

УДК 621.3.016.3

Ю.И. Казанцев, доц., канд. техн. наук, А.Г. Младаховская

*Кировоградский национальный технический университет***Метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском однородной продукции**

В статье показан метод расчета электрических нагрузок по удельным нормам расхода электроэнергии с использованием нестационарной модели графиков электрических нагрузок.
электрические нагрузки, однородная продукция, предприятие

Растущее общественное производство предъявляет в настоящее время повышенные требования к точности оценок эффективности вариантов народно-хозяйственного плана, что, в частности, требует повышенной точности прогнозирования ожидаемых электрических нагрузок и расхода электроэнергии для проектируемых предприятий.

Исследования в этой области заложены в работах Каялова Г.М., Волобринского С.Д., Гофмана И.В., Ястребова П.П., Авилова-Карнаухова Б.Н., и др.

Ныне существующий метод упорядоченных диаграмм Г.М. Каялова основан на учете и исследовании характеристик отдельных электроприемников.

$$P_P = K_{И} \cdot K_M \cdot P_H = K_M \cdot P_{CP}, \quad (1)$$

где $K_{И}$ – коэффициент использования;

K_M – коэффициент максимума;

P_H – номинальная мощность электроприемников;

P_{CP} – средняя мощность электроприемников.

Однако в «Указаниях» по расчёту нагрузок рекомендуется определять расчётные нагрузки по удельной плотности нагрузок на м² площади цеха или по удельному расходу электроэнергии и только потом по методу упорядоченных диаграмм. Но эти методы до сих пор не разработаны. Поэтому целесообразно, там где это возможно, производить определение расчетных нагрузок по прогнозируемому удельному расходу электроэнергии, так как в начальной стадии проектирования известна, как правило, лишь планируемая производительность предприятия.

В настоящей работе предлагается метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском продукции, для которых получены научно-обоснованные удельные нормы расхода электроэнергии [1, 2, 3].

Удельные нормы расхода электроэнергии можно получить, например, с помощью основной электрической характеристики впервые предложенной проф. Б.Н. Авилковым-Карнауховым для угольных шахт.

$$\frac{\omega}{\rho_V} = f(\alpha), \quad (2)$$

где ω – удельный расход электроэнергии;

$\rho_v = \frac{P_v}{A_0}$ – удельная устанавливаемая мощность;

A_0 – проектная производительность;

$\alpha = \frac{A}{A_0}$ – производительность в относительных единицах;

A – выпуск продукции.

В общем виде уравнение (2) имеет вид гиперболического полинома:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_p \cdot x^p,$$

где $y = \frac{\omega}{\rho_v}$, $x = \frac{1}{A}$.

Располагая удельными нормами, можно производить оценку расхода электрической энергии или средней мощности за расчетный период. Для рассматриваемых потребителей таким периодом могут быть сутки, месяц или год. Как показали исследования нагрузок комбината строительных материалов (КСМ) и его отдельных цехов, два из которых имеют трехсменный, а один двухсменный режимы работы, процесс изменения нагрузок на суточных и тем более месячных интервалах времени является нестационарным.

Для определения расчётной нагрузки по пику перегрева нет необходимости учитывать свойства нагрузок в отдельные моменты времени, а достаточно лишь выявить результат суммарного воздействия нагрузок на электрическую сеть (например, максимальный нагрев проводников) за расчётный цикл времени. В связи с этим для решения поставленной задачи целесообразно ввести некоторые средние по времени на расчетном интервале T характеристики нестационарных случайных процессов изменения нагрузок [4]:

1. Среднее на интервале T значение нагрузки (аналог оценки математического ожидания для стационарных процессов):

$$m_{PT} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt, \quad (3)$$

где $P(t)$ – реализация нестационарного случайного процесса изменения активной мощности за время T .

Среднее значение нагрузки за период T в условиях эксплуатации определяется по показаниям счетчиков электроэнергии; в условиях же проектирования или прогнозирования – по удельным нормам и планируемой производительности.

2. Средняя на интервале T дисперсия графика нагрузки (аналог независимой от времени дисперсии стационарного процесса):

$$D_{PT} = \frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt - m_{PT}^2. \quad (4)$$

3. Осреднённая на интервале T одномерная плотность распределения или гистограмма графика нагрузки:

$$f_T(P) = \frac{1}{T} \int_0^T f(P, t) dt, \quad (5)$$

где $f(P, t)$ – одномерная плотность распределения, зависящая для нестационарных процессов от параметра t .

Необходимо отметить, что указанные характеристики нестационарных процессов изменения нагрузок определяются по одной реализации, поэтому они зависят от T и являются случайными величинами (m_{PT} , D_{PT}) или случайными функциями $f_T(P)$.

В этом случае важным является вопрос о соответствии этих, определенных по одной реализации, характеристик истинным характеристикам, определённым по ансамблю реализаций, т.е. вопрос об эргодических свойствах нестационарных процессов изменения нагрузок.

Для решения этого вопроса можно использовать эргодические теоремы Н.А. Железнова [5] сформулированные и доказанные для одного класса нестационарных процессов.

Сущность теорем состоит в том, что при выполнении некоторых условий, налагающих ограничения на свойства изучаемых нестационарных процессов, средние по времени характеристики (3), (4) при больших T сходятся с вероятностью единица к соответствующим характеристикам нагрузок, т.е. к неслучайным величинам. Первое условие, необходимое для существования этих эргодических теорем, заключается в ограниченности дисперсии и непрерывности в среднеквадратичном рассматриваемых случайных процессов, что всегда выполняется для графиков электрических нагрузок. Второе условие относится к затуханию корреляционных связей во времени и состоит в том, что период осреднения T должен значительно превышать интервал корреляции, т.е. интервал существенного ослабления корреляционных связей.

Исследования показали, что в корреляционных функциях графиков нагрузки различных потребителей, помимо затухающей аperiodической, имеются периодические слагающие, обусловленные суточной, недельной и сезонной цикличностью электропотребления. Поэтому для эффективного использования эргодических теорем Н.А. Железнова при анализе нагрузок дополнительно к условию $T \gg \tau_0$ (τ_0 – интервал затухания аperiodической слагающей) необходимо выполнение условия кратности интервала T периодам периодических слагающих. В корреляционных функциях графиков нагрузки комбината строительных материалов помимо аperiodической слагающей, затухающей за интервал, равный нескольким часам, имеются две периодические слагающие с восьмичасовым и суточным периодами (рис. 1). Первая обусловлена сменной, вторая суточной цикличностью электропотребления. Сезонная цикличность оказалась незначительной.

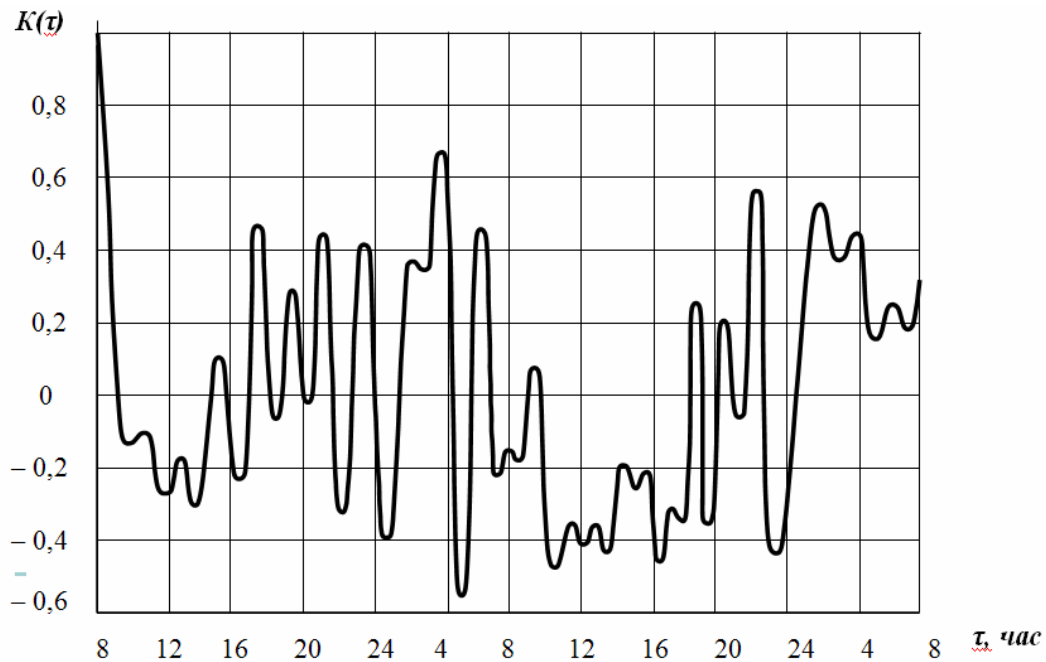


Рисунок 1 – Корреляционная функция изменения получасовых нагрузок цеха №1

Таким образом, можно считать, что для данного потребителя месячный интервал удовлетворяет необходимым условиям эргодических теорем. Полученные с помощью теорем Н.А. Железнова выводы об эргодических свойствах нестационарных процессов изменения нагрузок относительно характеристик (3), (4) распространяемы, очевидно, и на характеристику (5). Действительно, если период T удовлетворяет вышеуказанным условиям и все возможные свойства процесса формирования нагрузок проявились за этот период неоднократно, то можно ожидать, что всегда найдется такое T , для которого гистограмма графика нагрузки при дальнейшем увеличении T изменится незначительно. Другими словами, последовательность случайных функций $f_T(P)$, которая имеет место для различных значений T , сходится с вероятностью единица к пределу $\bar{f}_T(P)$, т.е. для любых $\xi > 0$ и $\nu > 0$ всегда найдется такое T , что при любых t вероятность совместного осуществления K неравенств:

$$|f_{T+t_k}(P) - \bar{f}(P)| < \xi, \quad t_k = t_1, t_2, \dots, t_k;$$

будет больше, чем $1 - \nu$. При этом

$$\lim_{T \rightarrow \infty} (P) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(P, t) dt = \bar{f}(P).$$

С помощью осредненных по времени статистических характеристик (3), (4), (5) вычисляемых по одной реализации, нестационарные нагрузки можно сопоставить с эквивалентными в среднем однородными по времени стационарными случайными процессами. Это позволяет моделировать нагрузки на длительных интервалах времени случайными величинами, статистические характеристики и законы распределения которых имеют смысл осредненных по времени характеристик нестационарных случайных процессов. Зная эти характеристики и законы распределения, отнесенные к расчетному периоду времени нетрудно определить расчетную максимальную нагрузку с оценкой её доверительной вероятности. Очевидно, что при этом главным является

отыскание осредненных на интервале T одномерных законов распределения графиков нагрузки (5).

Характерной особенностью этих осредненных на интервале T одномерных законов распределения (гистограмм) является наличие двух вершин. Это объясняется наложением на установившейся режим нормальной работы (правая часть гистограммы) режима с пониженным электропотреблением, обусловленного влиянием различного рода неслучайных и случайных факторов (снижение нагрузки в ночное время, выходные и праздничные дни, перебои в работе по различным случайным причинам). Другими словами режим изменения электрических нагрузок в течении длительного времени T можно считать состоящим из двух более однородных режимов – установившегося режима наиболее загруженных смен и режима с пониженным электропотреблением что и обуславливает наличие двух вершин в гистограммах графиков нагрузки. Гистограммы цехов 1, 2, 3 и комбината в целом здесь не приводятся. Двухмодальные распределения присущи всем цехам и комбинату в целом. Наиболее выражена двухмодальность для гистограммы цеха №1 т.к. этот цех работает в 2,5 смены (технологическая линия по формовке продукции работает в 2 смены, а сушка и обжиг в 3 смены).

Следовательно можно сделать заключение, что одномерный закон распределения нагрузки на достаточно большом интервале T зависит в первую очередь не столько от отраслевого характера, сколько от режима работы потребителя.

Полученные гистограммы аппроксимируются кривой $f_T(P)$ представляющей сумму двух плотностей распределения:

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P), \quad (6)$$

где $f_{T1}(P)$, $f_{T2}(P)$ – осредненные на исследуемом интервале времени одномерные плотности распределения нагрузки в режиме пониженного электропотребления и режиме наиболее загруженных смен, соответственно.

Как показал анализ плотности распределения $f_{T1}(P)$ и $f_{T2}(P)$ для рассматриваемых гистограмм достаточно точно выравняются кривыми нормальной (Гауссовской) плотности, за исключением цеха №1 с двухсменным режимом работы для которого $f_{T2}(P)$ выравняется A – рядом Грама-Шарлье.

Для цеха №1

$$f_T(P) = f_{T1}(P) + f_{T2}(P) = f_{T1}(P) + f_{TH}(P) - \frac{r_3}{6} \cdot f_{TH}^{(3)}(P) + \frac{r_4 - 3}{24} \cdot f_{TH}^{(4)}(P); \quad (7)$$

$$\text{где } f_{T1}(P) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{PT1}}} \cdot e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2 \cdot \sigma_{PT1}^2}}, \quad f_{TH}(P) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{PT2}}} \cdot e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2 \cdot \sigma_{PT2}^2}},$$

$f_{TH}^{(3)}(P)$, $f_{TH}^{(4)}(P)$ – третья и четвертая производные $f_{TH}(P)$, соответственно,

$r_3 = -0,03$ – третий основной момент;

$r_4 = 4,73$ – четвертый основной момент.

Для цехов №2 и №3, а также в целом по комбинату:

$$f_T(P) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{PT1}}} \cdot e^{-\frac{(P-m_{PT1})^2}{2 \cdot \sigma_{PT1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{PT2}}} \cdot e^{-\frac{(P-m_{PT2})^2}{2 \cdot \sigma_{PT2}^2}}. \quad (8)$$

Параметры исследуемых гистограм приведены в таблице 1

Таблица 1 – Статистические характеристики гистограм КСМ

№ п/п	Наименование	$f_{T1}(P)$		$f_{T2}(P)$		$f_T(P)$		λ	K_{PM}	$K_{св}$
		p_{T1}	p_{T1}	p_{T2}	σ_{PT2}	m_{PT}	σ_{PT}			
1	Цех № 1	239	17	331	50	296	62	0,9	1,3	1,12
2	Цех № 2	240	52	328	22	293	57	1,0	1,2	1,12
3	Цех № 3	270	54	368	20	315	64	0,3	1,2	1,16
4	По КСМ	810	40	930	60	912	82	0,6	1,15	1,02

Правомерность принятой гипотезы о виде распределений подтверждена количественной оценкой с помощью критериев согласия Колмогорова (λ), значения которых также приведены в таблице 1.

На основании полученных законов распределения можно вычислить максимальную 30 – минутную нагрузку P_M при заданной доверительной вероятности, которая обычно принимается равной 0,95. С использованием (6), (7), (8) для исследуемого потребителя вычислены коэффициенты расчетного максимума K_{PM} .

$$K_{PM} = \frac{P_M}{m_{PT}}$$

Их значения приведены в таблице 1.

Полученные значения K_{PM} с учетом эргодических свойств нагрузки можно считать типовыми для предприятий данной отрасли промышленности.

Таким образом предлагаемый метод определения расчетных нагрузок сводится к следующему. Средняя нагрузка определяется по удельному расходу электроэнергии ω , определяемому с помощью энергетических характеристик (2), а коэффициент расчетного максимума K_{PM} с помощью нестационарной модели графиков электрических нагрузок:

$$P_p = K_{PM} \cdot P_{CP} = K_{PM} \cdot m_{PT} = K_{PM} \cdot \frac{\omega \cdot A_0}{T}, \text{ кВт} \quad (9)$$

Важное значение имеет связь между предлагаемым методом и методом упорядоченных диаграмм. Для выявления этой связи необходимо найти отношение средней мощности за длительный цикл времени m_{PT} и средней мощности за наиболее загруженную смену m_{PT2} . Отношение $\frac{m_{PT2}}{m_{PT}} = K_{св}$ для исследуемых потребителей приведены в таблице 1.

Полученные значения коэффициентов связи $K_{св}$ позволяют использовать при определении расчетных нагрузок по удельному расходу метод упорядоченных диаграмм. В этом случае по удельным нормам электропотребления находится значение средней нагрузки m_{PT} , определяется с помощью $K_{св}$ среднесменная нагрузка $P_{CM} = K_{св} \cdot m_{PT}$ и вычисляется коэффициент использования:

$$K_u = \frac{P_{CM}}{P_y}$$

где P_y – суммарная установленная мощность электроприемников по цеху или предприятию.

Далее известными способами с помощью метода упорядоченных диаграмм определяется коэффициент максимума K_M .

Выводы

1. Полученные с помощью нестационарной модели типовые значения коэффициента расчетного максимума позволяют производить оценку расчетной нагрузки для предприятий данной отрасли промышленности и метод их вывода для дальнейших исследований.

2. В отличие от метода упорядоченных диаграмм, положенного в основу указаний по расчету электрических нагрузок для указанных предприятий предлагается статистический метод, не требующий рассмотрения и учета характеристик режимов работы индивидуальных электроприемников. Расчетная нагрузка при этом определяется по данным о проектной производительности, удельным нормам электропотребления и типовым значениям коэффициента расчетного максимума для отдельных цехов и предприятия в целом.

Список литературы

1. Б.Н. Авилов–Карнаухов Нормирование электроэнергии для удельных шахт. Углетехиздат, М, 1963.
2. П.П. Ястребов. Использование и нормирование электроэнергии с процессах переработки хлебных культур. М, Колос, 1973.
3. Ю.И. Казанцев. Основная электрическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия СОАН СССР, 1970 №3.
4. Ольховский В.Я. Нестационарная модель и статистические характеристики электрических нагрузок. Сб. трудов Новосибирского электротехнического института. 1971.
5. Железнов Н.А. Некоторые вопросы теории информационных электрических систем. ЛКВВИА им. А.Ф.Можайского.1960.

Ю. Казанцев, А. Младаховская

Метод расчета электрических нагрузок предприятий с массовым выпуском однородной продукции.

В статье показан метод расчета электрических нагрузок по удельным нормам расхода электроэнергии с использованием нестационарной модели графиков электрических нагрузок.

Yu. Kazancev, A. Mladakhovskaya

Method of calculation of the electric loadings of enterprises with the mass issue of homogeneous products.

From the article shows how to calculate electrical loads in terms of specific energy consumption norms using time-dependent model diagrams of electrical loads.

Получено 27.02.12