

*А.Н. Гребенюк, Е.Д. Герман, О.Ю. Панасюк*  
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## **ПОВРЕЖДЕНИЕ ПРОВОДОВ ЛЭП ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ**

### **Введение**

В настоящее время характерной особенностью климата Украины является резкая смена погодных условий (например, в осеннее – зимний период характерны резкие переходы от оттепели к заморозкам и наоборот). Ежедневная погода формируется воздушными массами, которые чаще всего приходят с Атлантики, иногда – с Северного Ледовитого океана, Центральной Азии или Африки. Циклонические возмущения, зарождающиеся над Средиземноморьем и затем смещающиеся на Черное море и на территории Украины и России, являются частой причиной сильных дождей, снегопадов, гололеда и штормовых ветров в регионе. Во многих случаях эти циклоны отличаются небольшими размерами, но при этом связанные с ними зоны осадков велики по площади и сохраняются в течение нескольких дней. Нередко выход южных циклонов вызывает наводнения и гололед, причиняющие большой ущерб. Эти процессы трудны для прогнозирования из-за малых размеров циклонов и их быстрого роста над морем. Последствия этих процессов неоднозначны [4]. При этом в холодное время года на проводах образуется тонкий слой наледи, имеющий эллипсообразную или крыловидную форму. При порывистом ветре у каждого такого провода возникает небольшая подъемная сила (порядка одного ньютона на метр его длины) которая приводит к пляске проводов, а в отдельных случаях к схлестыванию. Схлестывание может вызывать межфазные замыкания и пережоги проводов. В итоге происходят перебои в работе линий электропередачи (ЛЭП) на несколько часов либо дней. Кроме того, обледенение в следствии значительных механических напряжений может вызвать повреждения проводов и опор, а также проводов в точках крепления из-за их пляски. По удельным технико-экономическим показателям наши линии именно из-за пляски проводов сильно уступают зарубежным. Ветровые нагрузки особенно возрастают при обледенении проводов, что вызвано увеличением их площади поверхности. К тому же для других стран, с менее суровыми климатическими условиями, эта проблема вообще не так актуальна, как для Украины.

Проблема совершенствования механической части конструкций высоковольтных линий приобретает исключительно важное и приоритетное значение для экономики. Из года в год возрастает объем "старых" действующих линий электропередачи, в то же время для их обновления применяют традиционные типовые проектные конструкции, в которых проблема пляски не решена.

## **Цель работы**

Исследовать проблему пляски проводов. Определить ее влияние на механическую прочность проводов. Разработать рекомендации для обеспечения надежности воздушных ЛЭП.

Повреждения можно условно разделить на три вида: усталостное разрушение провода; абразивное истирание; разрушение провода при растяжении. Каждый вид повреждений имеет свои характеристики и соответственно может повлиять на повреждение повивов или обрыв провода. На повреждаемость проводов и тросов также влияет не до конца исследованное явление коррозии [1].

### *Усталостное разрушение*

Связано с изгибом провода в точках крепления, что приводит к повреждению повивов провода и уменьшению прочности на разрыв. В случае увеличения нагрузки на провод в связи с отложением гололеда, а также динамических нагрузок, происходят обрывы проводов и дальнейшее развитие аварии.

Очевидно, что наиболее часто усталостное разрушение наблюдается в точках подвеса провода. Он должен крепиться к изолятору так, чтобы исключить перемещение провода по зажиму. Точка крепления провода часто превращается в точку пляски провода и превращается в основную точку изгиба.

Другая критическая точка – край зажима гасителя вибрации. Гасители вибрации предназначены для снижения или подавления вибрации. К сожалению, если гаситель вибрации установлен неправильно или в результате пляски провода повреждается гаситель вибрации то точка вибрации может сместиться на край традиционного болтового зажима, что опять же приведет к увеличению изгиба из-за локализованной точки опоры.

Межфазные распорки, используемые для устранения пляски проводов, могут также создавать очаги изгиба провода внутри пролета.

Циклическая нагрузка в результате ветровых нагрузок и образования льда может также вызывать усталостное разрушение.

### *Абразивное истирание*

Относительное движение одной поверхности по другой вызывает абразивное истирание. При пляске проводов абразивное истирание может проявиться более чем в одной точке системы проводов. Наиболее часто это наблюдается в точках подвеса провода. Здесь контактируют мягкий алюминий наружного повива провода и относительно жесткая поверхность другого материала поддерживающего приспособления. Другой точкой, подверженной абразивному истиранию, является контакт внутренних повивов провода. Повивы имеют разные направления скрутки относительно друг друга, и поэтому между повивами будет возникать абразивное истирание из-за пляски проводов.

Абразивное истирание приводит к уменьшению площади соприкасающихся поверхностей, и в результате провод становится более плоским, а его наружный диаметр значительно меньшим. Прямым следствием абразивного истирания является снижение устойчивости к износу и уменьшение прочности на разрыв.

### *Разрушение провода при растяжении*

Разрушение провода при растяжении имеет место в результате механической перегрузки его жил. Такие разрушения легко увидеть, так как провод утончается в этом месте, но разрыва может и не быть, однако его прочность значительно снижается. Для обрыва провода при растяжении в пролете должна действовать большая нагрузка, связанная не только с ветровой нагрузкой но и с обледенением ЛЭП, пляской проводов или падением опор.

### *Ускоренное разрушение проводов за счет коррозии*

Основные причины ускоренного разрушения проводов – это влияние неблагоприятных климатических факторов, а также контактная коррозия алюминиевых и стальных проволок и щелевая коррозия алюминия в местах касания. Коррозия может образовываться при влиянии на ЛЭП кислотных дождей, влажности, повышенной температуры, солнечной радиации. Коррозионный процесс способствует уменьшению диаметра проводника  $d$  из алюминия в среднем 8 мкм/год [6]. Соответственно при изменении сечения провода механическая прочность уменьшается, а если при этом учитывать местную коррозию, то воздушные линии электропередач из года в год становятся менее надежными.

При действии ветра на провода воздушных ЛЭП появляются дополнительные перегрузки, связанные с колебательными движениями проводов. Эти перегрузки усложняют эксплуатацию ЛЭП, время от времени даже приводят к авариям.

Известно несколько видов колебательных движений проводов. Один из них – вибрация. Это колебания с маленькой амплитудой (порядка поперечника провода), образующие стоячие волны. Вибрация возникает из-за срыва вихрей при слабом равномерном движении воздуха, когда скорость ветра не превышает 6 м/с. Это достаточно распространенное явление, и против него энергетиками разработаны необходимые меры защиты. Колебательные движения проводов появляются также под действием порывов ветра. Они имеют беспорядочный характер.

Намного больше проблем и хлопот эксплуатационникам ЛЭП причиняет вид колебательных движений, под названием пляска проводов. Она проявляется в виде стоячих волн. В пролете ЛЭП могут появиться полволны, волна либо  $3/2$  волны в зависимости от длины пролета. Амплитуда волны достигает нескольких метров, период – нескольких секунд.

Согласно ПУЭ одиночные алюминиевые и сталеалюминевые провода сечением до 95 мм<sup>2</sup> в пролетах длиной более 80 м, сечением 120 – 240 мм<sup>2</sup> в пролетах более 100 м, сечением 300 мм<sup>2</sup> и больше в пролетах более 120 м, стальные провода и тросы всех сечений в пролетах более 120 м должны быть защищены гасителями вибрации, если механическое напряжение при среднегодовой температуре превышает: 35 МПа в алюминиевых проводах, 40–70 МПа в сталеалюминевых проводах, 170 МПа в стальных проводах и тросах. В пролетах, меньше указанных выше, защита от вибрации не требуется [5].

Поэтому на линиях напряжением 35–330 кВ обычно устанавливаются виброгасители, выполненные в виде двух грузов, подвешенных на стальном тросе. Виброгасители поглощают энергию вибрирующих проводов и уменьшают амплитуду вибрации возле зажимов.

На сегодня изобретенных в мире устройств, подвешиваемых на проводах в пролёте линии известно, более ста. К сожалению, ни одно из них не смогло гарантировать положительный эффект, а если рядом с гибким проводом в месте его крепления проложить металлический стержень и прикрепить его к проводу, то амплитуда и длина волны уменьшатся, а частота колебаний увеличится. Из курса сопротивления материалов общеизвестно, что у стержня изгибная жесткость во много раз больше, чем у гибкого провода. Таким образом, стержень и есть тем генерирующим звеном, которое создает при пляске проводов волну с меньшей амплитудой и более высокой частотой.

### **Выводы**

1. Для увеличения эксплуатационной надежности воздушных ЛЭП необходимо обеспечить снижение пляски проводов с использованием не только стандартных методов, но и применяя новые разработки.
2. В зимнее время проводить мероприятия по плавке гололеда.

### **Список литературы**

1. Воронцов Л.А. Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях. М.: Энергия, 1971. – 224 с.
3. Бошнякович А.Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи. Л.: Энергия, 1971. – 296 с.
4. Турбин В.С. Усовершенствование методов изучения климатических нагрузок на воздушные линии с учетом топографических особенностей местности // Энергетика и электрификация. –2007. – №10. – С. 12–16.
5. Правила устройств электроустановок, – Х.: Изд. "Индустрия", 2007. – 416 с.
6. Акимов Г.В. Основы учения о коррозии и защите металлов. – М.: Государ. науч.-техн. изд. л-ры по черной и цветной металлургии, 1946. – 276 с.