

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Электрические нагрузки промышленных электросетей определяются на основе разбивки электроприемников на родственные по режиму работы группы (категории), для которых опытным путем устанавливается ряд коэффициентов, используемых в последующем для расчетов [1, 2]. Основным является коэффициент использования мощности электроприемника, характеризующий уровень средней мощности по отношению к номинальной:

$$k_{и} = \frac{P_c}{P_H}.$$

Электроприемникам одной категории приписывалась некоторая однозначная величина $k_{и}$. Однако представительные обследования нагрузок отдельных электроприемников [1, 2, 3] показали, что все коэффициенты, характеризующие режим работы и электропотребление приемников одной категории, подвержены значительному рассеянию. В табл. 1 указаны интервалы значений $k_{и}$ и оценки математического ожидания (генерального среднего $k_{и0}$) и среднего квадратического отклонения ($\sigma_{ки}$) коэффициентов использования электроприемников некоторых категорий.

Выявленная опытными обследованиями устойчивость значений $k_{и0}$ и $\sigma_{ки}$ для электроприемников одной категории свидетельствует о том, что эти электроприемники образуют статистическую совокупность, подчиненную вероятностным закономерностям. В этих условиях существенное значение приобретает вопрос о вероятностных законах распределения $k_{и}$. Принципиальное суждение о характере этих законов возможно на основе теоретических соображений. Коэффициент использования электроприемника формируется под воздействием как закономерных, так и ряда случайных факторов, и это в соответствии с теоремой Ляпунова дает основание ожидать, что закон распределения $k_{и}$ электроприемников одной категории близок к нормальному, точнее, к усеченному нормальному, поскольку значения $k_{и}$ ограничены интервалом 0 – 1.

На рис. 1 показаны гистограммы (графики эмпирического распределения) $k_{и}$ электроприемников категорий, приведенных в табл. 1, и сглаживающие их усеченные нормальные кривые. Как видно, усеченный нормальный закон в рассматриваемых случаях достаточно хорошо описывает экспериментальное распределение $k_{и}$. Это подтверждает и критерий χ^2 Пирсона, примененный для количественной оценки согласия эмпирического и теоретического

| Категория электроприемников | Интервал значений $k_{и}$ | Генеральный средний $k_{и0}$ | Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{ки}$ | Примечание |
|---|---------------------------|------------------------------|---|--|
| Электродвигатели металлообрабатывающих станков массового производства | 0,02—0,68 | 0,16 | 0,12 | По данным [1,3] |
| Электрические печи сопротивления с периодической загрузкой изделий | 0,1—0,95 | 0,55 | 0,20 | По данным [2] |
| Электродвигатели санитарно-технических вентиляторов | 0,2—1,0 | 0,65 | 0,18 | По данным обследований "Электропроект" |
| Электродвигатели станков-качалок нефтепромыслов | 0,04—0,9 | 0,33 | 0,19 | |

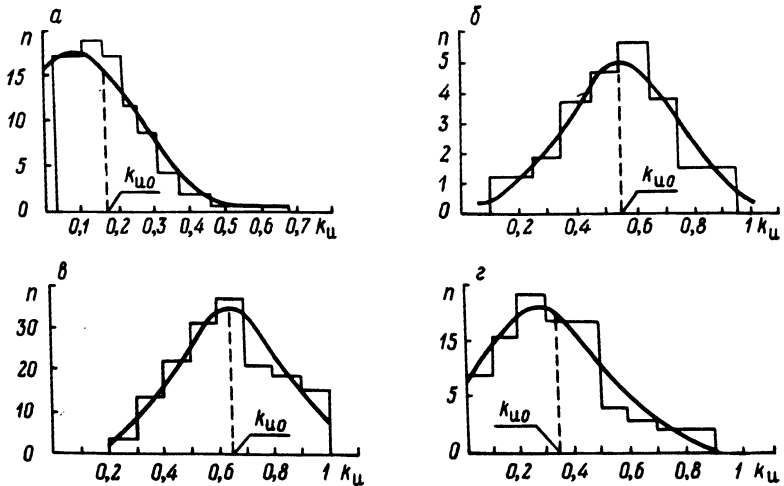


Рис. 1. Гистограммы $k_{и}$ электроприемников разных категорий и выравнивающие их усеченные нормальные кривые: а — металлообрабатывающие станки; б — электрические печи сопротивления; в — санитарно-технические вентиляторы; г — станки-качалки нефтепромыслов

кого распределений. Учитывая сходный характер случайных факторов, воздействующих на промышленные электроприемники различных категорий, есть все основания предполагать, что усеченный нормальный закон является универсальным для описания распределения $k_{и}$.

Из приведенных на рис. 1 кривых распределения $k_{и}$ видно, что их характер зависит от расположения в интервале 0–1. Чем ближе средний $k_{и0}$ к центру интервала 0–1, тем симметричнее кривая, меньше ее ординаты в граничных точках 0 и 1, несущественнее усечение и тем ближе она к нормальной кривой в чистом виде. И, наоборот, увеличение смещения $k_{и0}$ от $k_{и} = 0,5$ ведет ко все более существенному отклонению от нормальной кривой за счет усечения с той стороны, куда смещена кривая.

Отмеченные особенности позволяют предложить следующую математическую модель для описания распределения $k_{и}$ электроприемников одной категории. В качестве исходного принимается нормальное распределение случайной величины X с математическим ожиданием $MX = x_0 = 0,5$ и таким средним квадратическим отклонением σ_x , чтобы площадь под кривой распределения $\varphi(x)$ на интервале 0–1 составила 98–99% всей площади под нормальной кривой. Как известно [4], площадь под нормальной кривой между центральной и некоторой граничной ординатами выражается интегралом вероятностей (функцией Лапласа)

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где $z = \frac{x - x_0}{\sigma_x}$ — нормированное расстояние от граничной ординаты до центральной.

Из уравнения $2\Phi(z_1) = 0,985$, используя таблицы для $\Phi(z)$ [4], находим $z_1 \approx 2,5$ откуда получаем

$$\sigma_x = \frac{x_1 - x_0}{z_1} = \frac{1 - 0,5}{2,5} = 0,2.$$

Это значение σ_x согласуется с $\sigma_{ки} = 0,2$ для электрических печей сопротивления, имеющих $k_{и0}$, близкий к 0,5.

Усеченные кривые распределения $k_{и}$ для категорий электроприемников с генеральным средним $k_{и0} \neq 0,5$ получаются соответствующим смещением исходной нормальной кривой $\varphi(x)$ влево или вправо от центрального положения (рис. 2, а). При этом между нормальной и усеченной кривыми устанавливаются закономерные соотношения. Сопоставление $\sigma_{ки}$ для категорий электроприемников, приведенных в таблице, с $\sigma_{ки}$, определенными в зависимости от $k_{и0}$ по рис. 2, б, дает хорошее совпадение.

Для построения кривой распределения $k_{И}$ с помощью предлагаемой модели достаточно располагать генеральным средним $k_{И0}$, который сравнительно легко и точно определяется путем измерений на фидерах, питающих группы электроприемников данной категории [5]. По рис. 2, в определяется $\Delta = k_{И0} - x_0$ и вычисляется положение центра нормальной кривой $\varphi(x)$:

$$x_0 = k_{И0} - \Delta.$$

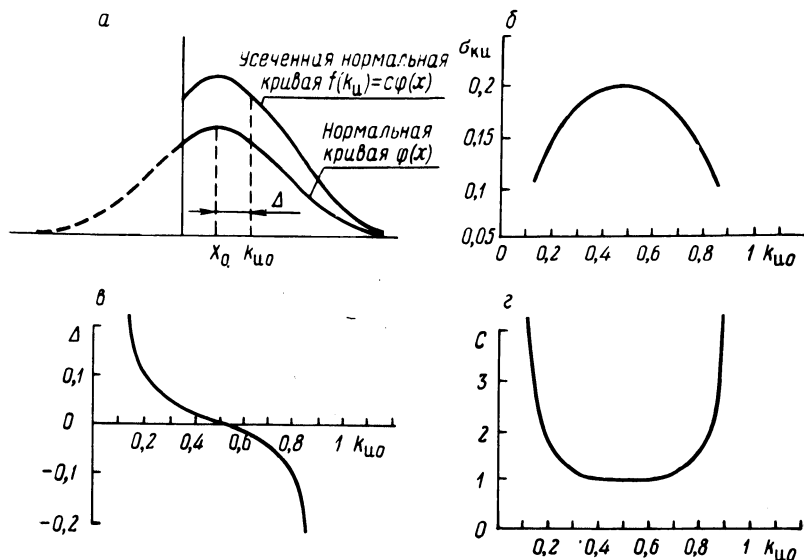


Рис. 2. Связь между параметрами нормального и усеченного нормального распределения $f(k_{И})$.

По параметрам x_0 и $\sigma_x = 0,2$ строится нормальная кривая $\varphi(x)$, а затем путем умножения ординат последней на коэффициент C – усеченная нормальная кривая

$$f(k_{И}) = C\varphi(x),$$

где $C > 1$ – коэффициент пропорциональности (рис. 2, г), обеспечивающий равенство единице площади под усеченной кривой.

Кривые распределения $k_{И}$, получаемые с помощью рассмотренной математической модели, весьма близки к усеченным кривым на рис. 1, построенным по методу моментов [4].

В ы в о д ы

Предложена математическая модель, описывающая распределение $k_{И}$ промышленных электроприемников одной категории в виде усеченного на

интервале 0—1 нормального распределения. Все свойства и характеристики этого распределения, в частности среднее квадратическое отклонение $\sigma_{ки}$, определяются одним параметром — генеральным средним коэффициентом использования $k_{ио}$. Наибольшее значение $\sigma_{ки}$ $\sigma_{ки \max} = 0,2$ имеет симметричное распределение $k_{и}$, отвечающее $k_{ио} = 0,5$. При отклонении $k_{ио}$ от значения 0,5 распределение $k_{и}$ становится асимметричным и $\sigma_{ки}$ уменьшается (рис. 2, б).

Л и т е р а т у р а

1. Электрические нагрузки промышленных предприятий/ С.Д.Волобринский, Г.М.Каялов, П.Н.Клейн, Б.С.Мешель. — Л., 1971.
2. Методические указания по обследованию электрических нагрузок промышленных предприятий. — М., 1963.
3. Каялов Г.М., Гродский С.Е. Исследование электрических нагрузок механических цехов тракторного завода. — Электричество, 1961, № 3.
4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М., 1969.
5. Князевский Б.А., Лившиц В.С. О коэффициенте использования мощности промышленных электроприемников. — Электричество, 1968, № 1.

УДК 62—82:621.313.3

О.П.Ильин, Г.А.Баханович

РАСЧЕТ УГЛА РАССОГЛАСОВАНИЯ СИНХРОННО—СИНФАЗНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В ряде промышленных установок часто требуется синхронно-синфазное движение рабочих органов. Обеспечение синхронно-синфазного движения возможно на базе электропривода как постоянного, так и переменного тока.

Наиболее перспективным является электропривод на синхронных двигателях (СД) с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) в функции угла рассогласования θ .

Вопросы АРВ синхронных двигателей в функции угла θ рассматривались в ряде работ [1, 2, 3], где показана возможность (за счет применения АРВ) повышения динамической устойчивости и быстрого гашения качаний при резкопеременной нагрузке. В то же время вопросы динамики синхронно-синфазных систем на синхронных двигателях с использованием АРВ в функции угла θ еще недостаточно изучены.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, обеспечение синфазности и эффективное гашение качаний синхронно-синфазного с идентичными каналами электропривода может быть достигнуто введением