

Георгий Викторович ГРЕШНЯКОВ, к.т.н., старший научный сотрудник НИИ «Севкабель»;
Геннадий Георгиевич КОВАЛЕВ, к.ф.-м.н, заместитель директора по научной работе НИИ «Севкабель».

О ВЫБОРЕ

предельно допустимых токов силовых кабелей 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена и проволоочной броней из алюминиевого сплава

Современный уровень развития кабельной промышленности требует замены в кабельных сетях маслонаполненных изделий на соответствующие — с изоляцией из сшитого полиэтилена. Подобный переход обусловлен как повышением технологичности производства, так и более высокими изоляционными свойствами и повышением пропускной способности кабелей, что связано с более высокой предельно допустимой температурой для сшитого полиэтилена.



Осторожная информация о значениях предельно допустимых токов высоковольтных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при различных условиях прокладки является ключевым моментом при проектировании кабельных линий. Поэтому анализ тепловых режимов работы трехфазной кабельной системы необходимо проводить с учетом особенностей конструкции прокладываемых кабелей с точки зрения дополнительных источников тепловыделения.

* * *

Задача оценки максимальной токовой нагрузки является обратной задачей расчета теплового поля. Прямая задача использует известный источник тепловыделения и рассчитывает распределение температуры во всех точках модели. Обратная задача идентифицирует источник тепла (в нашем случае токовую нагрузку кабеля) по заданному значению температуры в контрольной точке модели.

Обратная задача решается путем перебора решений нескольких прямых задач, возможно с использованием интерполяции и/или поискового алгоритма.

Начальное приближение для действующего значения тока жилы выбирается из физических соображений на основании оценок и инженерных расчетов более общих моделей.

Необходимое условие соблюдения температурного режима работы кабеля это условие, когда температура поверхности жилы при данном действующем значении тока, не превышает предельно допустимой величины 90°C для полиэтиленовой изоляции.. Решение задачи разбивается на два основ-

ных этапа:

1. Расчет источников тепловыделения в жиле, экране и броне.
2. Тепловой расчет кабельной системы и определение температуры жилы с помощью комплекса программ ELCUT [1].

При решении конкретной задачи используется уравнение теплопроводности для плоского случая в виде [2]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$

где:

T — температура;

t — время;

$\lambda(x, y, z)$ — компоненты тензора теплопроводности (в линейной постановке);

...анализ тепловых режимов работы трехфазной кабельной системы необходимо проводить с учетом особенностей конструкции прокладываемых кабелей...

q — удельная мощность тепловыделения, в линейной постановке — константа, в нелинейной постановке — задаваемая кубическим сплайном функция температуры;

$c(T)$ — удельная теплоемкость, в линейной постановке — константа, в нелинейной постановке — задаваемая кубическим сплайном функция температуры;

ρ — плотность.

В стационарной задаче последнее слагаемое в правой части уравнений равно нулю.

Поскольку броня кабелей заземляется, то в электрическом смысле она превращается в часть экрана. Программа «ЭКРАН» (далее — ПЭ) для

расчета токов и напряжений в экранах однофазных силовых кабелей 6-500 кВ [3] зарегистрирована в Федеральном государственном учреждении «Федеральный институт промышленной собственности» (г. Москва). ПЭ позволяет вычислять токи в однородных медных или алюминиевых экранах.

Для того чтобы использовать ПЭ для учета влияния брони, необходимо привести реальный экран, который представляет собой комбинированный проводник, к эквивалентному медному электрическому экрану с новым поперечным сечением.

Объемная плотность тепловыделения, заданная для блока модели, соответствует объемному источнику тепла. После вычисления тока в эквивалентном медном экране необходимо определить удельные мощности тепловыделения как в жиле $q_{ж}$, так и в эквивалентном экране $q_{э}$, которые определяют правую часть уравнения (1):

$$q_{ж} = (I_{ж} / S_{ж})^2 \rho_{ж}, \quad (2)$$

где:

$q_{ж}$ — объемная плотность тепловыделения жилы [Вт/м³];

$I_{ж}$ — действующее значение тока жилы [А];

$S_{ж}$ — площадь поперечного сечения жилы [мм²];

$\rho_{ж}$ — удельное сопротивление материала жилы [Ом/м], аналогично для экрана:

$$q_{э} = (I_{э} / S_{э})^2 \rho_{э}, \quad (3)$$

После вычисления значений объемных плотностей тепловыделения соответствующие значения заносятся в исходные данные для ELCUT.

Исходными данными для решения прямой задачи, кроме тепловыделений, являются: геометрическая модель кабеля и данные о тепловых характеристиках материалов и окружающей среды. Граничные условия задаются в зависимости от условий прокладки. Если кабель прокладывается в грунте, задается температура на границе расчетной области, например на ребрах квадрата со стороной, равной 0,8 от глубины прокладки.

Значение температуры выбирается в соответствии с ТУ на кабель (обычно для прокладки в грунте – 15°C).

При прокладке на воздухе задается граничное условие конвекции на внешней границе каждой фазы. Оно описывает конвективный теплообмен и определяется следующим образом:

$$Fn = \alpha(T - T_0), \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, T_0 – температура окружающей среды.

Параметры α и T_0 могут меняться от ребра к ребру. Например, при наличии ветра, на подветренной и противоположной сторонах поверхности кабеля (следах поверхности), значения α будут существенно отличаться друг от друга. На рис. 1 приведена картина теплового поля трехфазной системы 110 кВ при однофазной прокладке в грунте бронированным кабелем с сечением жилы 800 мм² и медным экраном сечением 185 мм². Броня из 77 круглых проволок (алюминиевый сплав) сечением 3,3 мм². Ток жилы (действующее значение) – 574 А.

В заключении следует подчеркнуть, что изложенный материал формулирует и описывает основные этапы решения задачи определения предельно допустимых токов трехфазной кабель-

ной системы 110 кВ при однофазной прокладке при наличии брони в конструкции кабелей. Результаты расчетов приведены для случая заземления экрана с двух сторон. Применение транспозиции экранов при наличии брони технически затруднено.

Литература:

1. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.6. Руководство пользователя. Производственный кооператив ТОР. Санкт-Петербург, 2008.
2. Грешняков Г. В., Нарышкин Е. В. «Импульсный низкоиндуктивный высоковольтный кабель». «Силовая электроника», № 4, 2009, с. 42-46.
3. Дмитриев М. В., Евдокунин Г. А. «Заземление экранов однофазных силовых кабелей высокого напряжения».

СЕВКАБЕЛЬ ХОЛДИНГ
 192148, г. Санкт-Петербург,
 пр. Елизарова, д. 31/2.
 E-mail: holding@sevcable.spb.ru
 www.sevcable.ru

G. V. Greshnyakov, G. G. Kovalev. «Sevcable» Research Institution. The article describes the main stages of solving a problem of how to determine current capacity of a three-phase 110 kv cable system in case of single phase laying with armour used in cable makeup. The calculation results are shown for a case of two-sided shield grounding. Application of shield transposition with armour used in cable makeup is technically difficult.



Рис. 1. Диаграмма распределения температуры по сечению кабеля.