

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОРОТКИХ ОТРЕЗКАХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

Канд. техн. наук, доц. ПАВЛОТ М.

Люблинский технический университет (Польша)

Явлениям, происходящим во время производства, передачи или использования электроэнергии, сопутствуют электротермические процессы. Их анализ требует интердисциплинарных знаний из областей электротехники, термотехники, термокинетики, электроэнергетики и заключается в поиске постоянного или изменяющегося во времени распределения температур в исследованных частях термокинетической системы: определении количества теплоты, передаваемой наружу, внутри либо между частями данной системы. Решение задач термокинетики требует определения внешних источников теплоты и факторов, влияющих на термическое состояние системы: солнечное излучение, технические источники теплоты (обогреватели, печи), свободное или вынужденное движение воздуха. Эти условия существенно влияют на распределение температур в отдельных частях системы. В реальных системах из-за физической и геометрической сложности, а также разнородности формы обмена теплоты определение температур является весьма сложной задачей, и только в простых моделях систем, в принципе идеализированных, возможно ее аналитическое решение.

Конвекционное рассеяние теплоты на единицу длины через внешнюю поверхность бесконечно длинного провода описывается законом Ньютона, который с учетом закона Джоуля имеет вид [1]:

$$\Delta P dt = cmd\vartheta + hs(\vartheta_{gr} - \vartheta_0)dt, \quad (1)$$

где ΔP – потери мощности, выделяемые в рассматриваемом объекте, Вт/м; t – время; c – удельная теплоемкость, Вт/(кг · град); m – масса рассматриваемой теплоты; ϑ_0 – окружающая температура; ϑ_{gr} – температура нагретого тела; h – коэффициент обмена теплоты, Вт/(м² · град); s – поверхность, эмитирующая теплоту телом с температурой ϑ_{gr} в окружающую среду с температурой ϑ_0 .

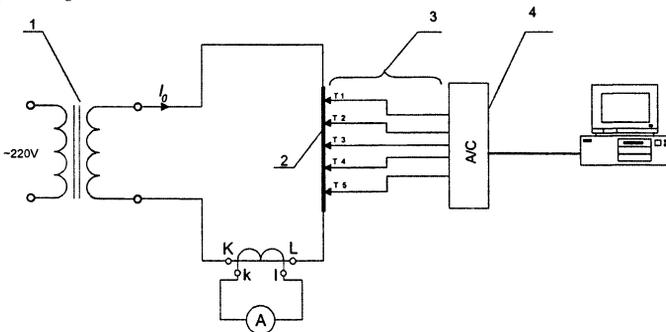


Рис. 1. Измерительная схема (расстояние между отдельными термоэлементами равно 375 мм): 1 – трансформатор; 2 – медный электропровод; 3 – термопары; 4 – аналого-цифровой преобразователь

В стабильных условиях, принимая нагрев рассматриваемого участка токовой цепи до установившейся температуры ϑ_{gr} , $d\vartheta/dt = 0$, уравнение (1) будет

$$\Delta P = hs(\vartheta_{gr} - \vartheta_0). \quad (2)$$

Для аппаратурной токовой цепи потери мощности ΔP являются потерями на резистанции. Если при нагреве током I температура токовой цепи достигает граничной температуры ϑ_{max} , при которой резистанция цепи равняется R_g , то уравнение (2) можно записать следующим образом:

$$I^2 R_g = hs(\vartheta_{max} - \vartheta_0), \quad (3)$$

откуда допустимый ток нагрузки

$$I = \sqrt{\frac{hs}{R_g}} \sqrt{\vartheta_{max} - \vartheta_0}, \quad (4)$$

в общем случае:

$$h = f_1(\vartheta) = \text{var}; \quad R_g = f_2(\vartheta) = \text{var},$$

что значительно осложняет практическое использование зависимости (4). Эта зависимость позволяет определить приросты фиксированных температур для электропроводов, предполагая их бесконечную длину (табл. 1).

Таблица 1

Приросты установившихся температур,
измеряемых на равных расстояниях электропроводов

I, A	$\Delta\vartheta_1, K$	$\Delta\vartheta_2, K$	$\Delta\vartheta_3, K$	$\Delta\vartheta_4, K$	$\Delta\vartheta_5, K$
Медный электропровод сечением 16 мм ²					
80	11,4	14,6	20	14,7	9,6
90	11,2	18,4	22,2	17	11,2
100	14,6	19	27,7	—	12,6
120	21,8	28,2	41,4	31,2	18,4
140	29,2	40	58,6	43,8	25,6
160	37,8	52,6	75,4	57,4	32,6
180	48,4	66,2	95	75	42,4
200	58,2	83,6	124	96	50,4
220	63,4	105,6	153,6	120,2	65,8
Медный электропровод сечением 25 мм ²					
100	10,2	17,2	17,6	16,5	11,2
120	14,4	24,2	25,4	24,2	15,4
140	19,8	33,6	34,9	33	20,4
160	23,8	41,7	43,6	41,7	26
180	29,8	54,6	57,2	53,8	31,8
200	36,6	66	70	65	38,8
220	46,2	82,4	86,2	78,8	48,6
240	55,2	100,8	104,2	96,2	59,8
260	64,5	122	130,8	118	71
280	75,4	137	147,2	134,6	81,8

Цель работы – определение установившихся температур для проводов с небольшими длинами, для которых нельзя пренебречь влиянием граничных условий на величину прироста температуры. В исследованиях мы попытались проанализировать распределение прироста температур на полтораметровом отрезке медных проводов с сечениями 16 и 25 мм² (рис. 2). Их подсоединение к источнику тока осуществлялось проводами со значительно большим сечением. Это должно было привести, кроме конвекционной отдачи теплоты с боковой поверхности провода, к осевой передаче теплоты, обусловленной разницей температур исследуемого отрезка медного электропровода и проводов, подводящих ток. Приросты фиксированных температур измерялись в месте контакта проводов исследуемого и питающего (пункты 1 и 5), в геометрическом центре исследуемого провода (пункт 3), а также между пунктами 1–3 и 3–5 (пункты 2 и 4) (рис. 3).

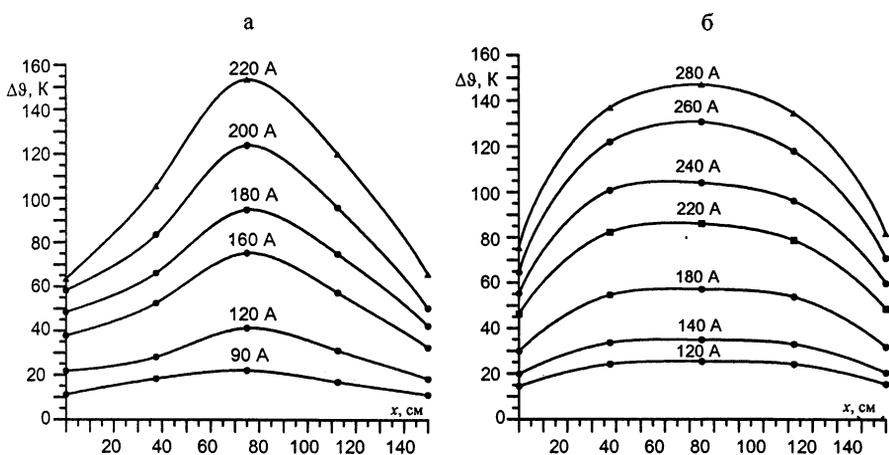


Рис. 2. Распределение приростов температур для разных величин токов нагрузки медных электропроводов в сечениях: а – 16 мм²; б – 25 мм²

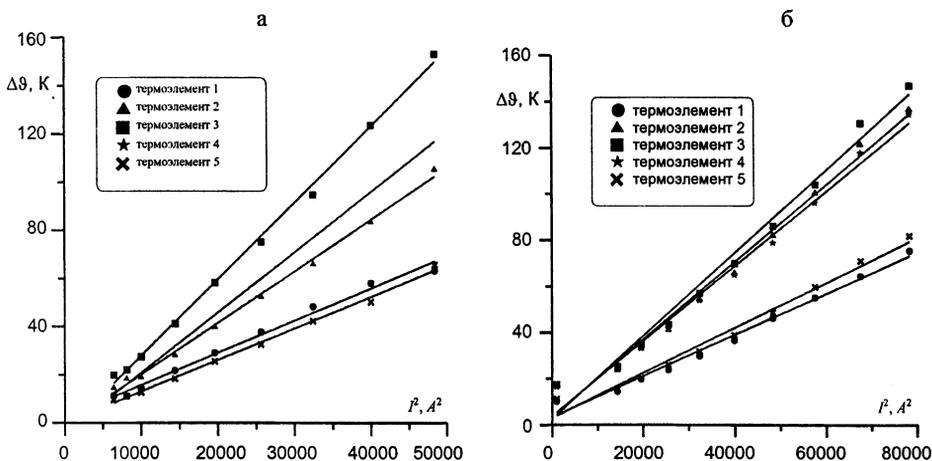


Рис. 3. Зависимость прироста температуры от квадрата тока нагрузки для отдельных измерительных пунктов: а – для медного электропровода сечением 16 мм²; б – 25 мм²

Согласно зависимости (2) прирост установившейся температуры в разных точках исследованных отрезков электропроводов должен быть одинаков. Анализируя величины приростов установившихся температур, можно отметить закономерность их распределения на длине, суть данной закономерности состоит в том, что максимальные величины приростов установившейся температуры наблюдаются в геометрическом центре исследуемого отрезка медного электропровода, а минимальные – на концах. Это указывает на дополнительный (кроме конвекционного) прием теплоты с провода. На основании того, что самая малая величина температуры наблюдается вблизи клемм, доводящих ток к исследованным отрезкам, можно заключить, что на отдачу теплоты влияет поперечный перенос. Для медного электропровода сечением 25 мм^2 эти различия меньше, чем для провода сечением 16 мм^2 , что связано с их разной нагрузкой.

Из (3) следует, что при конвекционном приеме теплоты зависимость прироста установившейся температуры прямо пропорциональна квадрату силы тока. Предположив, что измеряемая температура незначительно влияет на изменение резистанции, зависимость $\Delta\vartheta = f(I^2)$ должна быть представлена прямыми линиями с таким же углом наклона для разных точек. Если на отдачу теплоты влияет поперечный перенос теплоты, то этот наклон будет изменяться (рис. 3).

Результаты исследований указывают на необходимость принятия во внимание поперечного переноса теплоты при вычислениях нагрузки коротких отрезков электропроводов. Представленный случай касался разницы температур, вызванной разностью нагрузки исследуемого и питающего проводов. В таком случае кажется возможным увеличение допустимой нагрузки, не вызывая одновременного превышения допустимых температур. Если же нагрузка питающих проводов будет меньше или сравнима, то может наступить нагревание провода.

ЛИТЕРАТУРА

1. D u b i c k i В. Maszyny elektryczne: Inżyniera Elektryka Podręcznik. – Warszawa, 1947. – Т. 1.
2. Р а с ч е т нагрева плоских контактных соединений в установившихся и переходных режимах на основе одномерной модели температурного поля / Д. А. Герасимович, Ю. А. Климович, М. А. Мишина, Г. Г. Ежеников // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 5.
3. Ч у н и х и н А. А. Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. H e r i n g М. Termokinetyka dla elektryków. – Warszawa: WNT, 1980.

Поступила 1.09.2004