

РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ  
"ЕЭС РОССИИ"

КОРПОРАЦИЯ "ЕДИНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС"  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПАВИЛЬОН ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ "ВСЕРОССИЙСКОГО  
ВЫСТАВОЧНОГО ЦЕНТРА"

# ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
9–13 октября 1995 года  
Москва, Россия

МОСКВА 1995

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Е. П., Неклепаев Б. Н. Расчет смещений гибких проводников при коротких замыканиях // *Электричество*. 1993. № 5.
2. Стрелок М. И., Сергей И. И. Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки открытых распределительных устройств высокого напряжения // *Электричество*. 1984. № 1.
3. Неклепаев Б. Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. М.: Энергия, 1978.

### 2.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖЕСТКОЙ И ГИБКОЙ ОШИНОВКИ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ И ТЕРМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ

А. П. Долин

(Московский энергетический институт)

Внедрение в ОРУ и ЗРУ жестких и гибких шин из различных алюминиевых сплавов и различного конструктивного исполнения потребовало разработки и совершенствования методики расчета электродинамической и термической стойкости.

Например, при использовании составных шинных опор, опорно-штыревых изоляторов, опорно-стержневых изоляторов с внешним креплением арматуры необходима корректировка допустимой нагрузки с учетом места нахождения опасного сечения изоляторов, которое может быть удалено (иногда значительно) от основания опоры.

Для шин из алюминиевых сплавов с термической обработкой (например, АД31Т1, АВТ1 и др.) кроме сопоставления максимальных механических напряжений в шине с допустимыми напряжениями для материала при расчете электродинамической стойкости жестких шин необходимо сопоставление наибольших напряжений в областях сварных швов с допустимым напряжением материала после сварки.

При расчетах электродинамической стойкости жесткой ошиновки шину в пролете можно рассматривать как балку на жестких или упруго-податливых опорах. В зависимости от граничных условий можно выделить три основные схемы пролета:

- 1) балка с шарнирным опиранием на обеих опорах, характерная для конструкции с разрезными шинами из кусков длиной в пролет, которая наиболее часто встречается в РУ 110 кВ и выше;
- 2) балка с шарнирным опиранием на одной и защемлением на другой опоре, отвечающая шинной конструкции с разрезными шинами, имеющими длину цельного (или сварного) участка, равную двум пролетам, которая иногда находит применение в РУ 110 кВ и выше, реже в РУ до 35 кВ;

3) балка с жестким опиранием на обоих изоляторах пролета, которая отвечает средним пролетам многопролетных неразрезных шин, наиболее широко используемых в РУ до 35 кВ.

На основе решения дифференциального уравнения 4-го порядка в частных производных получено решение задачи о колебаниях балок на жестких и упруго податливых опорах под действием распределенных электродинамических нагрузок. Составлены программы расчета на ЭВМ и проведены вычисления при различных декрементах затухания, постоянных времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, продолжительности двух- и трехфазного КЗ, взаимном расположении параллельных шин, а также относительных жесткостях и массах опор. Кроме того, получены результаты при неуспешных повторных включениях на КЗ.

Результаты расчета показали, что упругую податливость опор следует учитывать, если безразмерный критерий  $C_{оп} l^3 / EJ < 3000...5000$  (где  $C_{оп}$  – жесткость опор;  $l$  – длина пролета;  $E$  – модуль упругости материала шины;  $J$  – момент инерции).

Расчет жесткой ошиновки можно проводить на статическую нагрузку, равную максимуму электродинамической силы, если частота собственных колебаний больше 200...250 Гц. Затухание (рассеяние энергии) шинных конструкций оправдано учитывать в резонансных зонах, а также при расчетах с учетом неуспешных АПВ.

Аналитические, а также экспериментальные исследования электродинамической стойкости жесткой ошиновки подтвердили обоснованность использования в инженерных расчетах модели шинной конструкции как системы с одной степенью свободы. Результаты решения задач о колебаниях шин как систем с распределенными и сосредоточенными параметрами оказываются близкими, если принять приведенные сосредоточенную силу, жесткость, собственную частоту и декремент затухания расчетной одномассовой модели соответственно равными результирующей электродинамической нагрузке, жесткости шинной конструкции, ее первой (основной) частоте собственных колебаний и декременту затухания системы с распределенными параметрами.

В результате решения задачи о колебании системы с одной степенью свободы получены удобные для практических расчетов кривые динамических коэффициентов, которые могут быть использованы как для расчетов конструкций с жесткими, так и упруго податливыми опорами, для любых расчетных схем пролета шины.

Проведенные экспериментальные исследования электродинамической стойкости на полномасштабных опытных конструкциях 0,4–10 кВ,

а также опытно-промышленных шинных конструкциях заводского изготовления 110 и 220 кВ подтвердили достоверность полученных результатов.

В результате расчетов систем с распределенными и сосредоточенными параметрами разработана инженерная методика расчета электродинамической стойкости изоляторов и шин при неуспешных АПВ (повторных включениях на КЗ). Получено, что при продолжительности бестоковой паузы  $t_{б.п} > 2,3 / (f_1 \delta)$  (где  $f_1$  – первая частота собственных колебаний;  $\delta$  – логарифмический декремент затухания) начальные условия при повторном КЗ без существенной погрешности для инженерных расчетов можно принять нулевыми. В этом случае наибольшие прогибы, напряжения в шинах и нагрузки на изоляторах при первом и повторном КЗ оказываются практически одинаковыми.

Однако это условие, как правило, не выполняется в РУ 110 кВ и выше при быстродействующих АПВ. В этом случае для расчета электродинамической стойкости можно использовать построенные монограммы и расчетные кривые.

Разработана инженерная методика и быстродействующий алгоритм расчета электродинамической стойкости гибкой ошиновки на основе решения задачи о движении трехфазной системы проводов, как системы с шестью степенями свободы.

Сопоставление результатов расчетов с экспериментальными данными других авторов показали, что погрешность расчетов наибольших тяжений и отклонений проводов как правило не превышает 15–35%.

Предложены инженерные методики расчета наибольших возможных отклонений проводов, расположенных в одной вертикальной плоскости, а также подвешенных на одном уровне, при расчетном двухфазном КЗ.

На основе расчета адиабатического нагрева шин при КЗ построены кривые конечных температур для жестких шин из различных алюминиевых сплавов (в том числе АДО, АДЗ1Т, АДЗ1Т1, АВТ1, 1915Т) и проводов различных марок (М, А, АКП, Ап, АН, АНКП, АЖ, АЖКП, АС, АСК и др.). При расчетах учитывалось изменение активного сопротивления и теплоемкости материала от температуры. Получены значения параметра  $C_T$  (используемого при расчетах термически стойких сечений) при различных начальных (рабочих) температурах жестких проводников (в частности 70, 90 и 120°C), а также различных кратковременно допустимых (в зависимости от тяжения) температурах проводов (160, 200 и 250°C).

Для сталеалюминиевых проводов определены средние температуры провода (с учетом нагрева стального сердечника), которые мо-

гут использоваться при оценке наибольших стрел провеса этих проводов.

Следует отметить, что конечная температура нагрева проводников существенно зависит от марки материала (сплава). Например, известные кривые нагрева шин для алюминия можно использовать только для жестких шин марки АДО и гибких проводов А, АКП, Ап, АпКП. Температура нагрева шин из других алюминиевых сплавов при КЗ значительно выше. Например, температура нагрева шин из сплава 1915Т примерно в 2 раза выше, чем из АДО при тех же условиях.

Разработаны программы расчета электродинамической и термической стойкости гибкой ошиновки на ПЭВМ.

Результаты, полученные при исследовании электродинамической стойкости жесткой ошиновки, а также термической стойкости жестких и гибких шин (проводов) использованы при разработке ГОСТ Р 50254-92 "Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания".

#### **2.4. О ПОВЫШЕНИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**А. С. Бочев, В. В. Кузнецов, Т. В. Шурская**

*(Ростовский государственный университет путей сообщения)*

В последние годы участились случаи выхода из строя силовых трансформаторов на тяговых подстанциях переменного тока 27,5 кВ электрифицированных железных дорог из-за механического разрушения обмоток. Наиболее часто разрушению подвергались трансформаторы мощностью 40 МВ·А, при этом большое число аварий относится к трансформаторам, проработавшим 6-12 лет. Была проанализирована зависимость частоты разрушений от условий и места установки трансформаторов. Выяснено, что разрушение наиболее часто возникает у трансформаторов, испытывающих воздействие частых КЗ с большим током. Это характерно для подстанций, питающих деповские пути при коротких питающих линиях, а также (хотя и в меньшей степени) и для станционных линий крупных станций. Для этой группы подстанций наибольший риск динамических разрушений трансформатора характерен для подстанций с малым реактивным сопротивлением системы на шинах 110 кВ.