

УДК 621.311

Определение допустимых длительных токов одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Алехнович Д.С.

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

В электрических сетях напряжением 6-10 кВ энергосистем и промышленных предприятий одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (КСПЭ) применяются при больших нагрузках линий электропередачи, когда технически сложно и экономически невыгодно использовать трехжильные кабели. В системах электроснабжения производственных объектов одножильные кабели целесообразны на линиях, питающих распределительные пункты (РП), а также на линиях, связывающих между собой разные источники питания (РП, понизительные подстанции) на напряжении 6-10 кВ.

При прокладке в земле или в воздухе одножильные кабели могут располагаться треугольником или в одной плоскости, с расстоянием между кабелями «в свету», равном наружному диаметру кабеля d , (рисунок 1).

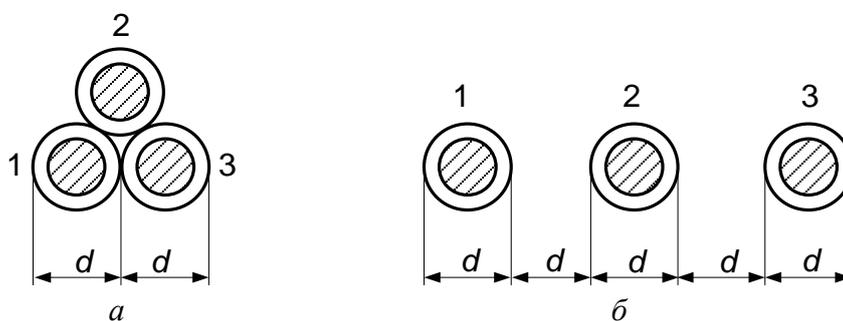


Рисунок 1 – Расположение одножильных кабелей 1-3 при прокладке: а- по вершинам равностороннего треугольника; б- в одной плоскости

В многоамперных установках (ток 1000А и более) из-за отрицательных проявлений эффектов близости и индуктивного переноса мощности более благоприятным является симметричное расположение кабелей (рисунок 1,а). Кроме того, расположение в плоскости требует большего объема земляных работ при прокладке в траншеях, а при прокладке на эстакадах и в кабельных сооружениях - отдельного крепления каждого кабеля к несущим конструкциям. В силу указанных причин на практике, как правило, применяется расположение одножильных кабелей треугольником.

В общем случае допустимый длительный ток кабеля зависит от ряда факторов [1]:

$$I_{дон} = f(n, \tau_n, S_k, S_c, R, P_u), \quad (1)$$

где n – количество жил в кабеле, шт;

τ_n – допустимое (нормированное) установившееся превышение температуры жилы кабеля при продолжительной нагрузке, °С;

S_k – тепловое сопротивление кабеля, К·см/Вт;

S_c – тепловое сопротивление окружающей среды, К·см/Вт;

R – электрическое сопротивление одного сантиметра токопроводящей жилы кабеля при температуре 20°С, Ом;

P_u – мощность, рассеиваемая в изоляции кабеля за счет диэлектрических потерь, Вт.

Уменьшение n, S_k, S_c, R и P_u , а также увеличение τ_n способствует повышению $I_{доп}$. При одинаковом числе жил из одного и того же проводникового материала величина $I_{доп}$ главным образом зависит от значений τ_n, S_k, S_c и R . Длительно допустимое превышение температуры жилы кабеля определяется по выражению

$$\tau_n = \Theta_{жн} - \Theta_{сн}, \quad (2)$$

где $\Theta_{жн}$ и $\Theta_{сн}$ – нормированные значения температуры жилы и окружающей среды соответственно, °C.

Из формулы (2) следует, что КСПЭ напряжением 6-10 кВ, имеющие $\Theta_{жн} = +90$ °C, при идентичных условиях прокладки, допускают большие токи нагрузки по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией, у которых $\Theta_{жн} = +65$ °C при напряжении 6 кВ и $\Theta_{жн} = +60$ °C при напряжении 10 кВ [3].

Значения $\Theta_{сн}$, как правило, принимаются 25 °C при прокладке кабелей в воздухе и 15 °C – при прокладке в земле или воде. Следует отметить, что некоторые зарубежные изготовители КСПЭ (например, фирмы *ABB* и «Южкабель») устанавливают иные значения температуры $\Theta_{сн}$. Это необходимо учитывать при разработке систем электроснабжения с применением КСПЭ указанных производителей.

Длительно допустимые токовые нагрузки любых проводников могут определяться на основе теплового расчета или экспериментально. Однако для изолированных проводников расчетные формулы получаются достаточно сложными, требующими большого количества исходных данных, которые часто носят неопределенный характер. Поэтому в справочной информации по кабельной продукции приводятся значения длительно допустимых токов кабелей, полученные на основе расчета и уточненные экспериментально с учетом применяемой изоляции, площади сечения жил, условий прокладки и допустимых температур нагрева жил и окружающей среды.

Таблицы допустимых токов для одножильных КСПЭ напряжением 6-10 кВ и более приводятся в [2]. При выполнении расчетов электрических сетей используется также информация о технических характеристиках кабелей, предоставляемая производителями кабельной продукции. Отметим, что информация различных фирм о допустимых токах кабелей с одинаковым сечением жил при идентичных условиях прокладки может существенно различаться и даже быть противоречивой.

Сечения токопроводящих жил (ТПЖ) кабелей напряжением выше 1 кВ выбираются с учетом экономических и технических факторов, одним из которых является длительный допустимый нагрев. Сечения ТПЖ кабелей, которые в послеаварийных или ремонтных режимах могут работать с перегрузкой, проверяются по условию

$$I_{доп} \geq \frac{I_{ра}}{K_{пер} K_{п}}, \quad (3)$$

где $I_{ра}$ – расчетный ток линии в послеаварийном или ремонтном режиме, А;

$K_{пер}$ – кратность перегрузки, допускаемая нормативно-техническими документами по кабелям;

$K_{п}$ – поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий действительные условия прокладки, конструктивное исполнение кабельной линии электропередачи и т.д.

Согласно [2] значения $K_{пер}$ могут быть приняты 1,17 при прокладке КСПЭ в земле и 1,2 – при прокладке в воздухе. Допустимая продолжительность работы КСПЭ напряжением 6-10 кВ в режиме перегрузки 8 ч в сутки и не более 1000 ч за весь срок службы (30 лет).

Поправочный коэффициент K_{II} может быть представлен в виде произведения коэффициентов, учитывающих действительные условия прокладки кабелей

$$K_{II} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (4)$$

где K_i - поправочный коэффициент, учитывающий i -й фактор, влияющий на длительно допустимый ток кабеля в конкретных условиях применения;

n – количество факторов, учитываемых при выборе сечение ТПЖ кабеля по длительно допустимому нагреву.

Согласно [2] значение поправочного коэффициента может быть представлено в следующем виде:

$$K_{II} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (5)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий фактическую максимальную сезонную температуру окружающей среды;

K_2 – коэффициент, учитывающий фактическое удельное тепловое сопротивление грунта вдоль трассы кабельной линии и на участке трассы с наихудшими условиями охлаждения;

K_3 – коэффициент, учитывающий количество рядом проложенных кабелей и их взаимное расположение;

K_4 – коэффициент, учитывающий способ прокладки КСПЭ (расположение на кабельных конструкциях, в кабельных сооружениях и т.д.);

K_5 – коэффициент, учитывающий глубину прокладки КСПЭ в земле;

K_6 – коэффициент, учитывающий прокладку КСПЭ в земле в трубах при длине данного участка линии более 10 м;

K_7 – коэффициент, учитывающий схему заземления экранов кабеля;

K_8 – коэффициент, учитывающий наличие внешних источников нагрева кабеля;

K_9 – коэффициент, учитывающий коэффициент среднесуточного заполнения графика нагрузки.

В ТКП 611-2017 (33240) [2], введенном в Республике Беларусь с 02.10.2017 г., не для всех поправочных коэффициентов на допустимые длительные по нагреву токи приведены их численные значения, даны расчетные формулы или способы определения. Это затрудняет правильную оценку значений допустимых токов для конкретных условий эксплуатации кабельных линий. В тех случаях, когда какой-то коэффициент не требуется учитывать или невозможно достоверно определить, то его значение принимается равным единице.

В [2] приводится таблица для определения значения коэффициента, учитывающего фактическую максимальную сезонную температуру окружающей среды, как одного из наиболее важных расчетных коэффициентов. При этом коэффициенты приводятся от -5°C до 50°C с интервалом 5°C . Если фактическая температура среды не кратна пяти, то приходится прибегать к методу линейной интерполяции, что не всегда удобно на практике.

Поэтому в ряде случаев поправочный коэффициент на допустимый ток, учитывающий фактическую температуру окружающей среды, более быстро можно определить по следующей формуле:

$$K_1 = \sqrt{\frac{\Theta_{\text{жн}} - \Theta_{\text{с}}}{\Theta_{\text{жн}} - \Theta_{\text{сн}}}}, \quad (6)$$

где $\Theta_{\text{с}}$ - действительная температура окружающей среды.

Отметим, что по выражению (6) можно выполнять расчет коэффициента K_1 для любых кабелей.

Коэффициент K_2 для кабелей напряжением 6-10 кВ, учитывающий действительное удельное тепловое сопротивление земли, может определяться по формуле

$$K_3 = \sqrt{\frac{S_k + S_{гн}}{S_k + S_r}}, \quad (7)$$

где S_k - удельное тепловое сопротивление кабеля, К·см/Вт;

$S_{гн}$ - нормированное удельное тепловое сопротивление земли, $S_{гн} = 120$ К·см/Вт;

S_r - действительное удельное тепловое сопротивление земли, К·см/Вт.

Учитывая, что при нагревании изменяются как электрическое, так тепловое сопротивление кабеля, а предельно допустимая длительная температура нагрева жил КСПЭ равна 90°C, можно понять, насколько важен этот коэффициент при определении значения $I_{доп}$. Однако в [2] и технической документации разных производителей кабельной продукции отсутствует информация о значениях S_k для кабелей.

Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, расположенных в одной плоскости рядом в земле в трубах и без труб, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле

Расстояние между кабелями в свету, мм	Поправочные коэффициенты при количестве кабельных линий, шт				
	2	3	4	5	6
100	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Значения других поправочных коэффициентов на допустимые длительные токи принимаются по технической документации производителей кабельной продукции.

Выбор КСПЭ по допустимому нагреву требует не только правильного определения расчетных нагрузок кабельных линий в разных режимах работы, но и тщательного учета конкретных условий прокладки. Без этого невозможно правильно выбрать сечение ТПЖ кабеля и обеспечить нормальное функционирование системы электроснабжения объекта.

В руководстве пользователя «Кабельные системы с изоляцией из сшитого полиэтилена» фирмы *ABB* приведен пример расчета, показывающий, что кабель с допустимым током 610 А при учете реальных условий прокладки способен длительно пропускать ток 365 А, т.е. примерно на 40% меньше. Этот пример наглядно показывает насколько важно их тщательно учитывать.

Заключение

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-10 кВ обладают большой пропускной способностью только при эксплуатации в определенных условиях по схемам прокладки, рекомендованным производителями. Определение допустимых длительных токовых нагрузок требует тщательного подхода с учетом многих факторов. К сожалению, в ТКП 611-2017 (33240) отсутствуют четкие методические указания и необходимые справочные данные для определения допустимых токовых нагрузок кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, позволяющие учитывать реальные условия работы кабельных линий

Литература

1. Радкевич, В.Н. О допустимых нагрузках кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / В.Н. Радкевич, Р.В. Романов.- Энергетика. Изв. ВУЗов и энергетических объединений СНГ.- 2006.- №3.- С.61- 66.

2. ТКП 611-2017 (33240) Силовые кабельные линии напряжением 6-110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки. Издание официальное. Минск: Минэнерго, 2017 – 150 с.