

$$\frac{1}{S} \frac{d^2 \bar{z}}{dt^2} + \frac{\bar{z} - \bar{z}_0}{\beta} \left| \pi^2 \left[\left(\frac{m}{l} \right)^2 + n^2 \right]^2 + 12(1 - \nu^2) \left[\frac{m^2 k}{m^2 + (ln)^2} \right]^2 + \right. \\ \left. + \bar{z}(\bar{z} - \bar{z}_0) \frac{3}{4} \pi^4 (1 - \nu^2) \left[\left(\frac{m}{l} \right)^4 + n^4 \right] - \alpha \bar{z} 128 \frac{(1 - \nu^2) knm^3}{[m^2 + (ln)^2]^2} - \right. \\ \left. - \alpha (\bar{z} + \bar{z}_0) 8 \frac{nk}{m} (1 - \nu^2) \right] - \frac{\alpha}{\beta} 192 \frac{1 - \nu^2}{\pi^2 nm} \bar{q} - \left(\frac{m}{l} \right)^2 \bar{z} \bar{t} = 0, \quad (8)$$

в котором через \bar{z} обозначено выражение $\bar{z} = 4\pi^2 \cdot 3(1 - \nu^2) k^2$, а под S понимается величина

$$S = \bar{p}_{\text{вн}} \left(\frac{\pi c E}{s} \frac{h^3}{b^3} \right)^2. \quad (9)$$

Здесь c — скорости звука в материале панели: $c = (Eg/\rho)^{1/2}$. Интегрируя уравнение (8), найдем зависимость $\bar{z}(t)$.

Вычисления проводились с помощью метода Рунге-Кутты на ЭЦВМ; шаг по времени h_t принимался равным $h_t = 0,01$. Предварительно была исследована практическая сходимости решения; дальнейшее уменьшение h_t не оказывало сколько-нибудь заметного влияния на результаты вычислений. Описанный выше алгоритм был применен для решения ряда конкретных задач.

В частности автором решена задача вынуждения пластинок и цилиндрических панелей под действием осевого динамического сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. Наука, М., 1967.

Е. А. НЕРСЕСЯН, Р. С. БАЯТЯН

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ГРАФИКОВ АКТИВНЫХ И РЕАКТИВНЫХ НАГРУЗОК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ

Для правильного определения фактических и расчетных нагрузок при эксплуатации и проектировании электрических сетей необходимо изучить режимы (графики) активных и реактивных нагрузок существующих сетей, выявить законы их формирования и факторы, влияющие на изменение и рост нагрузки. Решением подобных задач занимались многие организации для промышленных предприятий и электрических систем [1—3].

В связи с бурным развитием жилищного строительства, с одной стороны, и появлением в быту потребителей реактивной мощности, с другой, вопросы исследования активных и реактивных нагрузок город-

ских сетей и установления связи между ними стали более актуальными. В статье приводятся результаты таких исследований на примере Ереванской городской низковольтной сети (380/220 в) с учетом вероятностной природы формирования нагрузки.

Графики нагрузок и коэффициент мощности. По данным одновременных измерений активных и реактивных нагрузок, проведенных на шинах трансформаторных подстанций, питающих жилищно-коммунальный сектор города, были построены суточные графики нагрузок. На рис. 1 приведен один из этих графиков. Как видно из рисунка,

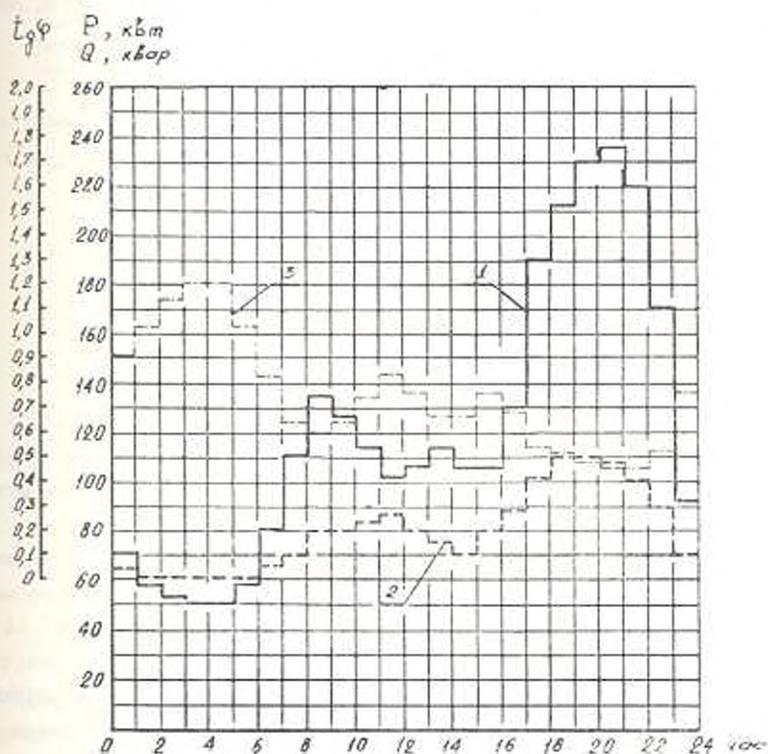


Рис.1. Усредненные суточные графики активных и реактивных нагрузок распределительного трансформатора 320 квт в режиме максимальной нагрузки: 1 — активная нагрузка; 2 — реактивная нагрузка; 3 — коэффициент реактивной мощности

$\text{tg } \varphi$ колеблется в большом диапазоне. Изменения средневыявленной величины коэффициента реактивной мощности для отдельных потребителей приведены в табл. 1.

О закономерности формирования нагрузки. Анализ результатов измерений показал, что величины как активной (P), так и реактивной (Q) нагрузок изменяются в широких пределах и являются случайными функциями времени. По данным измерений были построены статистические ряды и гистограммы распределения P и Q , которые проверя-

лись на согласованность с нормальным законом распределения с помощью критерия Колмогорова. Оказалось, что указанные статистические распределения хорошо выравниваются кривой Гаусса и поэтому был принят нормальный закон распределения для P и Q . При этом достаточно было знать моменты первых двух порядков: статистическое среднее (оценка математического ожидания) и дисперсия.

Таблица 1

Потребители	кг в течение суток				Коэффициент корреляции для вечернего максимума
	ночь	утро	день	вечер	
Жилые здания с газификацией быта	1,08	0,52	0,70	0,43	0,58
Жилые здания без газификации быта	1,01	0,48	0,60	0,32	0,53
Коммунальные здания	0,59	0,50	0,63	0,49	0,60
Трансформаторные пункты, питающие жилые дома и коммунальные предприятия с мелкомоторной нагрузкой	1,10	0,70	1,2	0,5	0,59

Для формирования полной нагрузки при совместном рассмотрении случайных изменений ее активных и реактивных составляющих необходимо было исследовать еще связь между ними.

Исследование формы связи. Для установления формы связи между P и Q были обработаны полученные данные фактических измерений при максимуме полной нагрузки. Зависимость двух случайных величин можно рассмотреть на примере обработки статистических данных одновременных измерений P и Q на шинах трансформаторных пунктов (ТП) со смешанной нагрузкой. Корреляционная связь между P и Q была выявлена при помощи закона двумерного нормального распределения случайных величин, уравнения прямых регрессий которого согласно [4] имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} P_Q &= \bar{P} + r \frac{\sigma_P}{\sigma_Q} (Q_i - \bar{Q}) \\ \bar{Q}_i - \bar{Q} &= r \frac{\sigma_Q}{\sigma_P} (P_i - \bar{P}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где P_Q и Q_i — условные средние значения максимальных нагрузок P и Q ;

\bar{P} , \bar{Q} — их выборочные средние значения;

σ_P , σ_Q — соответственно их среднее квадратическое отклонение;

r — выборочный коэффициент корреляции.

Для определения этих параметров все результаты первоначальной обработки выборочных величин фактических измерений были сгруппированы и систематизированы в форме корреляционной таблицы (табл. 2).

Как видно из табл. 2, каждому значению P и Q соответствует не одно, строго определенное, значение их функции, а ряд распределения, который закономерно изменяет свое положение с изменением аргумента. На пересечении строк и столбцов вписаны частоты n_{pq} наблюдаемых пар значений признаков. Сумма частот признака Q равна сумме частот признака P

$$\sum n_{p.} = \sum n_{.q} = n = 600.$$

По данным корреляционной таблицы были определены:

1. Средняя арифметическая признаков P и Q :

$$\bar{P} = \frac{\sum P}{n} = 231,98 \text{ квт}; \quad (2)$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n} = 101,43 \text{ квар}. \quad (3)$$

2. Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{n} \sum P^2 - \bar{P}^2} = 15,26 \text{ квт}; \quad (4)$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum Q^2 - \bar{Q}^2} = 7,94 \text{ квар}. \quad (5)$$

3. Коэффициент корреляции, характеризующий меру стохастической зависимости между двумя случайными величинами:

$$r = \frac{\mu}{\sigma_P \sigma_Q} = 0,59, \quad (6)$$

где корреляционный момент связи (ковариация) между случайными величинами P и Q равен:

$$\mu = \frac{\sum PQ}{n} - \bar{P}\bar{Q} = 72,1.$$

Коэффициент корреляции оценивается соотношением

$$r \sqrt{n-1} = 14,4 > 3,$$

что и определяет его значимость и реальность существования установленной корреляционной зависимости между P и Q .

Подставляя значения (2)–(6) и (1), получаем уравнение прямой регрессии P на Q :

$$\bar{P}_Q = 1,134 Q + 116,96, \quad (7)$$

Аналогичным образом получили уравнение прямой регрессии Q на P :

$$Q_P = 0,3068 P - 30,26. \quad (8)$$

Имея ожидаемые значения одной величины, по формулам (7) и (8) можно дать средние оценки перспективных нагрузок другой величины для требуемого периода.

Полученные формулы справедливы для режима максимальных нагрузок в пределах диапазона изменения P и Q , приведенного в корреляционной таблице.

В ы в о д ы

1. Математическая обработка статистических данных измерения активных и реактивных нагрузок позволила установить средневзвешенные величины их соотношения ($1q \pm 1$) и связи между ними (коэффициентов корреляции).

2. Случайные величины активных и реактивных нагрузок нормально коррелированы и между ними установлены прямые линейные статистические связи.

3. Корреляционная взаимозависимость между P и Q выражается уравнениями прямых регрессии P на Q и Q на P [формулы (7) и (8)], которые можно использовать при перспективных расчетах для приближенной оценки одной величины, имея другую.

4. Приведенную в работе методику корреляционного анализа нагрузок городских сетей можно применять при исследовании активных и реактивных нагрузок других электрических сетей, а также и энергосистем.

Ари НИИЭ

Получено 21.IX.1970.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тимофеев Д. В. Режимы в электрических системах с типовыми нагрузками. Изд-во «Энергия», 1966.
2. Дивич С. И. О некоторых качественных и количественных соотношениях графика электрических нагрузок промышленных предприятий. «Электричество», №10, 1965.
3. Петков А. и др. Исследование активных и реактивных нагрузок в электрической системе НРБ. Изв. Центр. лабор. энерг. Болг. АН, № 7, 1964.
4. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. Физматгиз, 1961.