

**Кудряшов Дмитрий Петрович,**  
студент магистратуры 1-го года обучения;  
научный руководитель – **Грачева Елена Ивановна,**  
д-р техн. наук, профессор,  
кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань, Республика Татарстан, Россия

## РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ НАГРЕВАНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Одной из актуальных проблем энергосбережения является проблема снижения потерь в электрических сетях. Данная работа посвящена расчету потерь электроэнергии с учетом нагревания проводников.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, нагревание проводников, детерминированные методы, вероятностно-статистические методы.

**Dmitriy P. Kudryashov,**  
**Elena I. Gracheva,**  
Kazan State Power Engineering University,  
Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

## CALCULATION OF LOSS OF ELECTRIC ENERGY IN INDUSTRIAL NETWORKS TAKING INTO ACCOUNT HEATING OF CONDUCTORS

One of the urgent problems of energy saving is the problem of reducing losses in electrical networks. This work is devoted to the calculation of electricity losses taking into account the heating of conductors.

**Keywords:** electric power losses, heating of conductors, deterministic methods, probabilistic-statistical methods.

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных и затрагиваемых проблем энергетики является проблема экономии и разумного использования энергоресурсов. Актуальность этой проблемы связана как с тяжелой экономической ситуацией в стране, так и с существующими тенденциями падения уровней производства энергоресурсов.

Одной из важнейших задач развития современной промышленности Российской Федерации, одновременно с увеличением абсолютных объемов производства электроэнергии, является нарастание контроля за ее более разумным использованием. Экономия электроэнергии (ЭЭ) и сокращение расхода на ее передачу по электрическим распределительным сетям имеет важнейшее значение для энергетики страны.

Предметом исследования являются системы электроснабжения объектов промышленного типа, рассчитанные на преобразование (трансформацию) и передачу электроэнергии для ее рационального использования потребителями.

Экспериментальный, расчетный, а также другие способы нахождения и определения потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий определяются двумя большими подгруппами: детерминированный и вероятностно-статистический методы, различающиеся, во-первых, недостаточной информацией, во-вторых, – количеством принятых допущений.

Рассмотрим детерминированные методы. Их можно разделить на:

- метод расчета по данным об индивидуальной конфигурации графиков нагрузки и графического интегрирования;
- метод среднеквадратичных параметров режима;
- методы расчета потерь электроэнергии по времени наибольших потерь, потерь активной и реактивной мощности, по методу  $2\tau$ ;
- методы эквивалентных проводимостей и эквивалентного сопротивления, а также метод расчета потерь в промышленной сети с учетом нагрева. Последние рассмотрим более подробно.

Без сомнения, нагрузочные потери активной мощности во всяком элементе оборудования сети можно вычислить по следующему выражению:

$$P_{\text{пот}} = 3I^2 \cdot R, \quad (1)$$

где  $R$  и  $I$  – эквивалентное сопротивление и ток рассматриваемого элемента, соответственно.

Потери электроэнергии  $\Delta W$  наряду с этим определяются по выражению:

$$\Delta W = P_{nom} \cdot T, \quad (2)$$

где  $T$  – время расчетного периода.

Заведомо известно, что омическое сопротивление проводника определенно зависит от температуры [2; 3]:

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha(\theta_{окр} + \theta_n)], \quad (3)$$

где  $R_0$  – сопротивление линии при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  – коэффициент увеличения сопротивления;  $\theta_{окр}$  – температура помещения цехов;  $\theta_n$  – превышение температуры линии над температурой помещения цеха (перегревание проводника).

Однако температура при расчетах потерь энергии фактически не учитывается, ввиду того, что точное определение температур обычно является довольно сложной задачей.

Так как интервал изменения температуры кабеля или провода, зависящий от изменения тока, обычно составляет чуть больше половины интервала его рабочих температур, то в этом интервале сопротивление изменяется приблизительно на 25% [4; 5].

Определим производную потерь по току

$$\frac{dP_{nom}}{dI} = 6IR + 3I^2 \frac{dR}{dI}. \quad (4)$$

Введем переменные  $w$  и  $b$  и вычислим их значения из формул

$$w = \frac{\alpha R_0}{U^2}; \quad (5)$$

$$b = \frac{1}{\alpha} + \theta_{окр}, \quad (6)$$

где  $U$  – напряжение.

Тогда средние потери мощности можно представить выражением

$$P_{nom} = \frac{1}{t_2 - t_1} w \int_{t_1}^{t_2} S_2(b + \theta_n) dt. \quad (7)$$

Перегрев провода или кабеля обуславливается нагрузкой. Если не принимать в расчет скорость изменения температуры помещений цехов, то справедливо соотношение [1]:

$$S^2 w(b + \theta_n) = C \frac{d\theta_n}{dt} + A_m \theta_n, \quad (8)$$

где  $C$  – теплоемкость проводника сети;  $A_T$  – коэффициент теплоотдачи.

В конечном итоге получим, что потери можно вычислить посредством решения уравнения (8) и интегрирования (7). В целом решение может быть получено с использованием численных методов. Если же мощность и температура помещения цехов не изменяются, то выражение (7) можно преобразовать к наиболее удобному выражению:

$$P_{\text{пот}} = S^2 w \left( b + \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \theta_n dt \right) = S^2 w (b + \theta_{n,\text{cp}}), \quad (9)$$

где  $\theta_{n,\text{cp}}$  – средний перегрев в расчетном диапазоне.

Таким образом, в работе показана необходимость учета нагрева линий систем внутриводского электроснабжения, а также обоснована высокая точность вычисления потерь электроэнергии по вышеуказанной причине.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братин С.М. *Электрический и тепловой расчет кабеля* / С.М. Братин. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 328 с.
2. Осика Л.К. *Коммерческий и технический учет электрической энергии на оптовом и розничном рынках: Теория и практические рекомендации* / Л.К. Осика. – СПб.: Политехника, 2005. – 360 с.
3. Омельченко В.Т. *Теория процессов на контактах* / В.Т. Омельченко. – Харьков: Вища школа, 1979. – 128 с.
4. Потребич А.А. *Особенности нормирования потерь электроэнергии при снижении потребления электроэнергии* / А.А. Потребич, Д.В. Коваленко, В.И. Ткачев, Г.Н. Катренко, А.Е. Катковский // *Энергетик*. – 2010. – № 5. – С. 38-39.
5. Холмский В.Г. *Расчет и оптимизация режимов электрических сетей* / В.Г. Холмский. – М.: Высш. шк., 1975. – 280 с.