

# Защита ВЛ от коротких замыканий при пляске проводов

На протяжении более чем ста лет ведутся наблюдения за пляской проводов на воздушных линиях электропередачи (ВЛ). Разрабатываются расчетные модели, позволяющие предсказать появление пляски и оценить ее разрушительное воздействие, совершенствуются способы и устройства для борьбы с пляской проводов и ее последствиями. Специалисты ПО «ФОРЭНЕРГО», используя собственную современную испытательную базу, активно участвуют в создании конструкций, позволяющих энергетикам эффективно противодействовать пляске проводов, разрабатывают соответствующие рекомендации в ходе выполнения научно-исследовательских работ.

Хорошо известно, что пляска (галомирование) — это один из наиболее опасных видов колебаний проводов ВЛ, вызываемых ветром при определенных атмосферных условиях, приводящих к отложению гололеда, мокрого снега или изморози на проводах. Амплитуда колебания при пляске может достигать величины стрелы провеса проводов и грозозащитных тросов с частотой колебаний 0,1–2 Гц. Большие амплитуды колебаний могут вызвать разрушение проводов, арматуры, изоляторов и опор; приводят, в том числе, к схлестыванию проводов разных фаз ВЛ (иногда фазы и грозотроса), что в свою очередь ведет к коротким замыканиям на линии.

Если не идти по пути бесконечного увеличения расстояний между фазными проводами, то ни у кого не вызывает сомнения, что установка межфазных изолирующих распорок является самым эффективным способом предотвращения схлестывания проводов и возникновения короткого замыкания. Кроме того, установка распорок в пролете разбивает пролет на несколько участков, что позволяет нарушить регулярность колебаний поддерживающей подвески при пляске в двух смежных пролетах, и дает положительный эффект по уменьшению амплитуд пляски (по некоторым данным до 30%) в результате воздействия ко-

лебаний в соседних подпролетах и колебаний соседних фаз. Следует отметить, что распорки также уменьшают степень кручения провода и затрудняют таким образом образование гололеда.

Однако практика подтверждает, что существующие на рынке конструкции межфазных изолирующих распорок существенно различаются по собственной усталостной прочности и соответственно надежности защиты ВЛ. Если говорить о полимерных межфазных изолирующих распорках, применяемых сегодня, то по конструктивному исполнению они являются чаще всего многомодульными, включающими в себя элементы с высокой изгибной жесткостью, например, стальные трубы или прутки. В зависимости от класса напряжения такие распорки состоят из одного или двух изолирующих элементов, металлической вставки (при необходимости увеличения строительной длины), плашек или специальных зажимов «лодочка» (рисунок 1). Характерной особенностью жестких конструкций распорок является недостаточная стойкость к сжимающим нагрузкам, которая часто приводит к их повреждению или разрушению (рисунок 2).

Более надежными являются одномодульные конструкции распорок, в которых в качестве удлинителя используется стеклопласти-

ковый стержень, защищенный кремнийорганической оболочкой. Отсутствие жестких вставок делает их более гибкими и увеличивает рабочий ресурс. Специалистами предприятий, входящих в ПО «ФОРЭНЕРГО» (ООО «МЗВА» и ООО «ИНСТА»), были проведены необходимые расчеты и испытания для определения: оптимальной конструкции распорок, эффективного количества распорок на пролет и места их установки. Новые изделия получили наименование РМИД (рисунок 3) и в настоящий момент серийно выпускаются ООО «ИНСТА» для ВЛ напряжением до 500 кВ включительно.

Сегодня одномодульные распорки ООО «ИНСТА» соответствуют ряду специальных технических требований, которые обеспечивают максимальную эффективность оборудования:

- распорки должны выдерживать без механических повреждений не менее 20 тыс. циклов приложения и снятия сжимающих нагрузок, сжимающая нагрузка должна обеспечивать уменьшение строительной высоты не менее чем на 30%;
- распорки должны быть стойкими к воздействию ветровой



Рис. 4. Ресурсные испытания одномодульной распорки РМИД



Рис. 5. Монтаж распорок РМИД на ВЛ 35 кВ в ПАО «МОЭСК»

вibrации (не менее  $10^8$ ) и пляски (не менее  $10^5$ );

- наличие у узла крепления распорки на проводе специального сферического «беззамкового» шарнирного соединения;
- наличие у узла крепления распорки на проводе шарнирного соединения в плоскости провода (для снятия механических напряжений в распорке в случае смещения или не перпендикулярного размещения распорки между проводами);
- защитная оболочка изолирующей тяги распорки должна быть цельнолитой, не допускаются клеевые швы в местах сочленения оболочки и оконцевателей.

Для подтверждения заявленных требований к конструкции распорок необходимо было оценить возможность конструкции выдерживать многократные изгибающие воздействия и провести ресурсные испытания на определенном в результате расчетов режиме (определить длину распорки в изогнутом виде). Необходимо было также оценить величину прогиба распорок при сближении фазных проводов при пляске. Был спроектирован и изготовлен специальный стенд ресурсных испытаний. В 2015 году впервые проведены ресурсные испытания одномодульных распорок различных классов напряжения, которые подтвердили способность конструкции выдерживать 20 тыс. циклов приложения и снятия сжимающих нагрузок (рисунок 4). По результатам испытаний все специальные требования подтверждены и реализованы в существующей конструкции распорок. По требованиям потребителей разработаны распорки с возможностью ре-

гулирования строительной высоты в диапазоне  $\pm 0,3$  м. В комплект поставки распорок входят защитные спиральные протекторы, применение которых существенно повышает срок службы проводов в местах установки распорок.

С начала 2017 года распорки РМИД производства ООО «ИНСТА» поставляются в подразделения ПАО «РОССЕТИ» и ПАО «ФСК ЕЭС». В МЭС Центра и МЭС Волги установлены одномодульные распорки на ВЛ 110, 220 и 500 кВ, АО «Тюменьэнерго» и ПАО «МОЭСК» после проведения опытно-промышленной эксплуатации успешно применяют одномодульные межфазные распорки на ВЛ 110 и 35 кВ (рисунок 5). Например, в «Тюменьэнерго» на линии 110 кВ Ямбург — ЯГП-6 удалось устранить существовавшую не один год проблему схлестывания проводов и разрушения в тяжелых погодных условиях многомодульных распорок заменой на одномодульные. В отзыве о промежуточных итогах эксплуатации энергетики отмечают, что распорки РМИД обеспечили изолированную фиксацию проводов, значительно ограничили амплитуду колебаний и обеспечили сохранение необходимых изоляционных расстояний между фазами в критических точках и главное — благодаря повышенной гибкости сохранили работоспособность. Всего за последние два года на сетевые объекты поставлено уже более тысячи одномодульных меж-

фазных распорок ООО «ИНСТА».

Работа над совершенствованием конструкции одномодульных межфазных распорок продолжается специалистами ПО «ФОРЭНЕРГО» совместно с АО «Тюменьэнерго» в рамках НИОКР «Разработка комплекта линейной арматуры и высоковольтных изоляторов для воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ, сооружаемых в районах Крайнего Севера». Для экстремальных условий прохождения трасс ВЛ в районах Крайнего Севера разработаны распорки с увеличенной термомеханической стойкостью (диапазон температур от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ). В качестве грузонесущего элемента применен специальный стеклопластиковый стержень, в том числе устойчивый к кислотной коррозии, что позволяет избежать «хрупкого излома» распорок. Дополнительно разработана конструкция распорок с центральным элементом уменьшенной жесткости по сравнению со стеклопластиковым стержнем.

Результаты проведенных комплексных испытаний и опыт эксплуатации распорок РМИД однозначно подтверждают, что одномодульные распорки ООО «ИНСТА» являются эффективным средством защиты ВЛ от коротких замыканий при пляске проводов и обладают существенно большей долговечностью по сравнению с многомодульными распорками. P



Рис. 1. Многомодульная распорка для ВЛ 110 кВ



Рис. 2. Разрушения распорок на ВЛ 110 кВ.

Рис. 3. Распорка РМИД для ВЛ 110 кВ