

УДК 621.311.012

## МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ОПЕРАТИВНЫХ РАСЧЕТАХ РЕЖИМА

**БАЙРАМАЛИЕВА Э.Н.**

*Сумгаитский Государственный Университет*

В статье предлагается методика получения текущих оценок параметров статической модели нагрузки на основе измерений нормальной эксплуатации. Приводятся расчетно-экспериментальные данные для регулирующих эффектов конкретного узла.

В существующей практике расчета установившихся режимов электроэнергетических систем для более полного учета узлы нагрузки в общей модели системы представляются статическими характеристиками в виде зависимости активной и реактивной мощности от напряжения и частоты  $P(U, f)$ ,  $Q(U, f)$ . При этом для каждого типа нагрузки, определяемого составом потребителей, значения коэффициентов моделей  $P(U, f)$ ,  $Q(U, f)$  получают экспериментально-расчетным путем для одного фиксированного состава нагрузки. Учитывая, что изменение состава потребителей электроэнергии в течении суток может приводить к отклонениям их статических характеристик от заданных типовых характеристик, моделирование статических характеристик при меняющемся составе нагрузки и учете влияния уточненной модели нагрузки на результаты расчета установившегося режима и устойчивости ЭЭС представляется актуальной.

В реальной энергосистеме, в нормальных условиях эксплуатации, активная и реактивная мощности в узлах имеют вероятностный характер изменения из-за многих случайных факторов, проявляющихся в отклонениях параметров схемы и режима энергосистемы от заданных.

В [1-3] дается теоретическое обоснование, предлагаются методы математического моделирования статических характеристик нагрузок на основе вероятностного анализа параметров режима энергосистемы в условиях нормальной эксплуатации.

В данной работе дается развитие этого подхода для определения текущих оценок, характеристик и параметров нагрузок при случайной изменчивости состава и режима электропотребления наблюдаемых в реальной энергосистеме.

В качестве объектов исследования и апробации предложенной методики рассмотрены узлы комплексной нагрузки, питающиеся от Сумгаитской высоковольтной электрической сети системы Азербээнержи.

Исходной информацией для идентификации параметров модели нагрузки является регистрация колебаний напряжения, частоты и мощностей при различных нормальных режимах.

Рассматриваются модели для различных видов нагрузки энергосистемы.

Сущность моделирования статических характеристик нагрузок энергосистемы по наблюдениям режима при ее нормальной эксплуатации состоит в следующем.

Предполагается, что в условиях нормальной эксплуатации, изменения режима в узле нагрузки (напряжение, частота, потребляемые мощности) происходят в небольшом диапазоне. Статические характеристики нагрузки могут быть представлены линейными моделями.

$$\Delta P = P_H \cdot K_{PU} \frac{\Delta U}{U_H} + P_H K_{P\omega} \frac{\Delta \omega}{\omega_H} + \xi_n \quad (1)$$

$$\Delta Q = Q_H \cdot K_{QU} \frac{\Delta U}{U_H} + Q_H \cdot K_{Q\omega} \frac{\Delta \omega}{\omega_H} + \xi_n \quad (2)$$

или в векторной форме  $Y_n = f(X_n, C, \xi_n)$ ,

где  $C = (K_{pu}, K_{p\omega}, K_{qu}, K_{q\omega})$  - вектор состояния, составляющими которой являются регулирующие эффекты активной и реактивной мощности по напряжению и частоте;

$X_n = (\Delta \omega_i, \Delta U_i)$  - вектор входа, составляющими которой являются изменения частоты, напряжения;

$Y_n$ -вектор выхода с переменными  $\Delta P_i, \Delta Q_i$

$U_n, \omega_i, P_n, Q_n$ , -напряжение, частота, активная и реактивная мощности нагрузки в исходном установившемся режиме;

$\xi_n$  - вектор ошибок измерений

Рекуррентная процедура вычисления вектора регулирующих эффектов  $C (K_{p\omega}, K_{pu}, K_{q\omega}, K_{qn})$  записывается в виде:

$$C_n = F(C_{n-1}, \eta_n) \quad (3)$$

где  $C_n, C_{n-1}$  -оценки значений  $C$  в  $n$  и  $n-1$  моменты времени;

Вектор измерений  $\eta_n = [\Delta U_n, \Delta \omega, \Delta P_n, \Delta Q_n]$  (4)

В каждый момент времени в рекуррентной процедуре используются текущие телеизмерения  $\eta_n$  и предыдущая оценка регулирующих эффектов.

Примем в качестве критерия идентификации вектора  $C_n$  наименьшую среднеквадратическую ошибку прогноза измерений  $\Delta P_n, \Delta Q_n$  на один шаг вперед с помощью моделей

$$Q = \sum_{i=1}^n [Y_i - X_i C]^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

или

$$X_n^T Y_n - X_n^T X_n \theta_{n-1} = 0 \quad (6)$$

В уравнении (6)

$$X_n = \begin{pmatrix} \Delta U_n & \Delta \omega_n \\ \Delta U_{n-1} & \Delta \omega_{n-1} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta U_1 & \Delta \omega_1 \end{pmatrix} \quad - \text{ матрица } n \times 2 \quad (7)$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} \Delta P_n \\ \Delta P_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta P_1 \end{bmatrix} \quad \text{или} \quad Y_n = \begin{bmatrix} \Delta Q_n \\ \Delta Q_{n-1} \\ \vdots \\ \Delta Q_1 \end{bmatrix} \quad - \text{ векторы } n \times 1$$

Обозначим

$$S_n = \frac{1}{n} (X_n^T Y_n - X_n^T X_n \theta_{n-1}) \quad (8)$$

где  $X^T$  – транспонированная матрица

Раскрывая этот вектор, не трудно убедиться, что входящие в него элементы  $L_n = \frac{1}{n} X_n^T Y_n$  и  $R_n = X_n^T X_n$  представляют собой вектор и матрицу, элементами которых являются оценки корреляционных моментов измерений  $\Delta \omega, \Delta U, \Delta P, \Delta Q$ . Значения этих корреляционных моментов не зависят от  $C$ , стремясь с ростом выборки к истинным значениям. Оценка  $C$  методом наименьших квадратов (МНК) записывается в виде:

$$C_n = \frac{L_n}{R_n} \quad (9)$$

Рекуррентная оценка МНК вектора  $C$  может быть найдена из выражения (9) несложным преобразованием

$$C(n) = C(n-1) + \Gamma(n) \left[ Y_n - C^T(n-1) X(n) \right] X(n) \quad (10)$$

где

$$\Gamma_n = \Gamma_{(n-1)} - \frac{\Gamma(n-1) X(n) X^T(n) \Gamma^T(n-1)}{1 + X^T(n) \Gamma(n-1) X(n)} \quad (11)$$

Для вычислений вектора  $C$ , в соответствии с (10) и (11), составлена программа рекуррентного вычисления значений регулирующих эффектов (элементов вектора  $C$ ) по мере поступления новых значений телеизмерений  $\Delta U, \Delta \omega, \Delta P, \Delta Q$ .

Погрешность в регулирующих эффектах, обусловленная трендом частоты в энергосистеме, может быть оценена по выражению:

$$\Delta L_3 = L_{3a} \left( \frac{\partial U}{\partial f} \right) \frac{D_f}{D_U} ; \quad \Delta L_{\text{й}} = K_{\text{й}a} \left( \frac{\partial U}{\partial f} \right) \frac{D_f}{D_U} ; \quad (12)$$

где  $K_{\text{pf}}$ ,  $K_{\text{Qf}}$  -регулирующие эффекты нагрузки по частоте при неизменном напряжении;

$\frac{\partial U}{\partial f}$  - величина, характеризующая изменения напряжения при изменении частоты в системе;

$\frac{D_f}{D_u}$  - дисперсионное отношение флуктуаций напряжения к флуктуациям частоты.

В соответствии с [1],  $\frac{\partial U}{\partial f}$  в среднем может быть принята равной 1,4. Достоверное определение значений  $K_p$  и  $K_Q$  существенно зависит также от длительности регистраций флуктуаций напряжения и мощностей. Необходимая длительность регистрации (мин.) определяется по выражению:

$$T \geq \frac{0,06 - 0,2}{D_u} \max \left[ \frac{D_p}{(\Delta K_p)^2}, \frac{D_Q}{(\Delta K_Q)^2} \right] \quad (13)$$

Где  $D_u, D_p, D_a$  – соответственно дисперсия флуктуаций напряжения и мощностей,  $P, Q$ ;

$\Delta K_p, \Delta K_Q$  – заданная статистическая погрешность  $K_p$  и  $K_Q$ .

Как видно из (13),  $T$  имеет большой интервал значений, что создает неопределенность при выборе его конкретного значения.

Длительность регистрации определяется на основе спектрального анализа флуктуаций режимных параметров нагрузки. Выше было установлено, что для достоверного получения  $K_p$  и  $K_Q$  дискретные значения флуктуаций напряжения и мощностей нагрузки получены в диапазоне с частотой (0 – 0,03) Гц. Величина шага квантования определяется соотношением  $\Delta t = 1 / (k f)$ , где  $k$  – опытный коэффициент, определяемый из условия адекватности модели с результатом эксперимента. По данным многочисленных экспериментов для регистрации и анализа флуктуационных изменений режимных параметров можно принимать  $k = 5$ . Тогда

$$\Delta t = \frac{1}{k f} = \frac{1}{5 \cdot 0,03} \approx 7 \text{ сек}$$

Как известно, эмпирический коэффициент корреляции между двумя случайными величинами дает состоятельную, но смещенную оценку теоретического коэффициента корреляции. Величина смещения убывает обратно пропорционально числу испытаний и при  $n > 50$  составляет менее 1 %.

Таким образом, принимая минимальное количество точек, равное 50, для длительности регистрации получим

$$T = 7 n = 350 \text{ сек} \approx 6 \text{ мин.}$$

По результатам этих измерений определен доверительный интервал. Затем уточняется необходимое количество измерений из тех соображений, что уменьшение доверительного интервала в  $\lambda$  раз обеспечивается увеличением количества измерений в  $\lambda^2$  раз. Так, было установлено, что для получения результатов расчета с 5%-ным уровнем доверительного интервала необходимо принимать  $n = 200$ .

$$T = n \Delta t = 200 \cdot 7 = 1400 \text{ сек} \approx 25 \text{ мин.}$$

На основе описанного выше алгоритма проводилась обработка результатов пассивного эксперимента и оценивались значения регулирующих эффектов суммарной нагрузки, подключенной к подстанции 110 /10 кВ Сумгаит-2 по напряжению для характерных суточных и сезонных режимов. В таблице в качестве примера показаны полученные оценки.

Таблица

Типовые дни		Значения регулирующих эффектов	
		$K_p$	$K_Q$
Будний день	Дневной	0,24	0,69
	Вечерний	1,20	0.72
Воскресный день	Дневной	0,70	0.85
	Вечерний	1,20	1,5

1. Влияние вариации состава и параметров нагрузки электросистемы на математическую модель ее статических характеристик. *Ф.Г.Гусейнов, Н.Р.Рахманов, А.И.Байрамов*// Вопросы повышения надежности и экономичности энергетических систем: Сб. научных трудов /ЭНИН им. Т.М.Кржижановского, вып. 63-М., 1977- с.35-43

2. *Ф.Г.Гусейнов, А.И.Байрамов* – Оценка погрешности расчета параметров эквивалентной схемы замещения узлов нагрузок методом факторного планирования эксперимента. Труды ЭНИНЭ «Вопросы экономичности и надежности энергетических систем», М. 1979г.

3. *Ф.Г.Гусейнов, Н.Р.Рахманов* Оценка параметров и характеристик энергосистем- М: Энергоатомиздат – 1988 с. 153

## ENERJİSİSTEM REJİMİNİN ƏMƏLİYYAT HESABLAMALARINDA YÜKÜN PARAMETRLƏRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ METODU

**BAYRAMƏLİYEVƏ E.N.**

Məqalədə yükün statik modelinin parametrlərinin normal istismarın ölçülməsinə əsaslanan cari qiymətlərinin alınması metodikası təklif olunur. Konkret düyünün tənzimləyici effekti üçün hesabat-eksperimental qiymətlər verilir.

## ESTIMATION OF LOAD PARAMETERS FOR THE ON-LINE CALCULATING CONDITION

**BAYRAMALIYEVƏ E. N.**

In the work is suggested the method of getting current evaluation of parameters of statistical model in loading on the base of measurements of normal usage. Account-experimental data are set for controlling effects of concrete point.