

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО НАГРЕВУ

Погребняк Н.Н.

Донецкий государственный технический университет

nnp@elf.dgtu.donetsk.ua

The engineering method of definition of estimated electrical loads on heat of industrial electrical networks, which providing increase of precision without extension of calculations laboriousness, is substantiated.

Эффективность работы промышленного предприятия в значительной мере зависит от функциональной надежности системы его электроснабжения. В основе проекта системы электроснабжения лежит расчет электрических нагрузок. Правильное определение расчетных нагрузок (РН) дает возможность обеспечить электромагнитную совместимость электроприемников (ЭП), избежать недопустимых перегревов элементов электрической сети, а также излишних капиталовложений.

С 1992 г. расчет нагрузок выполняется в соответствии с модифицированным статистическим методом (МСМ) [1], который положен в основу действующих Указаний [2]. Введение МСМ взамен метода упорядоченных диаграмм позволило избежать значительного завышения расчетных нагрузок за счет коррекции среднего значения групповой нагрузки. Однако МСМ унаследовал недостатки статистического метода. В качестве расчетной нагрузки в МСМ принимается расчетный максимум кумулятивного процесса – осредненного на 30-минутном интервале группового графика нагрузки, который не адекватен процессу изменения температуры нагрева проводника. Положению статистического метода о нормальном законе распределения кумулятивного графика противоречит допущение о наличии корреляционной связи между его средним значением и стандартом. Выражения МСМ (13) и (14) из [1] дают бесконечное значение коэффициента K_p расчетной нагрузки при эффективном числе ЭП $n_3 = 1$. По этой причине кривые для определения K_p в [2], показанные на рис. 1, 2 тонкими линиями, имеют необъяснимые перегибы, хотя с ростом эффективного числа ЭП значение коэффициента расчетной нагрузки должно монотонно уменьшаться. Кроме того, действующие Указания [2] ориентированы на максимальные расчетные значения коэффициента k_n использования, приведенные в справочниках, хотя в практике проектирования в качестве исходных данных могут быть использованы и средние значения. В связи с отмеченными недостатками требуется разработка более достоверного метода расчета нагрузок.

Точно¹ расчетная нагрузка может быть определена имитационным методом [3, 4] путем решения уравнения нагрева проводника. Статистическое решение этой задачи позволило выявить закономерности и предложить инженерный метод греющих доз (ГД). Погрешность этого метода не превышает 3,5%, в то время как при малых значениях коэффициента использования и эффективного числа ЭП погрешность действующих Указаний достигает 50%.

При введении в практику проектирования метода ГД могут возникнуть трудности в связи с тем, что алгоритм метода ГД значительно отличается от сходных между собой алгоритмов применявшегося ранее метода упорядоченных диаграмм и действующих Указаний (МСМ). Поэтому поставлена цель адаптировать метод ГД к существующей практике.

В теории электрических нагрузок принято допущение о том, что групповая нагрузка характеризуется экспоненциальной корреляционной функцией [5-7]

$$K(\tau) = DP \cdot e^{-\alpha|\tau|},$$

где DP - дисперсия группового графика электрической нагрузки;

α - параметр корреляционной функции.

Активная расчетная нагрузка по нагреву проводника с постоянной времени нагрева T согласно методу ГД для групповой нагрузки со средним P_c и эффективным P_3 значениями, коэффициентом K_ϕ формы определяется по предложенному в [4] выражению

$$P_p = \sqrt{P_3^2 + (1,9K_\phi - 0,3) \sqrt{\frac{2DP^2}{1 + 2\alpha T} + \frac{4P_c^2 DP}{1 + \alpha T}}}. \quad (1)$$

Отсюда находим коэффициент максимума

¹ Погрешность определения расчетных нагрузок, обусловленная неточностью исходных данных, не рассматривается.

$$K_M = \frac{P_p}{P_c} = \sqrt{K_\Phi^2 + (1,9K_\Phi - 0,3) \sqrt{\left[\frac{2(K_\Phi^2 - 1)}{1 + 2\alpha T} + \frac{4}{1 + \alpha T} \right] (K_\Phi^2 - 1)}} \quad (2)$$

Значение постоянной времени нагрева может быть принято, как и в действующих Указаниях [2] 10 мин для проводов и кабелей в сетях напряжением до 1 кВ, и 2,5 ч – для шинпроводов. С ростом числа ЭП, формирующих групповой график электрической нагрузки, корреляционные связи между ординатами графика затухают быстрее, т.е. величина параметра корреляционной функции увеличивается. Поэтому с запасом можно принять $\alpha = 0,4 \text{ мин}^{-1}$ (как для индивидуальной нагрузки с коэффициентом включения 0,5 и средней длительностью цикла 10 мин).

Для определения коэффициента формы группового графика электрической нагрузки воспользуемся выражением (3-30) из [5]

$$K_\Phi = \sqrt{1 + \frac{k_\Phi^2 - 1}{n_3}},$$

где k_Φ - коэффициент формы индивидуального графика нагрузки. Для модели индивидуальной нагрузки в виде импульсного процесса, характеризуемого коэффициентом загрузки k_3 и коэффициентом использования $k_{и}$ коэффициент формы $k_\Phi = \sqrt{k_3/k_{и}}$. Поскольку группа реальных ЭП заменяется группой n_3 ЭП с одинаковыми номинальными нагрузками и режимами работы, $k_{и} = K_{и}$. Таким образом, выражение для коэффициента формы групповой нагрузки имеет вид

$$K_\Phi = \sqrt{1 + \frac{k_3 - K_{и}}{K_{и} n_3}} \quad (3)$$

Значение коэффициента загрузки, как и в методе упорядоченных диаграмм [5], с запасом принимаем равным 0,8.

Поскольку среднее значение групповой нагрузки – случайная величина, при определении расчетной нагрузки должно использоваться ее максимальное $P_{c \text{ max}}$ расчетное значение. Групповая нагрузка формируется большим количеством ЭП, следовательно, принимая гипотезу о нормальном распределении ее среднего значения и по заданным средним значениям $k_{и \text{ ср}}$ и стандартам $\sigma_{кн}$ коэффициентов использования индивидуальных графиков нагрузки определим максимальное расчетное значение группового коэффициента использования

$$K_{и \text{ max}} = \frac{P_{c \text{ max}}}{\sum P_n} = \frac{\sum k_{и \text{ ср}} P_n + \sqrt{3} \sqrt{\sum \sigma_{кн}^2 P_n^2}}{\sum P_n} = k_{и \text{ ср}} + \sqrt{3} \frac{\sigma_{кн}}{\sqrt{n_3}} \quad (4)$$

В качестве исходных данных для расчета нагрузок могут быть заданы приводимые в справочниках максимальные $k_{и \text{ max}}$ (задача I типа) или средние значения (задача II типа) коэффициентов использования. Воспользуемся определенным экспериментальным путем соотношением между средним и максимальным расчетным значением индивидуального коэффициента использования [1]: $k_{и \text{ ср}} = 0,8 k_{и \text{ max}}$ и определим стандарт $\sigma_{кн}$ индивидуального коэффициента использования: если задан $k_{и \text{ max}}$, то $\sigma_{кн} = 0,2 k_{и \text{ max}} / \sqrt{3}$, а через среднее значение $\sigma_{кн} = 0,25 k_{и \text{ ср}} / \sqrt{3}$. Тогда максимальное расчетное значение группового коэффициента использования соответственно для задач обоих типов равно:

$$K_{и \text{ max}}^I = k_{и \text{ max}} \left(0,8 + 0,2 / \sqrt{n_3} \right); \quad K_{и \text{ max}}^{II} = k_{и \text{ ср}} \left(1 + 0,25 / \sqrt{n_3} \right) \quad (5)$$

Расчетное максимальное значение средней нагрузки

$$P_{c \text{ max}}^I = k_{и \text{ max}} \left(0,8 + 0,2 / \sqrt{n_3} \right) \sum P_n = \left(0,8 + 0,2 / \sqrt{n_3} \right) \sum k_{и \text{ max}} P_n; \quad (6)$$

$$P_{c \text{ max}}^{II} = k_{и \text{ ср}} \left(1 + 0,25 / \sqrt{n_3} \right) \sum P_n = \left(1 + 0,25 / \sqrt{n_3} \right) \sum k_{и \text{ ср}} P_n \quad (7)$$

При увеличении числа ЭП в обоих случаях расчетные максимальные значения средней нагрузки стремятся к ее среднему значению.

Активная расчетная нагрузка по нагреву для задач I и II типов

$$P_p^I = K_p^I \sum k_{и \text{ max}} P_n; \quad P_p^{II} = K_p^{II} \sum k_{и \text{ ср}} P_n, \quad (8)$$

где K_p^I, K_p^{II} - коэффициенты расчетной нагрузки, определяемые по выражениям

$$K_p^I = K_M(0,8 + 0,2/\sqrt{n_3}); \quad K_p^{II} = K_M(1 + 0,25/\sqrt{n_3}). \quad (9)$$

Коэффициенты расчетной нагрузки объединяют коэффициент максимума и множитель, корректирующий максимальное расчетное значение среднего значения групповой нагрузки в зависимости от эффективного числа ЭП.

Выражения (2), (3), (9) позволяют рассчитать зависимости коэффициента расчетной нагрузки от эффективного числа ЭП при разных значениях группового коэффициента использования в соответствии с методом ГД для различных значений постоянной времени нагрева проводника и параметра корреляционной функции групповой нагрузки. С достаточной для практики точностью можно ограничиться четырьмя группами кривых: K_p^I и K_p^{II} при двух значениях постоянной времени нагрева - 10 мин (для проводов и кабелей) и 2,5 ч (для шинопроводов). Кривые K_p^I и K_p^{II} при $T = 10$ мин показаны соответственно на рис. 1 и 2 утолщенными линиями.

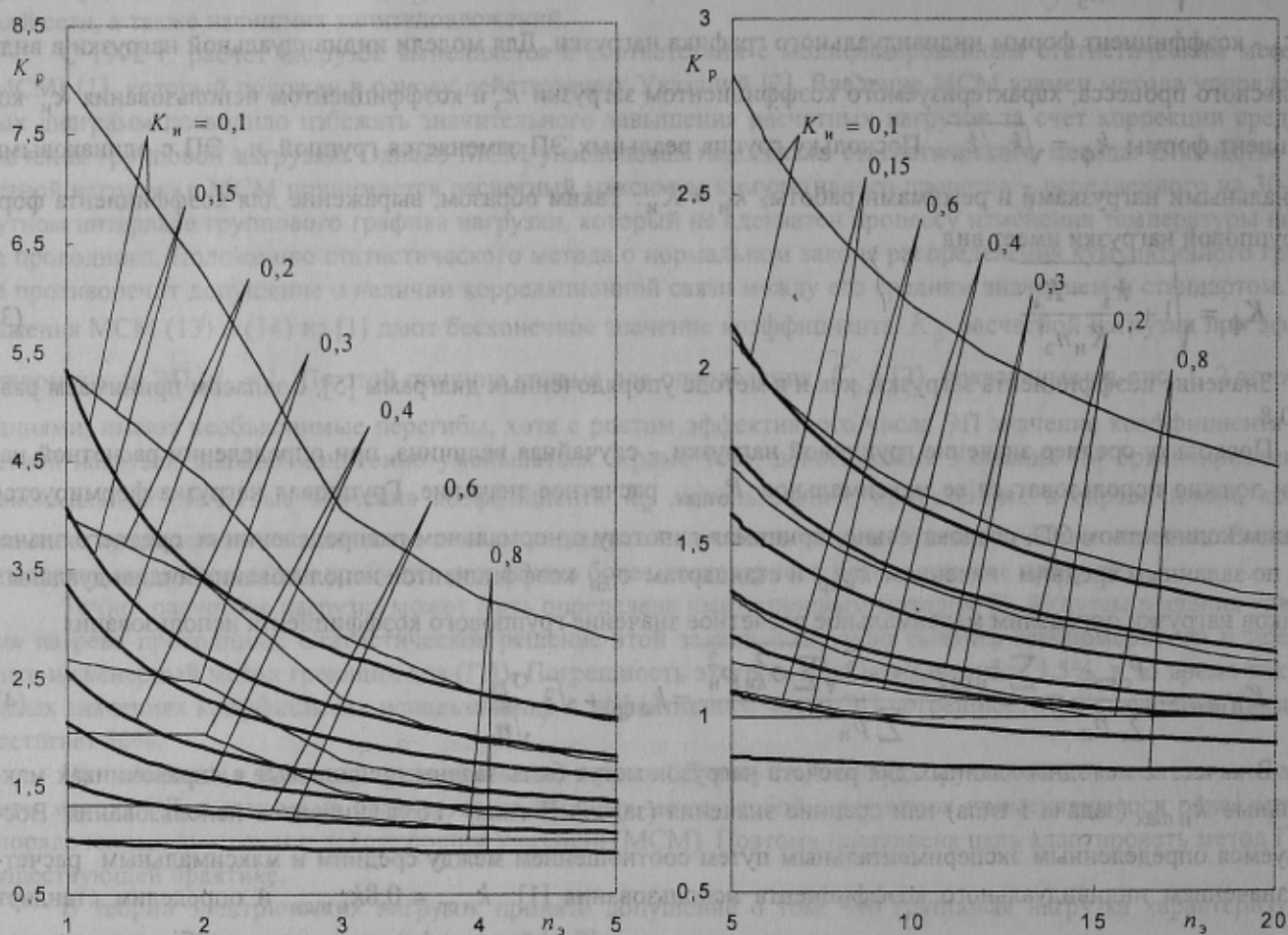


Рисунок 1 – Зависимости коэффициента расчетной нагрузки K_p^I от эффективного числа ЭП

В действующих Указаниях зависимости коэффициента расчетной нагрузки от эффективного числа ЭП задаются графически или в виде таблиц, что неудобно при выполнении расчетов на ЭВМ. Для устранения этого недостатка в разрабатываемых Указаниях будут приведены формулы для определения K_p наряду с графиками и таблицами.

Выводы.

1. Действующие Указания по расчету электрических нагрузок не обеспечивают требуемую точность. Их целесообразно заменить новыми – на основе разработанных инженерных методов.
2. Полученные зависимости для коэффициента расчетной нагрузки при минимальных затратах позволяют ввести в проектную практику новые Указания по расчету нагрузок.

Автор благодарит д.т.н. профессора Э.Г. Куренного за оказанную помощь в работе.

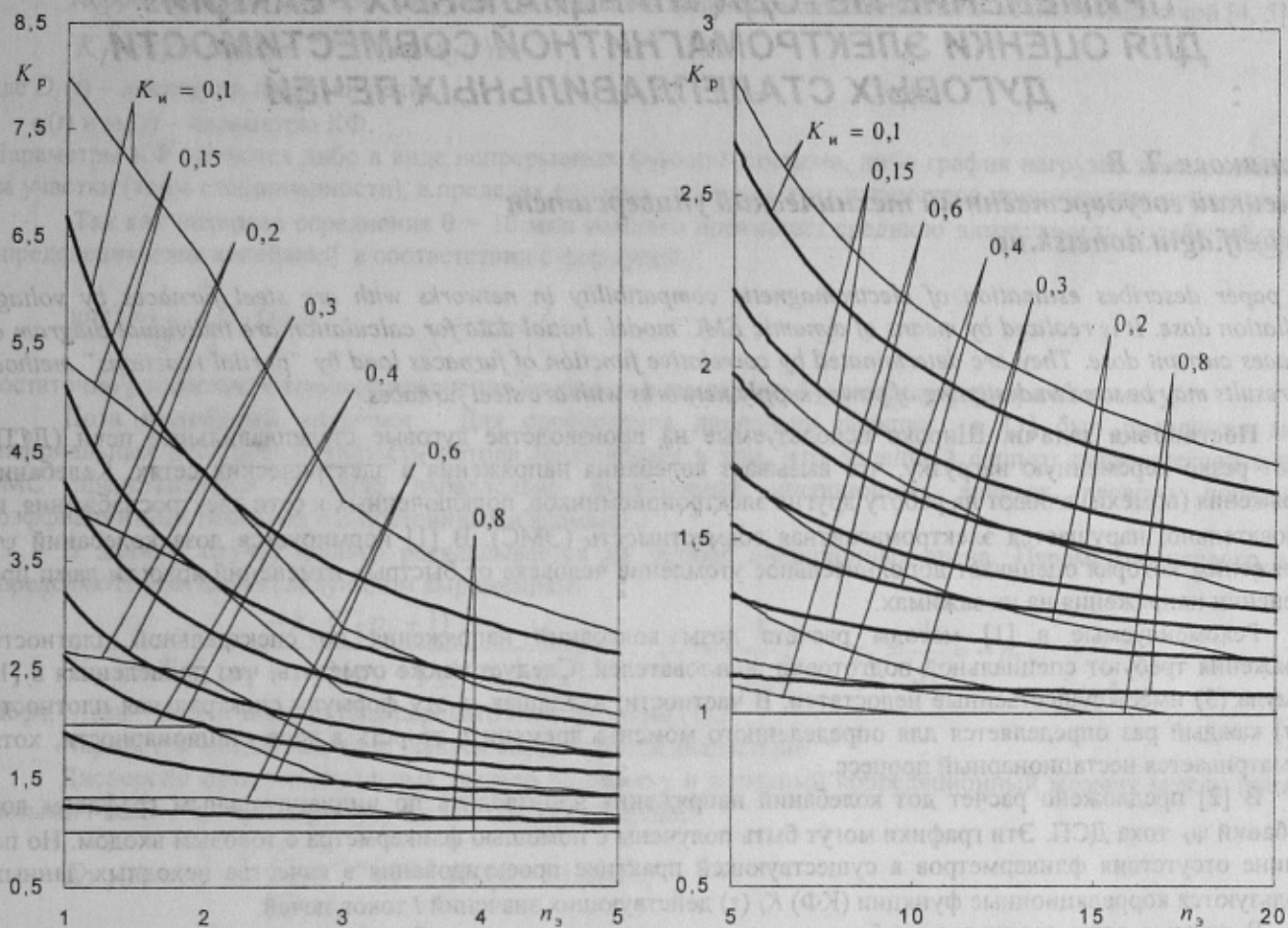


Рисунок 2 – Зависимости коэффициента расчетной нагрузки K_p^{II} от эффективного числа ЭП

ЛИТЕРАТУРА

1. Жохов Б.Д. Анализ причин завышения расчетных нагрузок и возможной их коррекции // Промышленная энергетика. - 1989. - №7. - С.17-21.
2. Руководящий технический материал. Указания по расчету электрических нагрузок: РТМ 36.18.32.4-92: Утв. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект: Введен с 01.01.93 / Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. – № 6-7. – С. 4-27.
3. Куренный Э.Г., Дмитриева Е.Н., Погребняк Н.Н. Совершенствование методов расчета электрических нагрузок // Промышленная электроэнергетика та електротехніка. Інформаційний збірник. - К.: ТОВ «ЕТІН». - 1997. - випуск 4. – С. 14-28.
4. Погребняк Н.Н. Статистические решения нелинейных задач теории электрических нагрузок сетей электроснабжения промышленных предприятий. // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия: электротехника и энергетика, выпуск 4 - Донецк: ДонГТУ. - 1999. - С. 173-176.
5. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн, Б.С. Мешель. - Л.: Энергия, 1971. - 264 с.
6. Шидловский А.К., Куренный Э.Г. Введение в статистическую динамику систем электроснабжения. - К.: Наукова думка, 1984. - 271 с.
7. Жежеленко И.В., Степанов В.П. Развитие методов расчета электрических нагрузок // Электричество. - 1993. - №2. - С. 1-9.