебаний в случае обледенения провода может быть эффективно компенсировано установкой гасителей.

При использовании двухпетлевых гасителей провод и торсионы колеблются в противофазе с проводом на частоте  $\Omega_1$  и в фазе — на частоте  $\Omega_2$ . Динамическая схема гасителя с двумя петлями приведена на рис. 2, а.

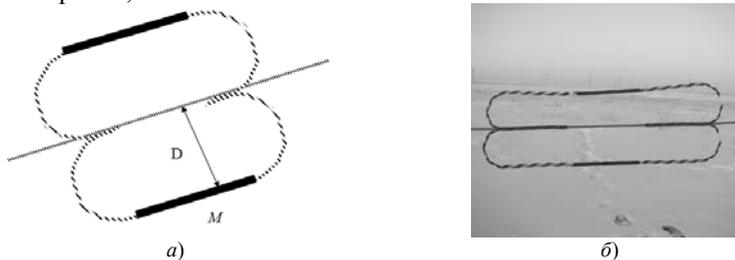


Рис. 2. Двухпетлевой гаситель:

а) динамическая схема гасителя; б) гаситель, установленный на провод

В этом случае частоты крутильных колебаний равны:

$$\Omega_1 \approx \omega_c \sqrt{2\eta} \gg \omega_K \quad \text{и} \quad \Omega_2 \approx \omega_c \sqrt{\frac{1}{2\eta}} \ll \omega_K,$$

где  $\eta = \left( \frac{\omega_K}{\omega_B} \right)^2$  параметр расстройки частот.

Этим также достигается рассогласование частот крутильных и вертикальных колебаний.

Анализ приведенных расчетных результатов показал, что качество гасителя несколько выше, если расстройка частот достигается преобладанием крутильной частоты над вертикальной. Основными отличиями между одно- и двухпетлевыми гасителями является снижение качества однопетлевого гасителя с ростом его диаметра и повышение качества двухпетлевого гасителя при этом же условии.

Важным свойством обоих типов гасителей является то, что они делают частоты колебаний провода нечувствительными к гололеду: частота крутильных колебаний практически перестает зависеть от присоединенной массы наледи, что, в свою очередь, дает значительные преимущества гасителей в сравнении со стандартными традиционного типа.

Для более наглядного восприятия преимуществ двухпетлевых гасителей приведем результаты испытаний, проведенных российской компанией *ЗАО НТЦ «Электросети»*.

В декабре 2008 года анкерный пролет (14 промежуточных пролетов) линии 110 кВ был защищен спиральными гасителями.

Гасители установлены по следующей схеме:

- на первой фазе установлен однопетлевой гаситель пляски;
- вторая фаза осталась свободной от гасителей;
- на третьей фазе установлены двухпетлевые гасители.

Такая схема реализована для того, чтобы провода, оборудованные разными гасителями, и необорудованные провода были в максимально близких физических условиях. Только таким образом можно наиболее корректно оценить и сравнить эффективность различных гасителей.

Для того, чтобы получить достоверные данные по эффективности гасителей, на линии была установлена система измерений. Система измеряет тяжение в проводе с помощью динамометра, встроенного в натяжную гирлянду на анкерной опоре. Сигнал от динамометра обрабатывается компьютером и сохраняется как последовательность значений тяжения в каждый момент времени (рис. 3).

Таким образом, получая сигнал от динамометров с достаточной частотой, колебания тяжения при пляске проводов будут характеризовать «силу» пляски. Амплитуда этих колебаний, как видно из диаграммы, определяет эффективность двухпетлевого гасителя.

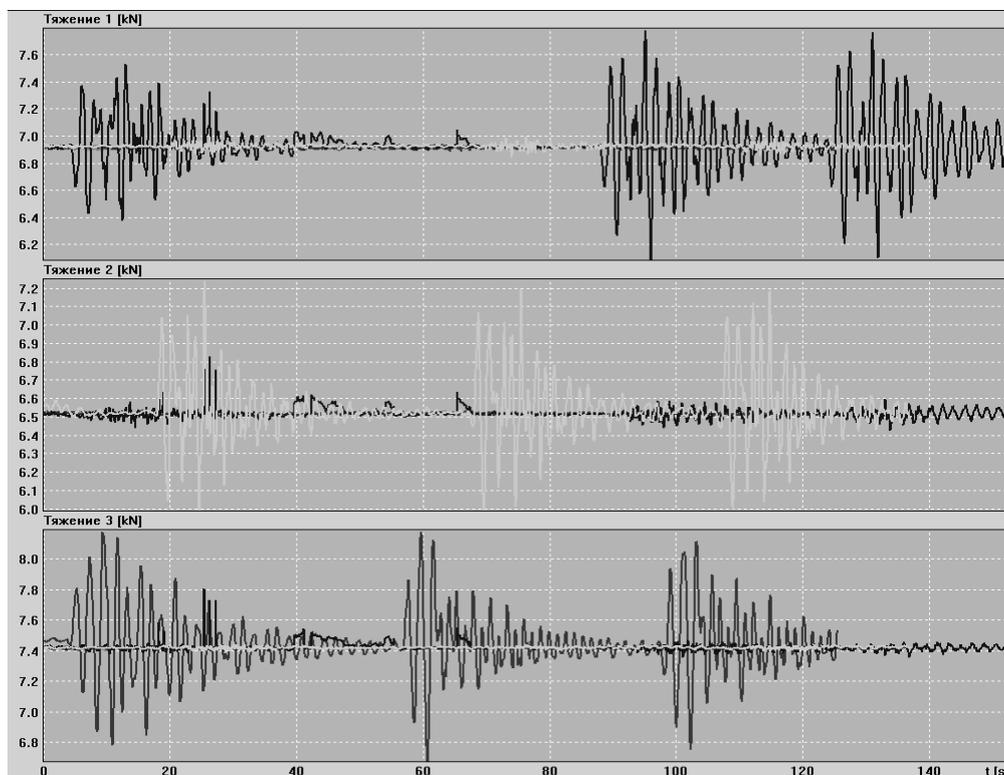


Рис. 3. Запись колебаний тяжения проводов при искусственном возбуждении на трех фазах линии 110 кВ: тяжение 1 – однопетлевой гаситель; тяжение 2 – без гасителя; тяжение 3 – двухпетлевой гаситель

Далее рассматривается натяжной зажим спирального типа [4]. Конструкция такого зажима состоит из силовой пряди и коуша (рис.4). Силовая прядь монтируется непосредственно на проводе или ином сердечнике и через коуш и стандартную сцепную арматуру крепится к опоре воздушной линии электропередачи. Она собирается из нескольких спиралей. Материалом для спиралей служит, как правило, стальная проволока с антикоррозионным защитным покрытием из алюминия или цинка. В процессе воздействия на конструкцию растягивающего усилия  $P$ , когда с одной стороны усилие приложено к проводу, а с другой – к коушу, возникает крутящий момент  $M_{кр}$ , который стремится раскрутить силовую прядь.

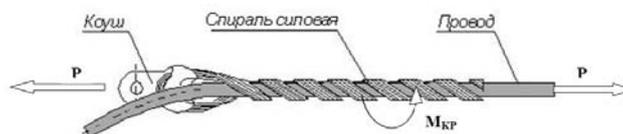


Рис. 4. Типовая конструкция натяжного зажима спирального типа НС-D<sub>ПР</sub>-02

С увеличением растягивающего усилия величина крутящего момента  $M_{кр}$  также увеличивается. Однако при достижении растягивающей нагрузки, превышающей прочность заделки зажима, упругое сопротивление спиралей силовой пряди преодолевается и происходит отказ зажима, поскольку силовая прядь переходит в область пластических деформаций. Поэтому требуемая прочность заделки зажима обеспечивается правильно выбранным диаметром проволоки и количеством спиралей. При увеличении заявляемой прочности заделки требуется больший диаметр проволоки и большее количество спиралей в силовой пряди. И тот, и другой параметр можно увеличивать только до определённого значения. Поэтому необходимо найти такое конструктивное решение, которое позволило бы компенсировать возникающий момент кручения  $M_{кр}$  и добиться значительного увеличения прочностных параметров натяжного зажима.

Направление момента кручения  $M_{кр}$  зависит от направленности навивки спиралей силовой пряди. Если предположить, что суммарное растягивающее усилие  $P$  распределено между двумя силовыми прядями  $P_1$  и  $P_2$  (рис.5) и направленность навивки спиралей в прядях сделать взаимно-противоположной, то возникающие моменты кручения  $M_1, M_2$  будут компенсировать друг друга и суммарный момент  $M_{\Sigma}$  будет равен их разности:

$$M_{\Sigma} = M_1 - M_2$$

На рис.5 приведена конструктивная схема зажима, реализующая такой подход [5]. Применение таких зажимов целесообразно для случаев, когда необходимая прочность заделки провода или троса превышает двадцать и более тонн. Одной из возможных сфер применения указанной конструкции является анкерное крепление проводов и грозозащитных тросов на больших переходах.

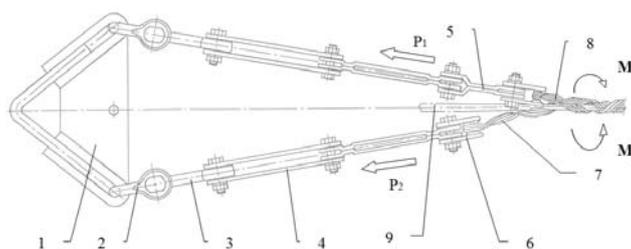


Рис. 5. Натяжной зажим спирального типа с двумя силовыми прядями НСО-19,2-52(230) в сборе со стандартной сцепной арматурой:

- 1 - коромысло универсальное;
- 2 - скоба типовая;
- 3 - звено промежуточное вывернутое;
- 4-звено промежуточное регулируемое;
- 5-звено промежуточное трёхлапчатое;
- 6-коуш;
- 7-нижняя силовая прядь спирального зажима;
- 8- верхняя силовая прядь спирального зажима;
- 9- грозозащитный трос с встроенным оптическим кабелем

Также не хотелось оставлять без внимания внутрифазные дистанционные распорки-демпферы типа РД или распорки-гасители, предназначенные для защиты от вибрации и субколебаний проводов

расщепленной фазы воздушных линий электропередачи, а также для упругой фиксации на заданном расстоянии проводов расщепленной фазы. Конструктивное исполнение распорки-демпфера типа 4РД-400D-34 приведено на рис.6. Рама 1 и лучи распорки-демпфера 2 изготавливаются из алюминиевого сплава, демпфирующие элементы 3 – из специального эластомера.

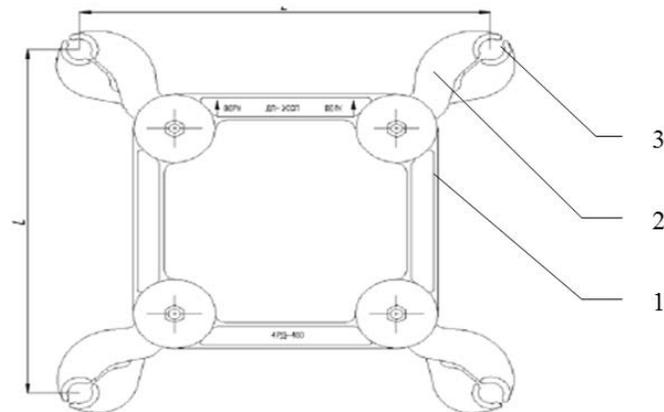


Рис. 6. Четырехлучевая распорка-демпфер типа 4РД-400D-34 с обрезиненными зажимами замкового типа:

1 – рама распорки; 2 – луч; 3 – демпфирующий элемент

Для более эффективного противодействия субколебаниям и предотвращения возможного закручивания фазы при коротком замыкании распорки-демпферы должны устанавливаться по определенной схеме расстановки, рассчитываемой для конкретных параметров линии в зависимости от ветровой обстановки и условий местности.

В заключение следует отметить основные отличия и преимущества арматуры спирального типа по сравнению с известными конструкциями, традиционно применяемыми в энергетике и связи.

Спиральная арматура:

- позволяет закреплять кабели волоконно-оптической связи, которые никакими другими техническими средствами закрепить невозможно;
- за счет равномерного распределения сжимающего усилия по длине спирального зажима надежно предохраняет провода от воздействия раздавливающих нагрузок в местах установки зажимов;
- обеспечивает надежное крепление и защиту проводов от опасных изгибов, перетирания, вибрации и других механических воздействий, увеличивая их срок службы;
- позволяет производить оперативный ремонт проводов (тросов) практически с любыми видами повреждений до полного восстановления их механических и электрических характеристик;
- позволяет значительно сократить сроки и стоимость ремонтных и монтажных работ за счет отказа от применения специального оборудования и оснастки, при этом выполнение работ не требует высокой квалификации персонала.

В целом спиральная арматура характеризуется достаточной жизнеспособностью, с ее помощью полностью восстанавливают механическую прочность проводов и этим самым продлевают срок их эксплуатации.

В 2008 году на ВЛ-750 кВ ЧАЭС- ХмАЭС Центральной энергосистемы для повышения эффективности защиты от вибрации грозозащитного троса АС-70/72 на 10 опорах линии экспериментально была установлена спиральная арматура: многочастотные гасители вибрации типа ГВ-4533-02 и поддерживающие зажимы ПС-15,4П-11. В настоящее время замечаний по выполнению защиты от вибрации отсутствуют.

Таким образом, широкое применение в ОЭС Украины спиральной арматуры позволит значительно повысить надежность работы линий и качество ремонтов, позволит выполнять ремонты в полном объеме и существенно снизить затраты на ремонтные работы. Внедрение спиральной арматуры во всех энергосистемах НЭК «Укрэнерго», а также в других энергоснабжающих компаниях Украины приведет к высвобождению значительных денежных средств и направлению их на развитие энергосистемы.

---

**Литература**

1. Рыжов С.В., Цветков Ю.Л. Опыт применения арматуры спирального типа на воздушных ЛЭП. – ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2005, №2. – С. 32 – 36.
  2. Каталог «Спиральная арматура для подвески и ремонта проводов», Электросетьстройпроект..
  3. Афанасьева О.Е., Рыжов С.В., Фельдштейн В.А., Фельдштейн И.В. Динамические модели для исследования вибрации проводов линий электропередачи и воздушных коммуникационных кабелей в ветровом потоке. – Проблемы машиностроения и автоматизации, 1998, № 1. – С. 50 – 57.
  4. Патент Российской Федерации №2 315 408 С1, «Спиральный натяжной зажим», авт. Жуков А.И., Рыжов С.В., Цветков Ю.Л., 30.08.2006 г.
  5. С.В. Рыжов, Ю.Л. Цветков. Арматура спирального типа для проводов ВЛ. ЗАО ЭССП, г.Москва, 24.06.03.
- 
-