

УДК 621.311

**ДЛИТЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ НАГРУЗКИ НА ТРЕХЖИЛЬНЫЕ
КАБЕЛИ 6-10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА
LONG-TERM PERMISSIBLE LOAD CURRENTS ON THREE-CORE
CABLES OF 6-10 KV WITH CROSS-LINKED POLYETHYLENE
INSULATION**

Е.Б. Иселёнок

Научный руководитель – М.А. Короткевич, д.т.н., профессор,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Iselyonok

Supervisor – M. Korotkevich, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допустимы большие значения токов нагрузки независимо от характеристик окружающей среды, по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией, за счет большей допустимой разности температур нагрева токопроводящих жил кабеля и окружающей среды, а также меньших значений тепловых сопротивлений изоляции и других конструктивных элементов кабеля.

Abstract: For cables with cross-linked polyethylene insulation large values of load currents are permissible, regardless of the characteristics of the environment, in comparison with cables with paper-oil insulation, due to the greater permissible temperature difference between the heating of the conductive cores of the cable and the environment, as well as lower values of thermal resistance of insulation and other structural elements of the cable.

Ключевые слова: длительно допустимые токи нагрузки, трёхжильные силовые кабели, коэффициент поверхностного эффекта, коэффициент близости.

Keywords: long-term permissible load currents, three-core power cables, surface effect coefficient, closeness value.

Введение

Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелем с бумажно-масляной изоляцией обладает следующими важными преимуществами: меньшей повреждаемостью, большей пропускной способностью, неограниченной разностью уровней прокладки, меньшим радиусом изгиба, возможность прокладки при отрицательных температурах.

Основная часть

Расчетные значения длительно допустимых токов нагрузки, исходя из длительно допустимой температуры нагрева жил вычисляются по формуле, которая взята из ГОСТа [1]. Диэлектрические потери W_d не учитываются, т.к. напряжение кабеля меньше 110 кВ, а именно 6-10 кВ.

$$I = \left[\frac{\Theta_{\text{доп}} - \Theta_0}{R\{T_1 + 3[(1 + \lambda_1)T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)]\}} \right]^{0,5}, \quad (1)$$

где $\Theta_{\text{доп}}$ – максимальная рабочая температура жилы, °С;

Θ_0 – температура окружающей среды, °С;

R – сопротивление жилы переменному току при максимальной рабочей температуре, Ом/м;

T_1 – тепловое сопротивление между жилой и экраном на единицу длины, К · м/Вт;

T_2 – тепловое сопротивление подушки между оболочкой и броней;

T_3 – тепловое сопротивление наружного защитного покрытия кабеля на единицу длины, К · м/Вт;

T_4 – тепловое сопротивление между поверхностью кабеля и окружающей средой (земля, воздух) на единицу длины, К · м/Вт;

λ_1 – отношение потерь в металлической оболочке или экранах к общим потерям во всех жилах кабеля;

λ_2 – отношение потерь в броне к общим потерям во всех жилах кабеля.

В электротехническом справочнике указано, что коэффициент поверхностного эффекта больше, чем коэффициент близости. Однако коэффициенты, рассчитанные по формулам (2) и (3), взятым из ГОСТа [1], начиная со значения площади поперечного сечения жилы 150 мм² коэффициент близости больше, чем коэффициент поверхностного эффекта [2].

Коэффициент поверхностного эффекта y_s определяют по формуле:

$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0,8 \cdot x_s^4}, \quad (2)$$

где $x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_s$;

f – частота, Гц.

Значения k_s приведены в [1, таблице 2].

Коэффициент эффекта близости определяют по формуле:

$$y_p = \frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_p^4}{192 + 0,8 \cdot x_p^4} + 0,27} \right], \quad (3)$$

где $x_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} 10^{-7} k_p$,

d_c – диаметр жилы, мм;

s – расстояние между осями жил, мм.

Длительно допустимые токи нагрузки, определенные по формуле (1), увеличиваются, с увеличением напряжения с 6 до 10 кВ. Длительно допустимые токи кабеля с медными жилами больше, чем с алюминиевыми. У кабеля с пофазным экраном токи больше, чем с общим.

Длительно допустимые токи нагрузки, определенные для кабелей, прокладываемых в земле, меньше примерно в 1,3 раза соответствующих значений, приведенных в ПУЭ, в связи с тем, что удельное термическое сопротивление грунта ранее принималось 1,2 °К · м/Вт вместо нынешних 1,8 °К · м/Вт [3]. В ПУЭ наоборот [4].

Длительно допустимые токи нагрузки для кабелей, прокладываемых на воздухе, больше значений таких же токов, характерных при прокладке кабелей в земле [2].

По международным стандартам кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена рассчитаны на работу в длительно допустимом режиме при температуре 90°C, а кабели с бумажно-масляной изоляцией – при 70 °С, поэтому из-за большей разности температур у кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена сопротивление переменному току больше.

При сравнении длительно допустимых токов нагрузки для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с расчетными значениями допустимых токов нагрузок для кабеля с бумажно-масляной изоляцией, а также со значениями из ПУЭ получается, что для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допустимы большие значения токов нагрузки независимо от характеристик окружающей среды, по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией, за счет большей допустимой разности температур нагрева токопроводящих жил кабеля и окружающей среды, а также меньших значений тепловых сопротивлений изоляции и других конструктивных элементов кабеля [2].

Заключение

Максимальная передаваемая мощность у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена в 1,2 раза больше, чем у кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией. Стоимость и себестоимость передачи электроэнергии у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена примерно в 1,2 раза больше, чем у кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией [2]. Однако вероятность отказа кабельной линии с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена на порядок меньше. Следовательно, при длительно допустимом токе нагрузки надо выбрать кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена на одну ступень меньшую.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения: – М.: Стандартинформ, 2009. – 25 с.
2. Иселёнок, Е. Б. Определение длительно допустимых токовых нагрузок на трехжильные силовые кабели напряжением 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена/ Е. Б. Иселёнок; науч. рук. М. А. Короткевич. Минск: БНТУ, 2021.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчет теплового сопротивления: – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.
4. Правила устройства электроустановок: сборник нормативных правовых актов Республики Беларусь / составители: Л. С. Овчинников, Н. В. Овчинникова. - Минск: Дизайн ПРО, 2012. - 1375 с.