

УДК 621.311.1

## **Номограммы для выбора кабелей напряжением до 1 кВ по термической стойкости**

Скобля О.А.

Научный руководитель РАДКЕВИЧ В.Н. к. т.н., доцент

В электрических сетях напряжением до 1 кВ промышленных предприятий, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потребителей для передачи и распределения электроэнергии широко используются силовые кабели с пластмассовой изоляцией марок АВВГ, ВВГ, NYM, APbBнг, ПвBнг и т.п. Выбор сечений жил кабелей напряжением до 1 кВ, применяемых в электрических сетях любого назначения, производится по допустимому нагреву длительным расчетным током. При этом выбранные сечения должны соответствовать их защитным аппаратам. В осветительных сетях сечение проводников определяется также по допустимой потере напряжения. Сечения жил кабелей питающих силовых сетей, за исключением ответвлений к электроприемникам, при значении времени использования максимальной нагрузки более 5000 ч в год проверяются по экономической плотности тока.

В Республике Беларусь и других странах СНГ при проектировании электрических сетей напряжением до 1 кВ вопросам анализа и проверки термической стойкости кабелей с поливинилхлоридной, полиэтиленовой и резиновой изоляцией не уделялось достаточного внимания. В то время как в большинстве стран Европы выбор сечения жил низковольтных кабелей по режиму короткого замыкания (КЗ) - это уже давно сложившаяся практика. Данные вопросы приобретают особую актуальность в условиях постоянного роста цен на кабельную продукцию. В связи с этим ограничение тока КЗ путем применения эффективных устройств защиты и выбор термически стойких сечений жил кабелей представляет собой важную задачу проектирования электрических сетей и электрооборудования на напряжении до 1 кВ. Ее решение позволяет продлить срок службы кабелей, снизить количество отказов электрооборудования, повысить надежность электроснабжения потребителей электроэнергии и сократить затраты на энергообеспечение.

Сложившаяся ситуация должна коренным образом измениться в связи с введением в 1999 году на территории Республики Беларусь серии межгосударственных стандартов по электроустановкам зданий [2,3], в которых регламентируется предельное время отключения тока КЗ в электрических сетях до 1 кВ. Там же приводится формула и исходные данные для расчета допустимого времени протекания тока КЗ по проводникам с различной изоляцией в зависимости от площади поперечного сечения. Следовательно, в [2,3] заложены теоретические и нормативные основы для проверки сечений проводников по термической стойкости в режиме КЗ. Отметим также, что появившиеся на рынке электротехнической продукции кабели на напряжение до 1 кВ с изоляцией из сшитого (вулканизированного) полиэтилена (марок APbBГ, ПвBГ, APbBнг, ПвBнг и т.п.) в соответствии с технической документацией заводов-изготовителей требуется проверять по условию термической стойкости.

Как известно, ток КЗ изменяется за время от его возникновения до отключения аппаратом защиты по достаточно сложной кривой [5]. В то же время следует учитывать, что в электроустановках напряжением до 1 кВ КЗ происходят на значительном удалении от источников питания. Поэтому можно считать сверхпереходный ток незатухающим и равным установившемуся значению, а время его действия - равным времени срабатывания устройства защиты от сверхтоков. Не учитывается также значение апериодической составляющей тока КЗ. При этом процесс

нагрева проводников рассматривается как адиабатический, т.е. без отдачи теплоты в окружающую среду [4]. Ток КЗ, протекая по проводникам, вызывает их дополнительный нагрев и вследствие этого повышение температуры токоведущих жил. Длительность действия тока КЗ, как правило, не превышает нескольких секунд. Поэтому для различных токоведущих частей и элементов электрических сетей при КЗ кратковременно допускаются более высокие температуры нагрева по сравнению с температурами, установленными для рабочего режима. Ниже приведены предельно допустимые температуры нагрева кабелей и изолированных проводов с медными и алюминиевыми жилами в соответствии с [1], °C:

- с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией.....150;
- с полиэтиленовой изоляцией.....120.

Согласно технической документации заводов-изготовителей предельно допустимый ток короткого замыкания кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена определяются по формуле

$$I_k = K \cdot I_{1C} \quad , \quad (1)$$

где  $I_{1C}$  - допустимый односекундный ток короткого замыкания для кабелей, зависящий от материала проводника и сечения жилы (по данным завода-изготовителя), кА;  $K$  - поправочный коэффициент, позволяющий учитывать фактическую длительность короткого замыкания, рассчитываемый по формуле

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}} \quad , \quad (2)$$

где  $t$  - продолжительность короткого замыкания, с.

С учетом (2) из выражения (1) можно определить предельно допустимый ток термической стойкости кабеля с изоляцией из вулканизированного полиэтилена как

$$I_k = \frac{I_{1C}}{\sqrt{t}} \quad . \quad (3)$$

Следовательно, условие термической стойкости для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена может быть представлено в виде соотношения

$$K \cdot I_{1C} \geq I_k \quad , \quad (4)$$

или

$$I_{1C} \geq \sqrt{t} \cdot I_k \quad . \quad (5)$$

Таким образом, в соответствии с современными требованиями для выбора кабелей необходимо знать действующее значение тока КЗ в начале каждой линии напряжением до 1 кВ и время его отключения  $t$ , которое определяется по рабочим время-токовым характеристикам устройств защиты (плавких предохранителей, автоматических выключателей и т.п.).

В действующей нормативно-технической литературе [2,3] нет прямых указаний о необходимости выбора сечений жил кабелей напряжением до 1 кВ с пластмассовой и резиновой изоляцией по термической стойкости. Однако согласно [3] для КЗ продолжительностью до пяти секунд можно рассчитать время  $t$ , в течение которого температура проводника возрастает от наибольшего допустимого значения в нормальном режиме до предельно допустимой температуры в соответствии с [1] по следующему приближенному выражению

$$\sqrt{t} = C \cdot \frac{F}{I_k} \quad , \quad (6)$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения проводника, мм<sup>2</sup>;  $I_k$  - действующее значение тока короткого замыкания, кА;  $C$  - расчетный коэффициент, зависящий от материала жил проводника и его изоляции,  $A \cdot c^{0.5} / мм^2$ .

В соответствии с [3] расчетный коэффициент  $C$  имеет следующие значения:

$115A \cdot c^{0.5} / \text{мм}^2$  для кабелей с медными жилами с поливинилхлоридной изоляцией, а также для соединений медных проводников, выполненных пайкой;

$74A \cdot c^{0.5} / \text{мм}^2$  для кабелей с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией;

$135A \cdot c^{0.5} / \text{мм}^2$  для кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией (в том числе с изоляцией из бутиловой и этиленпропиленовой резины) и с изоляцией из сшитого полиэтилена;

$87A \cdot c^{0.5} / \text{мм}^2$  для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией (в том числе с изоляцией из бутиловой и этиленпропиленовой резины) и с изоляцией из сшитого полиэтилена;

Из формулы (5) для кабеля можно найти предельно допустимый ток короткого замыкания

$$I_k = \frac{C \cdot F}{\sqrt{t}}, \quad (7)$$

а также минимальное сечение жил кабеля по термической стойкости:

$$F = \frac{I_k \cdot \sqrt{t}}{C}. \quad (8)$$

Формулу (7) можно представить в виде:

$$F = \frac{\sqrt{I_k^2 \cdot t}}{C}. \quad (9)$$

Так как тепловой импульс тока короткого замыкания  $B_k = I_k^2 \cdot t$ , то тогда

$$F = \frac{\sqrt{B_k}}{C}. \quad (10)$$

Расчеты тока термической стойкости, выполненные по формулам (3) и (7) для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, дают практически одинаковые результаты. Погрешность расчетов не превышает 4%, возрастая с увеличением площади сечения токоведущей жилы кабеля. При этом ток термической стойкости кабелей по данным заводов-изготовителей, определяемый по формуле (3), оказывается несколько выше, нежели рассчитанный по выражению (7) в соответствии с [3].

На основе расчетов по формуле (7) построены характеристики термической стойкости для кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией с разными сечениями жил, представляющие собой номограммы для выбора кабелей напряжением до 1 кВ по режиму КЗ. Такая номограмма, упрощающая выбор кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией по условию термической стойкости, приведена на рис. 1. Применение номограмм не требует дополнительных расчетов, ускоряет и упрощает проверку силовых кабелей по условию нагрева при КЗ.

**Пример.** Произведем выбор сечения жил кабеля на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена для следующих исходных данных: действующее значение тока КЗ в начале линии  $I_k = 5$  кА, время действия устройства защиты  $t = 0,5$  с.

По формуле (5) определим значение односекундного тока КЗ:  $I_{1C} \geq 5 \cdot \sqrt{0,5} = 3,53$  кА. Выбираем по таблице 1 ближайшее большее значение допустимого односекундного тока короткого замыкания кабеля  $I_{1C} = 4,18$  кА, которому соответствует сечение жилы  $50 \text{ мм}^2$ . Для определения термически стойкого сечения жил кабеля с использованием номограммы (рис. 1) проведем параллельно осям координат прямые, соответствующие

значениям исходных данных по оси абсцисс 5 кА, а по оси ординат 0,5 с. В месте их пересечения получим точку, по которой можно определить сечение жилы – 50 мм<sup>2</sup>.

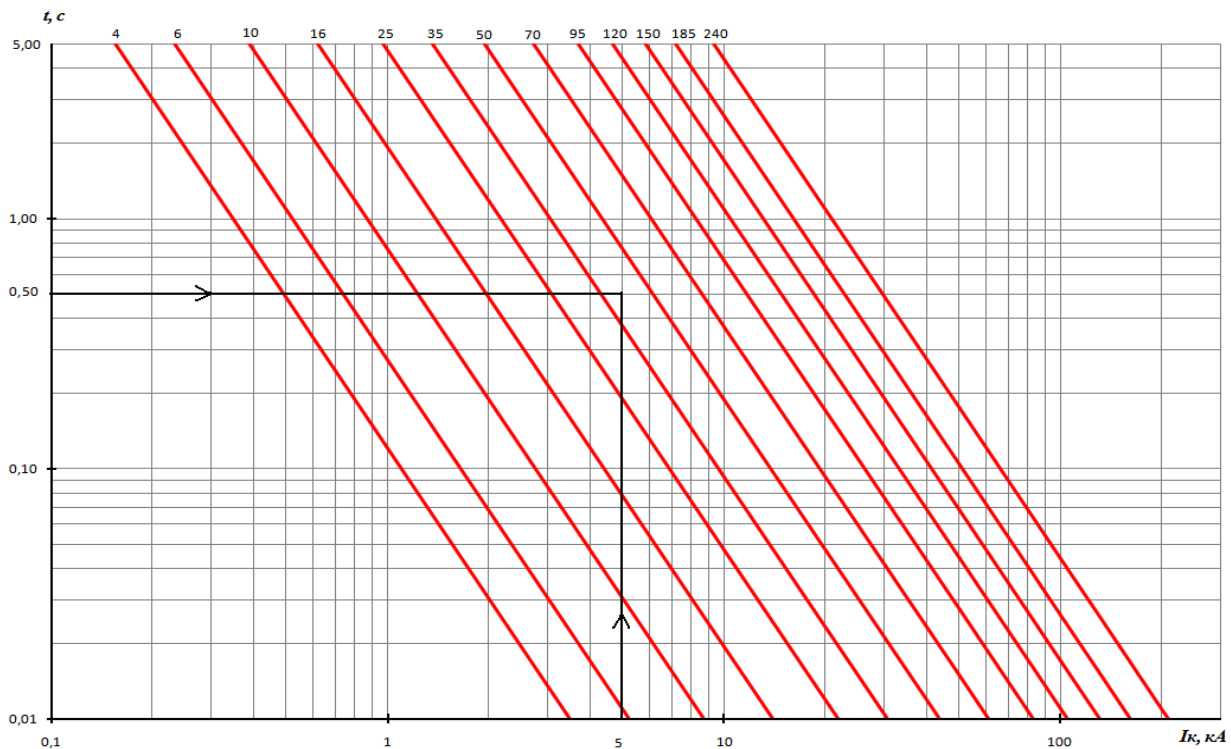


Рис. 1. Допустимый ток короткого замыкания кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена.

### Выводы

1. Показана необходимость выбора кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией, применяемых в электроустановках напряжением до 1 кВ, по термической стойкости при коротком замыкании.

2. Выбор сечений жил кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по термической стойкости можно производить как по допустимым односекундным токам короткого замыкания, которые задаются производителями кабельной продукции, так и в соответствии с ГОСТ 30331.5-95.

3. Получены номограммы, которые могут использоваться для проверки на термическую стойкость силовых кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией напряжением до 1 кВ.

### Литература

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е издание переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.
2. Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током. ГОСТ 30331.3-95 (МЭК 364-4-41-92).
3. Электроустановки зданий. Ч.4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока. ГОСТ 30331.5-95 (МЭК 364-4-43-77).
4. Тульчин И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.
5. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: «Энергия», 1970 – 520 с.