

УДК 620.9

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКИХ ШИН ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 330 кВ

Зарихта К.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сергей И.И.

В распределительных устройствах высокого напряжения электростанций и подстанций в Республике Беларусь применяются преимущественно токоведущие конструкции с гибкими проводниками. Благодаря особенностям конструкции гибкие шины способны принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. Электродинамические воздействия больших токов короткого замыкания приводят к необходимости разработки методов расчета динамики гибких проводов при КЗ, с помощью которых можно было бы определить критерии электродинамической стойкости проводов: максимальные отклонения и тяжения.

В открытых распределительных устройствах (ОРУ) с напряжением 330 кВ в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 330 кВ объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью.

Основными элементами гибкой ошиновки являются многопроволочные сталеалюминиевые провода с номинальными сечениями 70–1000 мм<sup>2</sup>. В ОРУ напряжением 330 кВ крупных электростанций с целью обеспечения пропускной способности и экономической плотности тока применяется ошиновка с двумя проводниками в фазе сечением 300–600 мм<sup>2</sup> при расстоянии между проводниками фазы, которое называют «шагом расщепления», – 0,12 м. Расщепление проводов при данном напряжении обусловлено также необходимостью ограничения коронного разряда. Так, в ОРУ напряжением 330 кВ принимается ошиновка из двух проводов в фазе. Шаг расщепления фазы равен 0,4–0,6 м. Между проводниками расщепленной фазы через 8–10 м по длине пролета, а также на спусках и шлейфах устанавливаются дистанционные распорки. Однако указанное расстояние не является нормированной величиной и может изменяться при проектировании. Типы дистанционных распорок выбираются в зависимости от марки провода и расстояний между проводниками в фазе. Как правило, применяются парные распорки, т. е. распорки, скрепляющие между собой два провода. Так, в случае трех проводов в фазе распорки устанавливаются «кустами» по три распорки в кусте, а при четырех проводах – по пять штук в кусте: четыре по сторонам квадрата и одна по диагонали.

Провода гибкой ошиновки подвешиваются к несущим конструкциям порталного типа, называемым порталами, посредством подвесных гирлянд изоляторов. Как правило, применяются натяжные гирлянды изоляторов. В отдельных случаях используются поддерживающие гирлянды. Гирлянды собираются из стеклянных изоляторов типа ПС. Все соединения в гирлянде, а также крепление гирлянды к порталам выполняются шарнирно. Таким образом, гирлянда изоляторов представляет собой гибкую цепь элементов. Провода в ОРУ с напряжением 330 кВ подвешиваются на двухцепных с отдельным креплением цепей. Гибкая ошиновка вместе с порталами образует расположенные рядами пролеты ячеек, куда подключены ЛЭП, трансформаторы и другие присоединения. В схемах со сборными шинами перпендикулярно пролетам ячеек располагаются шинные пролеты, ошиновка которых проходит ярусом ниже. Они служат для создания электрической связи присоединений между собой. Связь между соседними пролетами выполняется с помощью шлейфов. Соединение гибких шин и электрических аппаратов РУ выполняется посредством отпайки. Отпайки крепятся к шинам с помощью ответвительных зажимов практически без натяжения. В пролетах типовых ОРУ имеется не более трех спусков к электрическим аппаратам. Минимальные и максимальные длины пролетов в типовых ОРУ 330 кВ приняты 48–78 м.

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [3] порталы для подвески гибкой ошиновки ОРУ должны выполняться сборными железобетонными или из стали. В отдельных случаях стойки порталов выполняются железобетонными, а траверсы (верхние части порталов) – металлическими.

Гибкость шин распределительных устройств позволяет им принимать форму, обусловленную внешними нагрузками. При протекании по ним токов КЗ проводники соседних фаз начинают взаимодействовать: вначале они отталкиваются, затем сближаются. В результате может произойти их сближение на недопустимо малое расстояние по условию электрической прочности изоляционного промежутка. Наибольшее сближение соседних проводников наблюдается, как правило, при двухфазном КЗ. Таким образом, более вероятное КЗ на отходящих воздушных ЛЭП может сопровождаться вторичным КЗ на шинах РУ из-за их недопустимого сближения с последующим отключением всех присоединений. При схлестывании большие токи КЗ ведут к перегосу проволок проводов, что может явиться причиной их обрыва. На электрические аппараты РУ и опорные конструкции при КЗ воздействуют ударные нагрузки.

Под электродинамической стойкостью гибких шин понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием электродинамических усилий (ЭДУ). Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму. С увеличением токов траектория становится сложнее, достигая в итоге предельной круговой формы. Минимальное расстояние между проводниками соседних фаз в процессе сближения, очевидно, будет зависеть от максимального отклонения у обоих проводников.

Ударные нагрузки на аппараты и опорные конструкции определяются тяжениями, возникающими в гибких шинах при их движении.

Согласно ГОСТ оценка электродинамической стойкости гибких проводов должна производиться по двум условиям:

$$S_{\max} \leq S_{\text{доп}};$$

$$T_{\max} \leq T_{\text{доп}},$$

где  $S_{\max}$ ,  $T_{\max}$ ,  $S_{\text{доп}}$ ,  $T_{\text{доп}}$  – соответственно максимальные расчетные и допустимые отклонения и тяжения гибких проводов при КЗ.

Максимальные расчетные отклонения проводов  $S_{\max}$  определяются из траекторий их движения при КЗ в точках максимального размаха колебаний

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны.

Если любое из неравенств не выполняется, то происходит нарушение электродинамической стойкости гибких шин, и минимальное значение тока КЗ, при котором это происходит, называется током электродинамической стойкости гибкой ошиновки  $I_{\text{дин}}$ .

Токи электродинамической стойкости гибкой ошиновки  $I_{\text{дин}}$  возрастают с увеличением сечения проводника. Это объясняется большей инерционностью тяжелых проводников. Однако это увеличение не столь значительно, поэтому выбор проводника большего сечения

во вновь сооружаемых РУ приведет к росту затрат и не даст желаемого эффекта в долгосрочном периоде с учетом вероятно роста токов КЗ. В существующих РУ такое решение вообще неприемлемо из экономических и технических соображений. Одним из мероприятий, ограничивающих размах колебаний, может стать уменьшение стрелы провеса. Однако это приводит к дополнительным нагрузкам на опорные и изоляционные конструкции. Наиболее действенным решением, не требующим больших материальных и временных затрат, является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих РУ.

#### Литература

1. Васильев, А.А. Электрическая часть станции и подстанций / А.А. Васильев. – М. : Энергия, 1980. – 608 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
3. Сергей, И.И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И.И. Сергей, М.И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.