

действия кабелей в подобных случаях возможно ступенчатое выполнение питающих кабельных линий с кабелем повышенного сечения только на головном участке (0,5–1,5 км).

### Литература

1. Неклепаев, Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
2. Рожков, Л.Д., Козулин, В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
3. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

УДК 621.315.174.056.3

## УСТРОЙСТВА ПОДАВЛЕНИЯ ПЛЯСКИ НА ВЛ

*Дерюгина Е.А.*

**Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.**

В последние годы во многих странах уделяется большое внимание практическому решению проблемы ограничения пляски проводов ВЛ. Ряд методов и устройств ограничения пляски продолжают оставаться объектами закрытых исследований энергетических компаний. В настоящем докладе представлены два перспективных способа ограничения пляски. Один из способов связан с устранением распорок на проводах расщепленных фаз и применением кольцевых ограничителей сближения проводов. Другой способ состоит в применении спиральных демпферов-спойлеров, установка которых обеспечивает изменение аэродинамических характеристик провода по длине пролета. Достоинства предлагаемых методов борьбы с пляской были выявлены посредством анализа результатов наблюдений, а также с помощью электронных систем регистрации параметров пляски [1].

Анализ эксплуатационной информации свидетельствует о том, что провода расщепленных фаз более подвержены пляске, чем одиночные провода. По сравнению с одиночными проводами расщепленные провода имеют гололедные отложения с большим эксцентриситетом. Провода, связанные распорками, обладают большей крутильной жесткостью, и отложения на них регулярны по форме вдоль всего пролета. Одиночные же провода по мере роста отложения снега или льда закручиваются на разные углы в зависимости от степени удаленности от опор, формы отложений на них близки к цилиндрическим.

Удаление распорок с цепью ограничения пляски на действующих ВЛ было начато в 1967 г. в Нидерландах, а затем проводилось в ФРГ, Бельгии и Великобритании. За весь период наблюдений за поведением указанных ВЛ не было зафиксировано ни пляски с большими амплитудами, ни аварийных отключений ВЛ по причине пляски. Имеются многочисленные данные наблюдений пляски проводов в цепях ВЛ с распорками, в то время как параллельные цепи, с которых распорки удалены, сохраняют стабильность. В целом получены весьма обнадеживающие результаты, однако еще остаются вопросы, на которые пока нет однозначного ответа. Например, опыт изучения пляски, накопленный в Северной Америке, не подтверждает вывод о большей подверженности пляске ВЛ с расщепленными фазами. Очевидно иные условия возникновения пляски, связанные с отложениями на проводах чистого льда, существенно меняют характер поведения проводов при пляске.

Первоначально метод борьбы с пляской путем удаления распорок был применен на ВЛ с пучком из двух проводов, расположенных друг под другом в вертикальной плоскости (вертикальная двойка). Затем, когда началось удаление распорок на более распространенных линиях с горизонтальной двойкой, возникла необходимость изменения геометрии пучка для предотвращения соударений проводов пучка без распорок при порывах ветра и вызываемых ветром колебаниях проводов. Изменение геометрии горизонтальной двойки обычно состоит в том, что один из проводов располагается ниже другого. Такая диагональная конфигурация пучка при достаточном удалении составляющих его проводов предотвращает соударение проводов, но приводит к уменьшению расстояния нижних проводов пучка до земли и увеличению напряженности электрического поля, что нежелательно.

Для предотвращения соударений проводов без изменения геометрии расположения проводов горизонтальной двойки электроэнергетической компанией PLEM (Нидерланды) были предложены кольцевые ограничители сближения проводов.

Обычно распорки заменяются кольцевыми ограничителями, устанавливаемыми на одном проводе, и армирующими прутками – на другом проводе пучка. Кольцевые ограничители и армирующие прутки чередуются на проводах пучка вдоль пролета. Наружный радиус кольцевого ограничителя несколько меньше расстояния между проводами двойки, поэтому при отсутствии ветра кольцевой ограничитель не касается армирующего прутка, закрепленного на противоположном проводе.

Кольцевые ограничители впервые установлены в 1975 г. электроэнергетической компанией PLEM. Кольцевые ограничители выполнены из сплошных поливинилхлоридных стержней, концы которых сформированы в виде спиралей, закрепляющих ограничитель на проводе. Наблюдения, проводившиеся на испытательном участке ВЛ, показали, что поведение горизонтальной двойки с кольцевыми ограничителями аналогично поведению вертикальной двойки без распорок. Во время шторма наблюдалась пляска проводов фаз с распорками амплитудой от 3 до 5 м. В это же время провода фаз без распорок как при наличии кольцевых ограничителей, так и без них оставались относительно неподвижными.

Начиная с 1979 г. проводятся широкомасштабные полевые испытания с целью накопления опыта применения спиральных демпферов пляски – спойлеров [2]. Изготавливаются спойлеры из прутков диэлектрического материала различных диаметров. Длина спойлера составляет 4,3 м. Концы спойлера имеют форму спирали, которая придается им в заводских условиях. Эти спиральные концевые части спойлеров предназначены для закрепления изделий на проводах и спроектированы так, чтобы стержень из диэлектрика плотно прилегал к проводу на участках, длина которых равна нескольким диаметрам провода. Прямая часть спойлера, расположенная между спиральными концевыми частями, при его установке должна быть двумя витками обернута вокруг провода. Длина каждого из этих витков равна 1,8 м.

Для пляски характерны такие метеорологические условия, как замерзающий дождь, мокрый снег или изморозь, в результате которых образуются отложения на проводах, изменяющие их профиль. При средних скоростях ветра, действующего на провода с измененными гололедом профилями, может возникнуть подъем проводов или их закручивание, возбуждающие пляску. Установка спиральных демпферов (спойлеров) на часть провода в пролете меняет профиль провода. Изменение профиля провода с установленным на нем спойлером и гололедным отложением нарушает регулярность сил аэродинамического воздействия, распределенных по длине провода. В результате интенсивность движения провода уменьшается либо колебания вообще не возникают.

Накопленный опыт исследования пляски проводов показал, что самый надежный способ испытания любых устройств ограничения пляски – организация испытательных

участков на действующих линиях и проведение наблюдений за их поведением в условиях естественных метеорологических воздействий. Начиная с 1979 г. в течение четырех последующих лет было организовано около 100 испытательных участков на ВЛ и в распределительных сетях 50 предприятий электросетей в различных регионах мира. Эти испытательные участки включали около 1000 пролетов, оборудованных спиральными демпферами. Три испытательных участка организованы в Европе на ВЛ Дании и Нидерландов – стран-членов CORECH (исследовательской группы по пляске проводов при UNIPED).

Как правило, на каждом испытательном участке использовались спойлеры двух модификаций, отличающиеся друг от друга диаметром. В каждом пролете испытательного участка по крайней мере одна фаза оставалась необорудованной спойлерами и использовалась в качестве контрольной фазы.

Даже при наличии 100 испытательных участков случайная природа пляски создавала трудности в получении такого количества данных, которое необходимо для обоснованного вывода об эффективности данного способа борьбы с пляской. За последние шесть зим было получено 32 сообщения о случаях пляски на испытательных участках, оборудованных спойлерами. Все эти наблюдения пляски были проведены в США. На испытательных участках в Европе пляска не зарегистрирована.

Выводы. В течение восемнадцати лет накапливается опыт эксплуатации ВЛ, на которых удалены внутрифазовые распорки. В северо-западной части Европы этот опыт является положительным, однако он может оказаться неприемлемым для более широкого распространения из-за различий в климатических условиях возникновения пляски в других регионах мира.

### Литература

1. Leppers, P.H., Smart, T.J., Poffenbeiger, J.C., Whapham, R. Galloping suppression tests on overhead lines // Воздушные линии электропередачи: переводы докладов Международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-86) / Под ред. В.А. Шкапцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 3–14.
2. O'Donnell, J., Whapham, R. Galloping Control Device is Evaluated // Transmission and Distribution. 1984. Vol. 36. № 3. March.

УДК 621.311

## К ВОПРОСУ ЭВОЛЮЦИИ СХЕМ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Кузьмич С.В.*

**Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор РОМАНЮК Ф.А.**

Современные состояние и тенденции развития электроэнергетики на первый план выдвинули проблему надежности функционирования электроэнергетических систем и электроснабжения потребителей. После ряда известных аварий последних лет, в том числе в энергосистемах США, Италии, Швеции, России и др., ученые и инженеры разных стран разрабатывают новые подходы и методы к обеспечению надежного электроснабжения в условиях:

- становления рыночных отношений в сферах производства, распределения и сбыта электроэнергии;
- замены современным оборудованием и технологиями физически и морально устаревшего парка электростанций и электросетей;
- увеличения доли децентрализации электроснабжения;
- формирования новых направлений экспорта и импорта электроэнергии;