

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕПЛОГО ПРОЦЕССА В КАБЕЛЯХ 0,4 КВ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

В общепринятой практике расчета процессов в сетях 0,4 кВ при коротких замыканиях считается, как правило, что нагрев кабелей является адиабатическим, т.е. без отвода тепла. В данной статье показана необходимость учета отвода тепла из кабеля в окружающую среду и методика расчета неадиабатического нагрева.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = Q_{\text{внутр}} + Q_{\text{внешн}}, \quad (1)$$

где Q – джоулево тепло, выделяющееся в проводнике при протекании тока; $Q_{\text{внутр}}$ – количество теплоты, расходуемое на нагрев проводника; $Q_{\text{внешн}}$ – количество теплоты, отводимое от проводника в окружающую среду.

Для проводника длиной dx данное уравнение записывается следующим образом:

$$I^2 R t = c \rho S dx du - \alpha S \frac{du}{dx} dt \quad (2)$$

После преобразований для случая одномерной задачи получаем уравнение вида:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{q_v}{c \rho}, \quad (3)$$

где u – температура; t – время; q_v – количество теплоты, выделяемое внутренним источником теплоты в единице объема тела за единицу времени; c – удельная теплоемкость тела; ρ – плотность тела; α – коэффициент теплопроводности; S – площадь.

Так как дифференциальное уравнение получилось в частных производных второго порядка и по разным параметрам, то аналитически решить его в общем виде представляется затруднительным. Поэтому используют методы численного интегрирования. Например, метод конечных разностей.

Сущность метода заключается в том, что область непрерывного изменения аргумента (x и t) заменяется конечным (дискретным) множеством точек (узлов), называемых сеткой. Вместо функций непрерывного аргумента рассматриваются функции дискретного аргумента, определенные в узлах сетки и называемые сеточными функциями. Производные, входящие в дифференциальные уравнения, аппроксимируются при помощи соответствующих разностных соотношений. Дифференциальные уравнения при этом заменяются системой алгебраических уравнений (разностными уравнениями). Начальные и краевые условия тоже заменяются разностными начальными и краевыми условиями для сеточной функции.

Для уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t), \quad 0 < x < l, \quad 0 < t < T. \quad (4)$$

При этом должны быть заданы граничные условия: температуры по всей длине кабеля в момент времени, температуры по краям кабеля в любой момент времени. Бесконечно малые приращения заменяют конечными разностями, при этом частные производные заменяются алгебраическими выражениями вида:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\tau}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}}{h^2}, \quad (6)$$

где $u_{i,j}$ – температура в j -ой точке проводника в i -ый момент времени; τ – шаг разбиения по времени; h – шаг разбиения по длине проводника.

Проделав ряд преобразований, получаем уравнение вида:

$$u_{i+1,j+1} = au_{i,j} + bu_{i,j+1} + cu_{i,j+2} \quad (7)$$

Таблица 1.

	$u_{i+1,j+1}$			
$u_{i,j}$	$u_{i,j+1}$	$u_{i,j+2}$		

Заштрихованные ячейки в табл. 1 соответствуют начальным условиям.

При заданных начальных условиях, применяя формулу (7), заполняем всю таблицу. Обычно электротепловые процессы в кабелях рассчитываются как адиабатный процесс. Но для больших времен необходимо рассматривать неадиабатный процесс, иначе имеем погрешность 5-10% в сторону увеличения температур (рис. 1).

На рис. 2 приведен процесс изменения температур нагрева жил кабелей в динамике на примере нагрева кабеля током короткого замыкания.

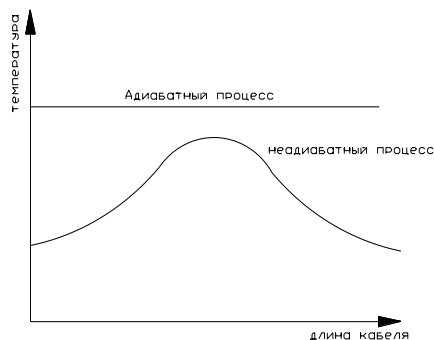


Рис. 1



Рис. 2

Аналогичные результаты получаются при исследовании поперечной теплопроводности. Таким образом, рассматривая неадиабатный процесс и применяя предложенную методику, можно получить более точные результаты по температурам нагрева жил кабеля. Это позволяет правильно рассчитывать кабели на термическую стойкость и невозгораемость, корректно выбирать сечения кабелей и уставки защитных устройств. При учете неадиабатического нагрева обосновывается экономия материала токоведущих жил кабелей на одну ступень по сечению.

В перспективе дальнейших исследований изложенная методика должна быть дополнена учетом прочих эффектов, возникающих в сетях напряжением 0,4 кВ: теплового спада тока и наличия электрической дуги.