

УДК 621.315.177

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Юшкевич А.М., Лукьянюк М.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Пономаренко Е.Г.

Повышение уровней токов короткого замыкания, сооружение компактных воздушных линий сопровождается усилением тяжести электродинамического действия токов КЗ на гибкие проводники ВЛ. Короткие замыкания на ВЛ могут сопровождаться недопустимым сближением и схлестыванием фазных проводников и появлением значительных динамических усилий (максимальных тяжений), передающихся на опоры ВЛ. В соответствии с нормативными документами расстояния между фазами в момент их наибольшего сближения при КЗ не должны быть меньше минимальных допустимых расстояний выбранных по рабочему напряжению. Возникающие при КЗ кратковременные нагрузки могут превысить допустимые тяжения проводов.

Оценка электродинамической стойкости гибких проводников электроустановок производится по двум условиям: допустимого сближения фазных проводников по критерию электрической прочности воздушного промежутка и допустимых максимальных тяжений проводов при КЗ. Для нахождения параметров электродинамической стойкости необходимо решить задачу динамики гибких проводов под воздействием электродинамических усилий от токов КЗ. Она сводится к решению нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, описывающих движение провода как механической системы с распределенной массой. Существующие подходы к решению указанной сложной задачи отличаются в первую очередь выбором расчетной модели гибкого провода и делятся на две группы:

- 1) упрощенные, основанные на расчетной модели провода в виде сосредоточенной массы;
- 2) методы, учитывающие распределение масс провода по длине пролета.

При использовании упрощенных методов провод представляется сосредоточенной массой, расположенной в центре масс провода, с одной или несколькими степенями свободы. Этот класс методов вычисления использует упрощенные аналитические выражения, описывающие воздействие токов короткого замыкания на шины. Они могут быть приспособлены к ручному счету с использованием калькулятора. Для экономии времени могут быть использованы персональные компьютеры с программами, включающими все формулы, диаграммы и таблицы, необходимые для расчета. Упрощенные методы дают возможность вычислять также нагрузки нормальных режимов (ветровые и гололедные с учетом температурных изменений) и позволяют получить оптимальное решение с достаточной точностью за короткий промежуток времени.

Однако упрощенные методы позволяют получить только максимальные значения расчетных параметров и не дают информации о развитии процесса во времени. При их применении нужно знать только основные данные, например, длину пролета, статическое тяжение, междуфазное расстояние, жесткость конструкций, данные по проводам, ток короткого замыкания и его длительность. Наиболее часто применяемым на практике упрощенным методом является метод физического маятника.

Указанные методы не учитывают жесткости провода на изгиб. Предполагается, что расщепленная фаза с двумя или более проводниками в пучке ведет себя приблизительно также как одиночный проводник эквивалентного сечения и массы.

Что касается продолжительности КЗ, то, как и во многих случаях при выборе и проверке оборудования на устойчивость к воздействию токов КЗ, рекомендуется учитывать «наихудший случай». Хотя наибольшая продолжительность КЗ не всегда вызывает

максимальное электродинамическое воздействие. Случай неуспешного АПВ также не рассматривается.

К методам, приближенно учитывающим распределенные параметры провода, можно отнести метод веревочного многоугольника. По этому методу провода, гирлянды изоляторов и поддерживающие конструкции заменяются конечным числом сосредоточенных масс, связанных между собой невесомыми пружинами. Для каждого узла провода в виде такого многоугольника составляются уравнения движения массы под действием ЭДУ и внутренних упругих сил. Совместное решение дифференциальных уравнений второго порядка с нелинейными правыми частями для всех узлов дает пространственное положение провода и тяжение для каждого момента времени. Недостатком метода является то, что он не имеет строгого обоснования по количеству выбираемых узлов многоугольника, что может привести к искажению результатов расчета.

В БНТУ для решения сложной задачи расчета электродинамической стойкости воздушных линий разработаны методы математического моделирования и вычислительного эксперимента. В расчетах провода ВЛ представляются гибкой упругой нитью движение которой под воздействием распределенных электродинамических усилий описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных гиперболического типа. Единственное решение этих уравнений, соответствующее заданному току КЗ и геометрии пролета, определяется начальными и граничными условиями. Численное решение поставленной краевой задачи производится разностным методом с использованием безусловно устойчивой неявной схемы. Для расположенных в вершинах произвольного треугольника фазных проводников расчетным видом КЗ является трехфазное короткое замыкание.

При проектировании ВЛ рекомендуется проверку их электродинамической стойкости проводить по компьютерной программе LINEDYS+ с определением начального положения проводов до КЗ в предусмотренных ПУЭ климатических режимах при трехфазном КЗ и продолжительности КЗ, определяемой временем действия основных защит, а также в цикле неуспешного АПВ.