

нении с открыто проложенными шинами. Кроме того, снижение усилий на изоляторы благодаря упругости их крепления может быть достигнуто в 2,67 раза в случае несовпадения частот электродинамических усилий и собственной частоты токопровода.

В результате общая величина электродинамических усилий на шины и изоляторы может быть уменьшена примерно в 20 раз по сравнению с токопроводом без кожухов и жестким креплением изоляторов.

Уменьшение усилий, действующих на шины, сопровождается появлением значительных усилий на кожухи токопровода. Усилия на кожухи бывают примерно в 1,5–2,5 раза больше, чем у открыто проложенных токопроводов. Однако эти усилия легко выдерживаются кожухами благодаря их замкнутому периметру и надежному креплению к опорным несущим конструкциям. Это позволяет облегчить работу опорных изоляторов токопроводов.

Электродинамические силы на кожухи при КЗ, отнесенные к единице длины, равны произведению тока в кожухах и индукции магнитного поля от соседних проводников с учётом экранирующего действия соответствующих кожухов. Электродинамическая сила на кожухи определяется в основном апериодической составляющей тока КЗ. Она несколько меньше силы на проводники, что объясняется относительно быстрым затуханием апериодической составляющей тока КЗ. В целом электродинамическая стойкость пофазно-экранированных токопроводов очень высока; ток электродинамической стойкости  $i_{дин}$  достигает 560–750 кА, несмотря на большие расстояния между опорами.

Циркуляция вихревых токов в кожухе вызывает потери и дополнительный нагрев кожуха, которые становятся особенно заметными при токах шинопровода свыше 5 кА.

Основным преимуществом закрытых токопроводов является то, что они обеспечивают надежную передачу наибольших токов генераторного напряжения. Однако они имеют и недостатки: большая затрата металла (в 4–6 раз больше, чем для открытых токопроводов), высокая стоимость и громоздкость сооружения.

### Литература

1. Руцкий, А.И. Электрические станции и подстанции. – Мн., 1962.
2. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов / Под ред. А.А. Васильева. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

УДК 621.316

## ПРОВОДА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ВЛ 10–35 КВ

*Дылюк А.Н., Егоров П.А., Остроушко Е.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РЖЕВСКАЯ С.П.

Анализ аварий на ВЛ 10–35 кВ показывает, что частыми причинами отключений являются схлестывания и обрывы проводов, набросы и касания веток деревьев.

Защищенные ВЛ 10–35 кВ имеют статистику более безопасной эксплуатации, чем ВЛ 10–35 кВ с голыми проводами.

Главная причина применения ВЛП – повышение надежности поставок электроэнергии, обусловленной отсутствием контакта деревьев с проводами и схлестывания проводов.

Поскольку ВЛП имеют существенные достоинства, то необходимо направить усилия на решение проблем, связанных с недостатками.

Воздушные линии 10–35 кВ являются самыми протяженными. Они эксплуатируются в районах с разнообразными природными условиями: на открытой местности, в населенных пунктах, проходят по лесным массивам. Надежность сетей 10–35 кВ во многом определяет надежность электроснабжения самых массовых потребителей. Отказы в их работе приводят к значительным материальным потерям.

Анализ аварий на ВЛ 10–35 кВ показывает, что частыми причинами отключений являются схлестывания и обрывы проводов, набросы и касания веток деревьев. Все это усугубляется неблагоприятными погодными условиями: сильный ветер, снегопады, гололед. Так как территория РБ и в особенности ее северные регионы подвержены перечисленным стихийным воздействиям, то повышение устойчивости ВЛ по отношению к ним, и следовательно, повышение надежности сетей 10–35 кВ, представляют актуальную проблему.

Основные достоинства распределительных линий с покрытыми проводами сводятся к следующему:

1. Полиэтиленовое покрытие проводов не рассчитано на длительную работу под рабочим напряжением, но так как провода подвешиваются на изоляторах, покрытие несет электрическую нагрузку кратковременно, а для этого его толщина вполне достаточна. Поэтому при кратковременном схлестывании проводов не происходит короткого замыкания.

2. Допустимость случайного схлестывания проводов позволила в 3 раза уменьшить междоузельные расстояния и увеличить среднюю длину пролета без снижения надежности.

3. Наличие полиэтиленового покрытия затрудняет налипание снега на провода и образование гололеда.

4. Применение покрытых проводов позволяет существенно уменьшить ширину трассы. Расстояние между проводом и деревьями может составлять 0,52 м. Такие узкие трассы приносят меньше ущерба лесному хозяйству и облегчают прокладку ВЛ в населенных пунктах. Особенно этот эффект сказывается при прокладке многоцепных линий.

Длительный опыт эксплуатации линий с покрытыми проводами показал, что на таких линиях чаще, чем на линиях с голыми проводами, происходят повреждение проводов с падением их на землю.

Механизм разрушения сводится к следующему. При грозовых перекрытиях импульсный разряд между проводами переходит в дугу переменного тока. При голых проводах за счет электромагнитного воздействия дуга перемещается по поверхности провода и не успевает его оплавить, пока линия не отключится защитой или дуга не погаснет сама от растяжения. При покрытых проводах импульсный разряд сопровождается разрушением изолирующего покрытия и место горения дуги фиксируется на проводе. В результате провод повреждается термическим воздействием дуги вплоть до полного разрушения.

Разрушение изолирующего покрытия может вызываться следующими причинами:

1. Импульсный пробой при грозовых перенапряжениях.

2. Эрозия за счет частичных разрядов в местах крепления провода к изолятору с помощью проволоочной обвязки.

3. Эрозия за счет поверхностных токов утечки.

Опытным путем (в лабораторных условиях) показано, что при правильном выборе длины пролета перекрытие всегда будет происходить на опоре.

Финская конструкция представляет собой стержень (рог), который крепится на покрытый провод у изолятора. На стержне предусмотрен шип, который при установке протыкает изоляцию и обеспечивает надежный контакт с проводом. Защита устанавли-

вается на всех трех фазных проводах ВЛ и импульсное перекрытие происходит между ней, так как на финских линиях нет нейтрального провода. Отмечено, что после установки таких конструкций, обрыва проводников не наблюдалось.

Факты говорят, что защищенные ВЛ 10–35 кВ имеют статистику более безопасной эксплуатации, чем ВЛ 10–35 кВ с голыми проводами. Вариант использования ВЛП наиболее предпочтителен для участков, где высок риск соприкосновения с голыми проводами 10–35 кВ.

Главная причина применения ВЛП – повышение надежности поставок электроэнергии, обусловленной отсутствием контакта деревьев с проводами и схлестывания проводов.

Поскольку ВЛП имеют существенные достоинства, то необходимо направить усилия на решение проблем, связанных с недостатками.

### Литература

1. Подвесные скрученные кабели, провода SAХ, волоконно-оптические грозозащитные тросы. Каталог НОКИА КАБЕЛЬ. – А.О. Хельсинки, 1993. – 27 с.
2. ПАС-система ЭНСТО. Каталог. – А.О. Секко, Хельсинки, 1993. – 4 с.
3. Костенко, М.В., Кадомская, К.П., Левишптейн, М.П. Перенапряжения и защита от них воздушных и кабельных электропередач высокого напряжения. – Л.: Наука, 1988. – 302 с.
4. Степанчук, К.Ф., Тиняков, Н.А. Техника высоких напряжений. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
5. Техника высоких напряжений / Под ред. М.В. Костенко. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
6. Правила устройства электроустановок (глава II -5). – М.: Энергоатом, 1979.
7. Техника высоких напряжений / Под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
8. Барзам, А.Б. Системная автоматика. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.

УДК 621.311

## О ВЫБОРЕ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

*Кудий Д.И., Потапович Д.А., Радченко С.В., Парков А.Н.*  
Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КРАСЬКО А.С.

Правильный подбор ограничителей перенапряжений является очень важным, так как имеет решающее влияние на правильную работу ограничителя. Чаще всего причинами аварий ограничителей является не правильно проведенный их выбор.

Правильный подбор ограничителей без искровых промежутков заключается в правильном определении: длительно допустимого рабочего напряжения; номинального разрядного тока; способности поглощения энергии; устойчивости к короткому замыканию.

Подбор по длительно допустимому рабочему напряжению.

Касается ограничителей подключённых между фазой и землей.

Сеть с изолированной или резонансно-заземлённой нейтралью

$$U_c \geq U_m.$$

Если короткое замыкание на землю выключается в течение 10 секунд, то обязывает формула:

$$U_c \geq 0,75U_m.$$

Сеть с эффективно заземлённой нейтралью

$$U_c \geq 1,1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}.$$