

Особенности расчетов электрокабелей высокого напряжения



И.В. ПАСТУХОВА,
начальник отдела
экспертизы инженерного
обеспечения
ГУ МО "Мособлгосэкспертиза"



А.Г. НАСАНОВСКИЙ,
главный специалист
отдела экспертизы инженерного
обеспечения
ГУ МО "Мособлгосэкспертиза"

В данной статье рассматриваются вопросы **выбора сечения кабелей напряжением 10кВ**, предусмотренные в ПУЭ изд.6 и другой технической литературе.

Если сечение кабелей, определенное по вышеперечисленным условиям, получается меньше сечения, требуемого по другим условиям, то должно приниматься наибольшее сечение, требуемое этими условиями.

I. 1). Кабели должны удовлетворять требованиям в отношении **предельно допустимого нагрева** с учетом нормальных, а также послеаварийных режимов.

Для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (ААБЛУ; АСБл и т.п.), несущих нагрузки меньше номинальных, и проложенных в земле, может допускаться кратковременная перегрузка (КВП), где ($K_{\text{предел. нагр. каб.}} = 0,8$), тогда $KVP = 1,10$ в течение 3,0 часов), а на период ликвидации послеаварийного режима допускаются перегрузки (ПГ) не более 1,20 в течение 5 сут. при длительности максимума 6 часов в сутки.

На период ликвидации послеаварийного режима для кабелей с полиэтиленовой изоляцией допускается перегрузка до 10%, а для кабелей с ПВХ изоляцией – до 15% на время

не более 6 часов в сутки в течение 5 суток. **Допустимая температура жилы кабеля:** 10кВ (+60° С).

Для кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией (АВВГ; АВББШв и т.п.) **допустимая температура жилы кабеля** (65° С) и земли (+15° С).

Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допустимая температура жилы кабеля: 90° С.

2). Сечение кабелей должно быть проверено по **экономической плотности тока** для нормального режима работы (ток в послеаварийном режиме не учитывается).

3). Кабели подлежат проверке на условия нагревания жил током короткого замыкания (КЗ), т.е. по **термической устойчивости току короткого замыкания**. Повышение температуры жил кабелей при КЗ ведет к химическому разложению изоляции и резкому снижению ее электрической и механической прочности и, в итоге, - к аварии.

4). Сечение кабелей проверяется по **потере напряжения**.

II. Для кабелей 10кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, кроме того, проверяется **медный экран на термическую устойчивость при 2-х фазном токе короткого замыкания (КЗ)**.

Пример:

Данные.

ТП с 2-мя силовыми трансформаторами по 2500 кВА питается от ПС, находящейся на расстоянии 4,0 км. Напряжение сети 10 кВ. Расчетная нагрузка супермаркета составляет $S_p = 3250$ кВА. Продолжительность часов использования максимума нагрузки — 8780ч. (работа полные сутки -24 часа). Принимаются кабели марки ААБЛУ-10кВ, которые прокладываются в земле. По ТУ кабельной сети ток 3-х фазного короткого замыкания «КЗ» на шинах подстанции составляет 7,5 кА. Выдержка времени максимальной защиты на отходящей линии $t_v = 1,4$ с, время отключения выключателя $t_o = 0,3$ с.

Решения.

1). Выбор сечения кабеля ААБЛУ-10кВ по нагреву в послеаварийном режиме (работа одного кабеля)

Расчетный ток нагрузки на РУ-10кВ ТП:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \times U) = 3250 / (\sqrt{3} \times 10,3\text{кВ}) = 182\text{А}.$$

Расчетный ток на один кабель:

$I_p = 182 / 2 = 91\text{А}$ (нормальный режим).

Предварительно выбираем сечения кабеля 95мм².

Допустимый длительный ток табличный (Ид.т.) для сечения 95мм² составляет 205 А (ПУЭ, изд. 6, табл. 1.3.16). С учетом следующих коэффициентов к Ид.т.:

$K_1 = 1,10$ (ПУЭ, изд. 6, табл. 1.3.3, п. 1.3.13) на температуру земли зимой для Московской области для максимума нагрузки;

$K_2 = 0,87$ (ПУЭ, изд. 6, табл. 1.3.23) на удельное сопротивление почвы (с учетом геологических изысканий);

$K_3 = 0,92$ (ПУЭ, изд. 6, табл. 1.3.26) на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле.

Общий коэффициент $K = K_1 \times K_2 \times K_3 = 0,88$.

Таким образом, фактически допустимый длительный ток $I_{\text{ф}}$ для кабеля, сечением 95мм², составляет:

$I_{\text{ф}} = \text{Ид.т.} \times K = 205 \times 0,88 = 180\text{А}$, $I_p = 182\text{А}$ (см.выше).

Условие: $I_{\text{ф}} \geq I_p$, но $180\text{А} \leq 182\text{А}$ т.е. условие не выполняется. Необходимо принять сечения кабеля — 120мм², для которого Ид.т. = 240А, а $I_{\text{ф}} = 240 \times 0,88 = 211\text{А}$, т.е. $211\text{А} \geq 182\text{А}$, т.е условие выполняется.

2). Выбор кабеля ААБ2л-10кВ сечением 3х120мм² по экономической плотности тока

$S_{\text{эк}}$ — сечение по экономической плотности тока (мм²)- по нормальному режиму.

$J_{\text{эк}} = 1,2$ А/мм² — экономическая плотность тока (ПУЭ, изд. 6, табл. 1.3.36).

$S_{\text{эк}} = I_p / J_{\text{эк}} = 91\text{А} / 1,2 = 76$ мм²

Условие $120\text{мм}^2 \geq 76\text{мм}^2$ выполняется.

3). Проверка кабеля ААБ2л-10кВ сечением 3х120мм² по термической устойчивости

$I_{\text{к.з.}} (3\text{ф}) = 7,5\text{кА}$, выдержка времени максимальной защиты на отходящей линии $t_v = 1,4$ с, время отключения выключателя $t_o = 0,3$ с (по ТУ кабельной сети, см . выше).

Тогда действительное время отключения линии $t_{\text{л}} = 1,4\text{с} + 0,3\text{с} = 1,7\text{с}$.

Минимальное сечение кабеля по термической устойчивости.

$$S_{\min} = I_{\text{к.з.}} (3\phi) \times \sqrt{t_{\text{л}}} / C,$$

Где $C = 95$ – постоянное значение для кабелей с алюминиевыми жилами 10кВ.

$$S_{\min} = 7500A \times \sqrt{1,7} / 95 = 103\text{мм}^2.$$

Условие $120\text{мм}^2 \geq 103\text{мм}^2$ выполняется.

4). Выбор кабеля по потере напряжения

$\Delta U = \Delta U_{\text{табл.}} \times M$ (МВт x км) = $0,3 \times 1,63\text{МВт} \times 4,0\text{км} = 1,95\%$, где $\Delta U_{\text{табличная}}$ удельная величина потери напряжения (Полюбовое к ВСН 97-83).

Условие по потере напряжения выполняется (принимается нормальный режим, т.е работа 2-х кабелей при нагрузке $S_p = 3,25/2 = 1,63$ МВт).

II. Для кабелей 10кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена проверяется медный экран на термическую устойчивость при 2-х фазном токе короткого замыкания (КЗ)

Кабельная сеть «Моэнерго» должна представить:

- 3-х фазный ток «КЗ» на шинах ПС;
- время срабатывания защиты на данной линии (в нашем примере $t_{\text{в}} = 1,25\text{с}$).

Формула:

2-х фазный ток «КЗ» = $0,87$ тока 3-х фазного «КЗ».

Условие: $I_{\text{д.э.}} \geq I_{2\phi}$ «кз», где $I_{\text{д.э}}$ – допустимый ток медного экрана; $I_{2\phi}$ «кз» - 2-х фазный ток «КЗ».

Таблица № 1.

Допустимые токи

«КЗ» в медных экранах (I_{д.э.})*

* Данные ОАО «Моспроект».

1. Допустимый ток (I_{д.э.}) «КЗ» медных экранов можно определить по формуле:

$I_{\text{д.э.}} = 0,203 \times S_{\text{э}}$, где $S_{\text{э}}$ заданное сечение для определения допустимого тока (I_{д.э.}) «КЗ» медных экранов (для $t = 1,0\text{с}$).

2. Для продолжительности «КЗ, отличающегося от 1сек. значение времени определяется: $I_{\text{кз}} \times K$, где $K = 1/\sqrt{t}$, где t – продолжительность «КЗ» в секундах.

Пример:

Условие.

Кабельная сеть «Моэнерго» представила:

- ток «КЗ» на шинах ПС равный $4,7$ кА,
- время срабатывания защиты на данной линии (в нашем примере $t_{\text{в}} = 1,25\text{с}$).

По расчетным данным принят кабель марки АПвП-10кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена сечением 150мм^2 и с медным экраном 25мм^2 : $3(1 \times 150/25)\text{мм}^2$.

Решение.

1. При заданном сечении экрана 25мм^2 и $t_{\text{в}} = 1,0\text{с}$ допустимый ток (I_{д.э.}) «КЗ» медных экранов по таблице № 1 составит $5,1$ кА.

2. В примере $t_{\text{в}} = 1,25\text{с}$, тогда находим «К»:

$$K = 1/\sqrt{t} = 1/\sqrt{1,25} = 0,83\text{с}$$

3. При $t_{\text{в}} = 0,83\text{с}$ определяем допустимый ток (I_{д.э.}) «КЗ» медного экрана:

$I_{\text{д.э.}} = 5,1\text{кА} \times 0,83 = 4,2\text{кА}$ (это допустимый ток I_{д.э.} «КЗ» медного экрана сечением 25мм^2 за время $t_{\text{в}} = 1,25\text{с}$).

6. Определяем 2-х фазный ток «КЗ»: $I_{\text{кз-2ф}} = 0,87 \times 4,7\text{кА} = 4,1\text{кА}$.

5. Условие выполнения: $I_{\text{д.э.}} \geq I_{\text{кз-2ф}}$, т.е. $4,2\text{кА} \geq 4,1\text{кА}$ – условие выполняется, сечение экрана выбрано правильно.

Номинальное сечение (S _э) медного экрана мм ²	t=0,7с кА	t=1,0с кА	t=1,4с кА
16	3,9	3,3	2,8
25	6,07	5,1	4,36
35	8,45	7,1	6,04
50	12,14	10,2	8,67
70	17,02	14,3	12,16
95	23,09	19,4	16,49