

# Повышение надежности проводов, грозотросов ВЛ и ВОЛС — комплексный подход

**С.В. РЫЖОВ**, генеральный директор ЗАО “НТЦ “Электросети”, кандидат технических наук, доцент, **А.В. ТИЩЕНКО**, генеральный директор ЗАО “Электросетьстройпроект” (ЗАО “ЭССП”)

С 1991 г. ЗАО “Электросетьстройпроект” (ЭССП) ведет научно-производственную деятельность на рынке энергетики и связи. Сегодня ЗАО “ЭССП” — крупнейший производитель и поставщик арматуры спирального типа и современных средств защиты проводов от ветровых колебаний.

В состав ЗАО “ЭССП” входит научно-технический центр “Электросети” — главный разработчик и испытатель спиральной арматуры и гасителей ветровых колебаний.

В статье авторы не пытаются раскрыть преимущества арматуры спирального типа. Указанная арматура за более чем двадцатилетний период применения в России доказала свою эффективность и преимущества как при строительстве новых линий, так и при ремонтах и модернизации старых. Цель статьи — популяризация комплексного подхода, разработанного нами и с успехом применяемого на практике, направленного на повышение надежности проводов, грозозащитных тросов ВЛ-ВОЛС.

## Ветровые воздействия на провода-кабели – основной фактор снижения надежности

Существенное влияние на показатели надежности ВЛ оказывает ветровое воздействие, приводящее к циклическим колебаниям проводов: снижению ресурса работы, уменьшению пропускной способности, частичному или полному разрушению провода.

Циклические движения проводов, вызываемые ветром, подразделяются на три категории: золова вибрация, пляска и колебания, вызываемые аэродинамическим следом. Они различаются механизмами передачи энергии, видами движения, частотами и амплитудами колебаний, харак-

тером воздействия на арматуру, провода и другие элементы ВЛ.

В этой связи одной из наиболее важных проблем повышения надежности ВЛ является задача по усилению защиты проводов и оптических кабелей от ветрового воздействия.

## Арматура спирального типа как средство защиты провода от ветровых воздействий

Опыт обследований ВЛ различных классов напряжения убедительно показывает, что наиболее часто повреждения проводов вызваны ошибками в проектных решениях, несовершенством конструкций арматуры, низкой эффективностью средств защиты, человеческим фактором, включая и ошибки при монтаже (рис. 1).

Значительная часть повреждений происходит при низких температурах, т. е. при повышенных тяжениях, когда демпфирующие свойства провода заметно снижены. Разрушения наблюдаются как в

алюминиевых повивах, так и стальном сердечнике, причем вблизи натяжных, поддерживающих зажимов, на выходе из соединительных зажимов, где свободное перемещение провода ограничено сцепной или соединительной арматурой.

В этой связи следует особо отметить, что арматура спирального типа обладает только ей присущей способностью, выгодно отличающейся от стандартной арматуры, — достаточно неплохими демпфирующими свойствами. В 1999 г. по инициативе ОАО “Тюменьэнерго” силами ЗАО “ЭССП” были проведены сравнительные испытания по определению ресурса проводов АС под воздействием вибрации при наличии спирального протектора и без него в условиях отсутствия гасителей вибрации. Испытания проводились для трех марок проводов: АС95/16, АС240/32, АС300/39. Ресурс оценивался по количеству циклов вибрации до появления трех оборванных проволок в верхнем повиве (согласно критерия СИГРЭ [1, 3]).



**Рис. 1.** Причины, вызывающие снижение ресурса работы проводов, грозотросов ВЛ и ВОЛС (а, в, е — некачественная арматура; б, г, з, и — неверное проектное решение; д, ж — ошибки при монтаже)

Результаты сравнительных испытаний показали, что присутствие арматуры спирального типа повышает ресурс работы провода от 2,5 до 7,8 раз [5].

### Разработка эффективных гасителей ветровых колебаний

К 1998 г. со всей очевидностью стало ясно, что серийно выпускаемые гасители вибрации ГПГ и ГВН имеют малую эффективность и высокую аварийность. При проведении обследований в ряде энергосистем было выявлено, что гасители во многих пролетах отсутствовали — упали. Многие гасители «уехали» в пролет и потеряли эффективность. Из-за усталостных разрушений демпферных тросов один или оба груза часто обламывались (рис. 1в), а остатками троса аварийный гаситель начинал повреждать провод.

С целью повышения надежности, как самих виброгасителей, так и ВЛ в целом, были поставлены следующие задачи:

пересмотр конструкции крепления гасителя к проводу;

применение специального демпферного троса с высокими демпфирующими свойствами;

использование более современных концепций построения гасителя по сравнению с традиционными, чтобы повысить эффективность демпфирования в диапазоне рабочих частот.

Для их решения был рассчитан и реализован многочастотный гаситель с эксцентрично расположенными грузами (рис. 2) с использованием созданного в ЗАО «ЭССП» пакета математических моделей по вибрации проводов ВЛ [1, 2].

Гаситель отличается наличием в его амплитудно-частотной характеристике пиков гашения, обусловлен-



**Рис. 2. Гаситель вибрации многочастотный — ГВ-XXXX-XX**

ных не только изгибными деформациями демпферного троса, но и деформациями кручения. Испытания подтвердили, что энергопоглощение оказывается более равномерным и охватывает более широкий диапазон частот.

Демпферный трос гасителя изготовлен по специальной технологии, обеспечивает более высокое энергопоглощение при его изгибах. Корпус и плашка выполнены литьем, демпферный трос надежно запрессован в нижней части корпуса. Крепление зажима к проводу (грозотросу) имеет вид крюка для увеличения угла охвата, а крепежный болт плашки зажима имеет резьбу уменьшенного шага и снабжен одной или двумя тарельчатыми пружинными шайбами, исключающими возможность самоотвинчивания и компенсирующими усадку диаметра провода со временем эксплуатации.

Сегодня это один из самых востребованных гасителей вибрации.

### Гаситель «пляски»

«Пляска» проводов — низкочастотные колебания в диапазоне 0,2 — 1 Гц с амплитудой порядка стрелы провисания провода. Физика явления обусловлена взаимодействием вертикальных и крутильных колебаний, раскачивающих провод под действием ветра. При наличии гололедно-изморозевых отложений центр тяжести сечения провода смещается от его оси, и при вертикальных колебаниях возникает сила инерции, линия действия которой смещена относительно оси провода (динамическая неуравновешенность провода). Эта сила создает крутящий момент, поддерживающий крутильные колебания.

При наличии ветра и динамической неуравновешенности провода вертикальные и крутильные колебания взаимно поддерживают друг друга и при скорости ветра, превышающей некоторое критическое значение в диапазоне 8 — 20 м/с, могут развиваться до значительных амплитуд. В этом случае возникает «пляска» — вертикально-крутильные колебания провода. При отсутствии

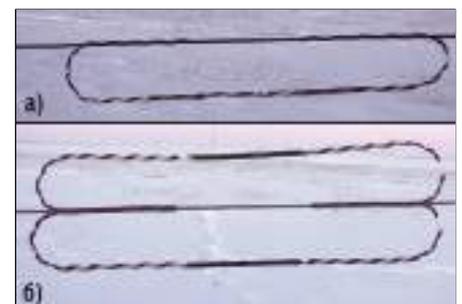
гололеда частоты вертикальных колебаний ниже, чем крутильные. Однако при гололедных отложениях момент инерции провода относительно его оси возрастает, и частоты крутильных колебаний уменьшаются. При увеличении массы отложений частоты сближаются и могут сравняться, что создает условие для самовозбуждения колебаний типа «пляски». «Пляска» сопровождается значительными бросками тяжения, при определенных условиях превышающие разрывную прочность провода (троса).

Указанный принцип рассогласования частот реализован конструктивно в виде одно- и двухпетлевых гасителей («Крыло» и «Бабочка») (рис. 3). Первые повышают частоты крутильных колебаний по отношению к вертикальным, а вторые — понижают их.

В 2008 — 2013 гг. гасители прошли успешные полевые испытания в сетях ОАО «Тюменьэнерго». За указанный период не произошло ни одного короткого замыкания по причине «пляски» проводов в защищенных пролетах. По результатам испытаний гасители приняты для массового внедрения.

Одним из наиболее эффективных устройств, разработанных нами в последнее время, является гаситель ветровых колебаний универсальный — ГВКУ. Он состоит из согнутой силовой пряди, выполненной из спиральных элементов, двух грузов, расположенных на демпферном тросе (рис. 4). Верхней своей частью гаситель крепится на проводе.

Основным назначением ГВКУ является рассогласование частот вертикальных и крутильных колеба-



**Рис. 3. Гасители пляски спирального типа ГПС (а — гаситель пляски «Крыло», б — гаситель пляски «Бабочка»)**



**Рис. 4. Гаситель ветровых колебаний универсальный**

ний и исключение их близости при обледенении провода. Наличие в конструкции грузов и силовой рамки приводит к повышению крутильной жесткости провода и, как следствие, к ограничению гололедообразования. ГВКУ имеет встроенный гаситель вибрации с уникальными техническими параметрами.

ГВКУ обладает рядом преимуществ перед аналогами. Крепление к проводу производится с помощью силовой спиральной пряди, плавно охватывающей провод. Отсутствуют концентраторы напряжения слева и справа, как это имеет место в случае применения жесткого корпуса с плашкой. Отпадает необходимость ставить дополнительный протектор под гаситель вибрации. Наличие удлиненного демпферного троса добавляет демпфирующие свойства гасителю. Способ заземления демпферного троса не препятствует перемещениям проволоочных спиралей в тросе, что приводит к появлению дополнительных демпфирующих свойств. Рамка выполнена из спиралей и колеблется в процессе передачи энергии от провода, что является дополнительным элементом демпфирования конструкции. Стоимость универсального гасителя ниже, чем у современных аналогов. Крепление с помощью спиралей является, по сути, компенсатором усадки диаметра провода.

### Создание расчетных методик по защите от ветрового воздействия

Решение проблемы повышения надежности проводов происходит уже на этапе проектирования ВЛ. ЗАО «Электросетьстройпроект» более двадцати лет генерирует ответы на запросы проектных институтов по выбору оптимальной схемы защиты проводов, грозозащитных тросов, оптических кабелей связи от вибрации и «пляски». При

этом расчеты базируются на комплексной математической модели колебаний пролета, разработанной нашими специалистами. Модели конструкций арматуры, гасителей встраиваются в общую модель пролета, после чего производится расчет оптимальной схемы защиты от ветрового воздействия.

Применение спиральной арматуры — натяжные, поддерживающие, соединительные, ремонтные зажимы, усиливающие и защитные протекторы и другие — требует внесения корректив в сложившуюся практику защиты ВЛ от вибрации. Если раньше вопросы виброзащиты могли решаться исходя из анализа поведения провода в пролете на основе простейшей струнной модели, то теперь такой анализ является недостаточным. Установка спиральных усиливающих протекторов в точках подвеса заставляет рассматривать провод в пролете как растянутую балку с переменными по длине погонной массой и жесткостью.

Увеличение погонной массы и изгибной жесткости на участках со спиральной арматурой вносит существенное изменение в картину вибрации провода, приводит к значительному сокращению длины волны вибрации, и место установки гасителя смещается ближе к опоре. Поэтому, если установить гаситель вибрации в соответствии с традиционными рекомендациями, он может попасть в узел колебаний в заданном диапазоне частот и будет неэффективен и более того — вреден. Только совместный учет приведенных факторов позволяет получить оптимальный вариант — снизить уровень вибрации до безопасного значения в любой точке пролета, во всем диапазоне частот. Игнорирование этого факта приводит к резкому снижению эффективности принятого варианта защиты провода от вибрации, снижению показателя надежности ВЛ.

В международной практике при оценке схемы надежности виброзащиты проводов, тросов используется несколько подходов, представленных нормативными документами СИГРЭ [7].

Прежде всего, это критерий S-N — кривых безопасности, ставящий в соответствие изгибное напряжение S и число циклов N до начала разрушения повива.

Своей концепции придерживается Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE). В ней в качестве критерия безопасности принимается уровень максимальных изгибных деформаций  $\epsilon=150$  (микрострейн).

Под оптимальной схемой понимается выбор наиболее подходящих для конкретного пролета гасителей вибрации, их количество и места установки. Это достигается проведением параметрических расчетов изгибных деформаций провода в потенциально опасных точках пролета во всем спектре частот, в процессе которых варьируются тип гасителя, их количество, координаты установки. По результатам расчета выбирается вариант, при котором изгибные деформации минимальны.

Продолжением работ по повышению надежности ВЛ-ВОЛС и отработке технических решений является разработка современных систем мониторинга, позволяющих производить оперативный контроль за состоянием ВЛ. В частности нами спроектирована и успешно работает с 2008 г. в регионе Тюменьэнерго система слежения за изменением бросков тяжёлых проводов. Система была разработана для отработки конструкций гасителей «пляски».

В настоящее время мы разрабатываем систему мониторинга «Меркурий», предназначенную для мониторинга ВЛ в реальном времени. Цель — обеспечение эксплуатирующей организации информацией, позволяющей контролировать механические и электрические состояния ВЛ на всем ее протяжении.

### Комплексный подход повышения надежности проводов ВЛ

Комплексный подход по повышению надежности проводов ВЛ представляет собой совокупность теоретических и практических мероприятий:

создание новейших конструкций арматуры, средств защиты от ветровых воздействий;

разработка расчетных методик по определению эффективности создаваемой арматуры и средств защиты;

проверка расчетных методик и разрабатываемых конструкций на испытательных стендах и в полевых условиях на действующих ВЛ, включая разработку и применение средств мониторинга.

При строительстве ВЛ именно комплексный подход в комплектации поможет избежать попадания на объекты строительства недоброкачественных подделок и обеспечит высокую эксплуатационную надежность ВЛ. Одна фирма должна отвечать и за поставляемую арматуру, и за гасители вибрации, и за предлагаемые схемы виброзащиты. Более того, производитель должен гарантировать поставку в определенные сроки, обеспечить инженерную и научную поддержку, проведение шефмонтажа и/или шеф-наладки, распространение всех фирменных гарантий на оборудование, арматуру в течение гарантийного срока, оговоренного в конкурсной документации.

В противном случае никто ни за что не отвечает, поскольку будет кивать на “соседа”, доказывая, что у того неграмотно рассчитаны схемы, плохая арматура, никудашные гасители и т. д.

В своих решениях по защите проводов и грозотросов от ветровых воздействий мы руководствуемся именно комплексным подходом.

Ярким доказательством эффективности применяемого подхода являются следующие примеры. На ВЛ 500 кВ “ГРЭС-2 — Пыть-Ях” на переходе через р. Обь вблизи г. Сургут (длина пролета 963 м) в течение ряда лет возникали проблемы, связанные с повреждениями грозозащитного троса марки ТК 141 в поддерживающих зажимах. Применяемые схемы виброзащиты с использованием типовых гасителей вибрации не давали желаемого результата: в течение года гасители полностью разрушались, а на второй год эксплуатации повреждался трос. После замены троса все повторялось.

Весной 1998 г. переход был обору-

дован спиральными протекторами и схемами виброзащиты с применением многочастотных гасителей вибрации типа ГВ [4] и петлевых гасителей ПГ производства ЗАО “Электросетьстройпроект” (рис. 5). В соответствии с расчетной схемой по концам протектора ПЗС-15,4-01 установлены гасители вибрации ГВ-6644-02 и ГВ-4534-02. Для подавления низкочастотной составляющей вибрации предусмотрен петлевой гаситель ПГ-15,4-2000.

Предложенная в 1998 г. схема виброзащиты перехода работает эффективно и надежно. К настоящему времени, по прошествии 16 лет, каких-либо повреждений троса или гасителей вибрации не обнаружено.

На ВЛ 110 кВ “Красноленинская — Чистая 1,2” отпайка на ПС “Рогожниковская” на большом переходе через р. Обь (общая протяженность 2419 м) возникли проблемы, связанные с повреждением верхних повивов провода АС 500/336 на выходе из поддерживающего зажима роликового подвеса. Для устранения данного повреждения в феврале 2006 г. на переходе был произведен ремонт проводов с установкой усиленных спиральных протекторов и многочастотных гасителей вибрации типа ГВ-XXXX-XX. Одновременно была также произведена установка защитных спиральных протекторов марки ПЗС-37,5-31 на САСУС (рис. 6).

Выполненный ремонт провода позволяет не производить его замену, а схема виброзащиты перехода работает эффективно и надежно. К настоящему времени, за восьмилетний период эксплуатации, каких-либо повреждений троса, провода или гасителей вибрации не обнаружено.

И таких примеров можно привести множество.

Более двадцати трех лет компания ЗАО “Электросетьстройпроект” проектирует арматуру спирального типа. Оперативно откликается на запросы энергетики по расширению возможностей увеличения передаваемой мощности (арматура для компактированных и термостойких проводов), возрастающие требования по уровню прочности узлов под-



Рис. 5. Схема защиты от вибрации троса ТК-141 на переходе через р. Обь (1998 г.)

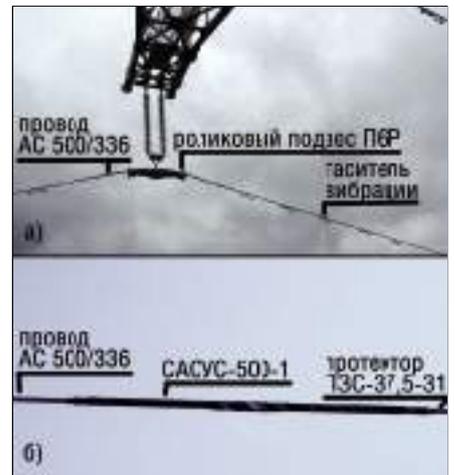


Рис. 6. Переход через р. Обь. ВЛ 110 кВ “Красноленинская — Чистая 1,2” отпайка на ПС “Рогожниковская”. Фрагмент перехода до (а) и после (б) установки защитных спиральных протекторов марки ПЗС-37,5-31 на САСУС-500-1

вески проводов и грозотросов, повышение ресурсной стойкости элементов ВЛ, работающих в самых сложных условиях эксплуатации.

Номенклатура разработанных и выпускаемых конструкций арматуры для линий ВОЛС-ВЛ имеет беспрецедентный состав по всему разнообразию проводов и кабельной продукции как в структурном плане, так и по уровню диаметров и допустимых нагрузок.

При моделировании новых конструкций с заданными эксплуатационными свойствами мы руководствуемся собственными методическими наработками и расчетными программами. Математические модели и расчетные методики подвергаются тщательной проверке в испытательной лаборатории, многократно подтверждены практикой. Отработана современная технология серийного производства выпускаемой продукции.

Совместно с проектированием спиральной арматуры мы разраба-

тываем схемы защиты от ветровых колебаний, выполняем работы по сопровождению проектирования для разработки наиболее надежных подвесов проводов и оптических кабелей. Уникальная методическая база и программный комплекс позволяют моделировать весь пролет с арматурой и гасителями в ветровом потоке. Использование в расчетах современных критериев безопасного уровня изгибных деформаций дает возможность надежной эксплуатации ВОЛС-ВЛ на срок 40 и более лет.

Сегодня ЗАО «ЭССП» — это коллектив высококлассных специалистов-профессионалов, испытательная лаборатория, аккредитованная на техническую компетентность и независимость, высокотехнологичное производство, выпускающее надежную и проверенную временем продукцию.

**Литература**

1. А.В. Тищенко, С.В. Рыжов, С.В. Жигулин, А.А. Мельников. Технологии ремонта проводов и грозозащитных тросов больших воздушных переходов с применением арматуры спирального типа// Журнал "Воздушные линии", № 2, 2013 г., с. 48 – 54.
2. О.Е. Афанасьева, С.В. Рыжов, В.А. Фельдштейн, И.В. Фельдштейн. Динамические модели для исследования вибрации проводов линий электропередачи и воздушных коммуникационных кабелей в ветровом потоке// Журнал "Проблемы машиностроения и автоматизации", № 1, 1998.
3. С.В. Рыжов, Ю.Л. Цветков. Опыт применения арматуры спирального типа на воздушных ЛЭП// Журнал "Электро", № 2, 2005 г., с. 32 – 36.
4. В.Г. Колосов, С.В. Рыжов, Ю.Л. Цветков. Повышение ресурсной стойкости проводов ВЛ при вибрации путем установки спиральных протекторов в лодочки поддерживающих зажимов// Журнал "Электро", № 6, 2005 г., с. 46 – 51.
5. А.А. Виноградов, С.В. Рыжов. Разработка мер для защиты проводов ВЛ от вибрации в поддерживающих и соединительных зажимах// НИОКР, № 24-02/99 от 24 февраля 1999 г.
6. CIGRE TF B2.11.01, Modeling of Aeolian vibration of a single conductor plus damper: assessment of technology// Electra, 2005, No. 223, pp. 28 – 36.



**Сергей  
Викторович  
РЫЖОВ**  
svr@essp.ru



**Андрей  
Викторович  
ТИЩЕНКО**  
avt@essp.ru

# С юбилеем!



*Владимиру Николаевичу Мацневу, одному из создателей современной почтовой связи, 19 августа 2014 г. исполнилось 90 лет.*

*Компетентный руководитель, высококвалифицированный специалист в сфере почтовой связи, кандидат экономических наук, всю свою жизнь на разных постах и в различных организациях он трудился и продолжает трудиться и по сегодняшний день на благо отрасли. Владимир Николаевич родился в многодетной семье в селе Иловай-Рождественское Хоботовского района Тамбовской области. Папа работал старшим машинистом паровоза, мама вела домашнее хозяйство.*

*После окончания в 1942 г. средней школы с Похвальной грамотой он был призван в Советскую Армию. Участвовал в Великой Отечественной войне на Воронежском, 1-м Украинском фронтах, в том числе в битве на Курской дуге, был ранен.*

*После демобилизации поступил в Московский институт инженеров связи на инженерно-экономический факультет, который окончил с отличием в 1951 г. и был направлен на работу на Московский почтамт. Возглавить международную службу было поручено Владимиру Николаевичу. В 1959 г. на базе подразделений международной службы Московского почтамта был организован Международный почтамт. Работая на Моспочтамте, В.Н. Мацнев был принят в заочную аспирантуру, сдал кандидатские экзамены. В 1957 г. был направлен на работу в ЦНИИС и назначен начальником лаборатории почтового транспорта и перевозки почты. Там же защитил кандидатскую диссертацию.*

*Во время работы в ЦНИИСе были разработаны системы контейнерных перевозок почты автомобильным и железнодорожным транспортом.*

*В 1961 г. В.Н. Мацневу предложили перейти в Главное управление почтовой связи заместителем начальника. В 1970 г. назначен начальником Главного управления почтовой связи и членом коллегии Министерства.*

*Владимир Николаевич участвовал в Венском и Токийском Конгрессах ВПС в качестве заместителя главы делегации, руководил делегациями почтовой связи Министерства на собраниях Административного и Консультативного Совета по почтовым изучениям ВПС. После выхода на пенсию по просьбе руководства Министерства В.Н. Мацнев продолжил работу в Центральном аппарате. С его участием были разработаны Положение о Департаменте почтовой связи (ДПС), уставы ФГУП, положения о Государственных учреждениях — управлениях почтовой связи республик, краев и областей. Он являлся одним из авторов и разработчиков федеральных законов "О почтовой связи", участвовал в подготовке "Правил оказания услуг почтовой связи".*

*Более 20 лет на общественных началах он является Председателем Совета Организации ветеранов труда и Великой Отечественной войны Центрального аппарата Минсвязи России. За ратные и трудовые заслуги перед страной он награжден орденами Отечественной войны 2 степени, Трудового Красного Знамени, Дружбы народов, "Знак Почета", Почетной грамотой Президиума Верховного Совета РСФСР и многими медалями.*

*В этот торжественный день примите, уважаемый Владимир Николаевич, искренние пожелания доброго здоровья Вам и Вашим близким, благополучия, оптимизма и активного долголетия!*