

Министерство высшего и среднего специального образования  
Республики Узбекистан  
Ташкентский государственный технический университет  
имени Беруни

## **МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для магистров электроэнергетических направлений по специальностям «Электроэнергетические системы и комплексы», «Электрические станции, сети, системы и управление ими» и «Электрические станции».

Ташкент – 2004

Методы и алгоритмы оценивания состояния электрических систем:

Методические указания для магистров электроэнергетических направлений.

Сост.: Шарипов У.Б.. Ташкент. ТашГТУ, 2004. 23 с.

Методические указания предназначены для магистров электроэнергетических направлений по специальностям «Электроэнергетические системы и комплек-

сы», «Электрические станции, сети, системы и управление ими» и «Электрические станции». Они являются практическим руководством для выполнения практических и лабораторных работ по курсам «Методы и системы учета и контроля потоков и потерь электроэнергии в электроэнергетических системах» и могут быть использованы по дисциплинам «Теория и методы расчетов и анализа установившихся режимов ЭЭС», «АСУ энергетических систем» и «Оптимизация режимов ЭЭС», а также рекомендованы для проведения НИР бакалавров электроэнергетических направлений.

Кафедра «Электрические системы и сети».

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского государственного технического университета.

Рецензенты: акад. АН РУз  
Носиров Т.Х.  
(Энергоцентр

Узбекистана);

Сиддиков И.Х,  
(ТашГТУ)

# **1 АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ ВЗВЕШЕННЫХ КВАДРАТОВ**

## **1.1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ ВЗВЕШЕННЫХ КВАДРАТОВ.**

Обычно статистические методы эффективны, когда производится ряд независимых наблюдений одного и того же состояния объекта. Для электроэнергетических систем такой подход часто непригоден, так как состояние объекта непрерывно меняется, и потому два наблюдения в последовательные моменты времени далеко не всегда позволяют отличить ошибки от действительного изменения процесса [9]. Выход состоит в использовании того факта, что измерения отдельных параметров режима в один и тот же момент времени зависимы, поскольку измеряемые величины связаны между собой физическими соотношениями типа законов Ома и Кирхгофа. Это обстоятельство и позволяет минимизировать ошибки измерений и повысить надежность получаемой информации, т.е. произвести так называемое статическое оценивание состояния. Дополнительные возможности для увеличения надежности информации возникают при наличии информации о динамике изменения системы (или внешних воздей-

ствий на нее) и соответственно при рассмотрении последовательных моментов времени.

**Статическое оценивание состояния.** Режим электроэнергетической системы описывается вектором значений параметров режима (мощности станций, нагрузки, перетоки мощности по элементам электроэнергетической системы, токи, модули и фазы напряжений, регулируемые коэффициенты трансформации). Эти параметры связаны уравнениями установившегося режима, полученными из закона Ома и Кирхгофа:

$$W(P)=0 \quad (1)$$

Порядок системы уравнений (1) обычно значительно меньше числа параметров режима, т.е.

$$n \ll r \quad ,$$

где  $n$  – число уравнений (1),  $r$  – число компонент вектора  $P$ . Другими словами, электроэнергетическая система обладает  $r - n$  степенями свободы, задание которых однозначно определяет режим.

Часть компонент вектора  $P$ , определяющих режим, называется независимыми параметрами и обозначается как вектор  $Y$  (размерность его  $m \times n$ ), а те, что определяются из уравнений (1) после фиксации  $Y$ , - зависимыми параметрами  $X$ :

$$P = (X, Y) \quad (2)$$

Если в качестве уравнений (1) выступают уравнения баланса токов или мощностей в узлах, то введение в состав вектора  $Y$  модулей и фаз напряжений узлов однозначно и явным образом (без решения систем уравнений) определяет остальные параметры режима.

О текущем состоянии электроэнергетической системы диспетчер может судить по данным телеизмерений и другой поступающей оперативной информации. Вектор контролируемых величин (компонент вектора  $P$ ), передаваемых диспетчеру, обозначим через  $V$ . Вектор конкретных значений этих величин  $\bar{V}$  будет содержать ошибки  $\xi_V$ , которые возникают из-за ошибок датчиков, ошибок персонала при снятии измерений и их передаче, помех в каналах связи, неодновременности измерений:

$$\bar{V} = V(Y) + \xi_V \quad (3)$$

Метод наименьших взвешенных квадратов основан на том подходе, что вектор  $Y$  определяется из условия минимума величины помех, характеризующихся нормой ошибок вектора  $\xi_V$  [1]:

$$\|\xi_V\| = \|\bar{V} - V(Y)\| \quad (4)$$

Обобщенными оценками нормы вектора могут быть: модуль, т.е. корень квадратный из суммы квадра-

тов его компонент или просто квадрат модуля; наибольшая по модулю компонента вектора; любая другая монотонная неотрицательная функция компонент вектора  $\hat{\xi}_v$  [1]. С точки зрения сходимости процесса оценивания более приемлемы выпуклые функции, среди которых наиболее проста квадратичная функция:

$$Z = \sum_{i=1}^m k_i [\bar{v}_i - v_i(Y)]^2, \quad (5)$$

где  $Y$  – вектор состояния системы, имеющий своими компонентами действительную и мнимую часть комплексных напряжений узлов (вектор независимых параметров);

$v_i$  –  $i$ -ый контролируемый параметр режима; все параметры режима являются функциями вектора  $Y$ ;

$\bar{v}_i$  – заданное значение  $i$ -го контролируемого параметра; в общем случае  $\bar{v}_i$  отличается от истинного значения контролируемого параметра на величину ошибки  $\xi_i$ ;

$k_i$  – весовой коэффициент, определяемый дисперсией ошибки  $\sigma_i^2$ ;  $k_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ .

В матричном виде соотношение (5) запишется в виде:

$$Z = [\bar{V} - V(Y)]^T R_V^{-1} [\bar{V} - V(Y)], \quad (6)$$

где  $V(Y)$  – вектор контролируемых параметров режима;

$\bar{V}$  - вектор измеренных значений контролируемых параметров;

$R_v^{-1}$  - ковариационная матрица (диагональная) с элементами  $r_{ii} = \sigma_i^2$ .

Математически задача статического оценивания состояния сводится к минимизации  $Z(Y)$  по компонентам вектора  $Y$ .

Для решения задачи можно использовать метод наименьших взвешенных квадратов. Основная идея метода – определение минимума функции (5), который можно получить, приравняв нулю производные этой функции по компонентам вектора  $V$  (градиент функции  $Z$ ):

$$\frac{dZ}{dY_j} = -2 \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sigma_{ii}^2} [v_i - v_i(Y)] \frac{dv_i}{dY_j} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (7)$$

где  $n$  – число компонент вектора  $Y$  или в матричной форме:

$$\frac{dZ}{dY} = -2[\bar{V} - V(Y)]^T R_v^{-1} \frac{dV}{dY} = 0 \quad (8)$$

Систему уравнений (8) можно решить методом Ньютона-Рафсона, который сводится к последователь-

ности решений линейных систем уравнений, полученных линеаризацией исходного нелинейного уравнения в точке решения линейной системы на предыдущем шаге.

Линеаризация (8) производится разложением в ряд Тейлора в точке  $Y = Y_0$ :

$$[\bar{V} - V(Y)]^T R_V^{-1} \frac{dV}{dY} + \left\{ \left( -\frac{dV}{dY} \right)^T R_V^{-1} \frac{dV}{dY} + [\bar{V} - V(Y_0)]^T R_V^{-1} \frac{d^2Y}{dY^2} \right\} \times (Y - Y_0) = 0 \quad (9)$$

Из (7) получаем значение  $Y$  после первой итерации метода Ньютона-Рафсона:

$$Y_1 = Y_0 + A^{-1} \left( \frac{dV}{dY} \right)^T R_V^{-1} [\bar{V} - V(Y_0)] \quad (10)$$

В общем случае на  $k$ -ой итерации:

$$\Delta Y_k = A^{-1} \left( \frac{dV}{dY} \right)^T R_V^{-1} [\bar{V} - V(Y_{k-1})] \quad Y_k = Y_{k-1} + \Delta Y_k, \quad (11)$$

В ряде случаев можно упростить (8), полагая, что система близка к линейной и потому второе слагаемое в фигурных скобках много меньше первого. Тогда:

$$A \approx \left( \frac{dV}{dY} \right)^T R_V^{-1} \frac{dV}{dY} \quad (12)$$

## 1.2 ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС

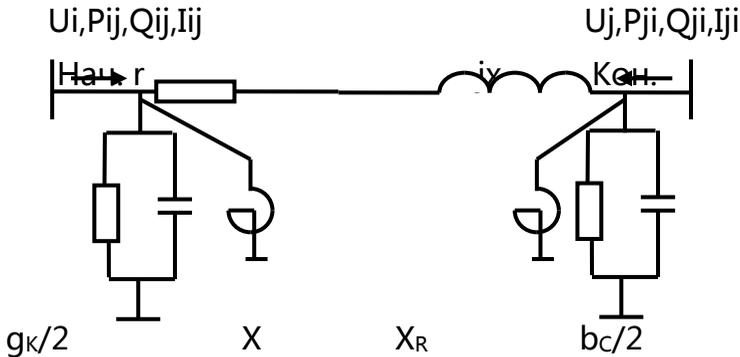
В задаче оценивания состояния вектор  $\bar{V}$  представляет собой множество измерений параметров ре-

жима – напряжения, активные и реактивные мощности, токи в узлах, напряжения, активные и реактивные мощности, токи в начале и в конце ветви:

$$\bar{V} = \{U_i, P_i, Q_i, I_i, P_{ij}, Q_{ij}, I_{ij}, P_{ji}, Q_{ji}, I_{ji}\}$$

Вектор  $V(Y)$  представляет собой множество расчетных значений тех же параметров режима.

Для данной системы модель ЛЭП выглядит следующим образом:



Для этой модели используются следующие расчетные выражения для определения параметров режима:

1) модуль напряжения в узле

$$U = \sqrt{U'_K{}^2 + U''_K{}^2},$$

$U_k$  - модуль напряжения в узле k;

2) активная и реактивная мощности в узле

$$P_i = -U_i^2 G_{ii} + U_i' \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j' - b_{ij} U_j'') + U_i'' \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j'' + b_{ij} U_j'); \quad (13)$$

$$Q_i = U_i^2 B_{ii} + U_i'' \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j' - b_{ij} U_j'') - U_i' \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j'' + b_{ij} U_j'); \quad (14)$$

3) токи в узлах

$$I_i' = G_{ii} U_i' - B_{ii} U_i'' - \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j' - b_{ij} U_j''); \quad (15)$$

$$I_i'' = G_{ii} U_i'' + B_{ii} U_i' - \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij} U_j'' + b_{ij} U_j'); \quad (16)$$

4) активная и реактивная мощности в начале вет-

ви

$$P_{ij} = g_{yzi} \cdot U_i^2 - g_{ij} U_i' U_j' + b_{ij} U_i' U_j'' - g_{ij} U_i'' U_j'' - b_{ij} U_i'' U_j'; \quad (17)$$

$$Q_{ij} = -b_{yzi} \cdot U_i^2 + g_{ij} U_i' U_j'' + b_{ij} U_i'' U_j' - g_{ij} U_i'' U_j' + b_{ij} U_i'' U_j'; \quad (18)$$

5) вещественная и мнимая часть токов в начале

ветви

$$I_{ij}' = g_{yzi} U_i' - b_{yzi} U_i'' - g_{ij} U_j' + b_{ij} U_j''; \quad (19)$$

$$I_{ij}'' = g_{yzi} U_i'' + b_{yzi} U_i' - g_{ij} U_j'' - b_{ij} U_j'; \quad (20)$$

6) активная и реактивная мощности в конце ветви

$$P_{ji} = g_{yzi} \cdot U_i^2 - g_{ij} U_i' U_j' + b_{ij} U_i' U_j'' - g_{ij} U_i'' U_j'' - b_{ij} U_i'' U_j'; \quad (21)$$

$$Q_{ji} = -b_{yzi} \cdot U_i^2 + g_{ij} U_i' U_j'' + b_{ij} U_i'' U_j' - g_{ij} U_i'' U_j' + b_{ij} U_i'' U_j'; \quad (22)$$

7) вещественная и мнимая части тока в конце вет-

ви

$$I'_{ji} = g_{yzj}U'_i - b_{yzj}U''_i - g_{ij}U'_j + b_{ij}U''_j; \quad (23)$$

$$I''_{ji} = g_{yzj}U''_i + b_{yzj}U'_i - g_{ij}U''_j - b_{ij}U'_j; \quad (24)$$

где активная и реактивная проводимости ветви:

$$g_{ij} = \frac{r}{r^2 + x^2}; \quad b_{ij} = -\frac{x}{r^2 + x^2};$$

активная и реактивная проводимости узла:

$$g_{yzi} = g_{ij} + \frac{g_k}{2}; \quad b_{yzi} = \frac{b_c}{2} + b_{ij};$$

(здесь:  $r$  - активное сопротивление ветви, Ом;

$x$  - реактивное сопротивление ветви, Ом;

$b_c$  - поперечная емкостная проводимость ветви,

См.

При наличии реактора:

$$g_{yzi} = g_{ij} + \frac{g_k}{2} + \frac{r_r}{r_r^2 + x_r^2}; \quad b_{yzi} = \frac{b_c}{2} + b_{ij} - \frac{x_r}{r_r^2 + x_r^2}$$

Структура матрицы  $\frac{dV}{dY}$ . Учитывая, что  $Y = (U', U'')$ ,

можно раскрыть структуру  $\frac{dV}{dY}$ .

$$\frac{dV}{dY} = \begin{vmatrix} \frac{\partial U_{V1}}{\partial U'_1} & \frac{\partial U_{V1}}{\partial U''_1} & \frac{\partial U_{V2}}{\partial U'_2} & \frac{\partial U_{V2}}{\partial U''_2} & \dots & \frac{\partial U_{Vn}}{\partial U''_n} \\ \frac{\partial P_{V1}}{\partial U'_1} & \frac{\partial P_{V1}}{\partial U''_1} & \frac{\partial P_{V2}}{\partial U'_2} & \frac{\partial P_{V2}}{\partial U''_2} & \dots & \frac{\partial P_{Vn}}{\partial U''_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial I_{V1}}{\partial U'_1} & \frac{\partial I_{V1}}{\partial U''_1} & \frac{\partial I_{V2}}{\partial U'_2} & \frac{\partial I_{V2}}{\partial U''_2} & \dots & \frac{\partial I_{Vn}}{\partial U''_n} \end{vmatrix} ,$$

Здесь  $n$  - количество узлов системы.

Элементы матрицы  $\frac{dV}{dY}$  вычисляются по следующим формулам:

а) для выражений параметров в узле:

$$\frac{\partial U_{Vi}}{\partial U'_i} = \frac{U'_i}{U_i}; \quad \frac{\partial U_{Vi}}{\partial U''_i} = \frac{U''_i}{U_i};$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_i} = -2G_{ii}U'_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij}U'_j - b_{ij}U''_j);$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_i} = -2G_{ii}U''_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij}U''_j + b_{ij}U'_j);$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_j} = \sum_{j=1}^n (g_{ij}U'_i + b_{ij}U''_i);$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_j} = \sum_{j=1}^n (g_{ij}U''_j - b_{ij}U'_j);$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_i} = 2B_{ii}U'_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij}U'_j + b_{ij}U'_j);$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_i} = 2B_{ii}U''_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij}U'_j - b_{ij}U''_j); \quad \frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_j} = \sum_{j=1}^n (g_{ij}U''_i - b_{ij}U'_i);$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_j} = \sum_{j=1}^n (g_{ij}U'_i + b_{ij}U''_i);$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_i} = -(k'_i G_{ii} + k''_i B_{ii}); \quad \frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_i} = -( -k'_i B_{ii} + k''_i G_{ii} );$$

$$\text{где } k'_i = \frac{I'}{I}; \quad k''_i = \frac{I''}{I};$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_j} = k'_i \sum_{j=1, j \neq i}^n g_{ij} + k''_i \sum_{j=1, j \neq i}^n b_{ij}; \quad \frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_j} = -k'_i \sum_{j=1, j \neq i}^n b_{ij} + k''_i \sum_{j=1, j \neq i}^n g_{ij}; \quad (25)$$

б) для выражений перетоков в начале ветви:

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_i} = 2g_{yzi}U'_i - g_{ij}U'_j + b_{ij}U''_j; \quad \frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_i} = 2g_{yzi}U''_i - g_{ij}U''_j - b_{ij}U'_j;$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_j} = -g_{ij}U'_i - b_{ij}U''_i; \quad \frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_j} = b_{ij}U'_i - g_{ij}U''_i;$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_i} = -2b_{yzi}U'_i + g_{ij}U''_j + b_{ij}U'_j; \quad \frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_i} = -2b_{yzi}U''_i - g_{ij}U'_j + b_{ij}U''_j;$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_j} = b_{ij}U'_i - g_{ij}U''_i; \quad \frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_j} = g_{ij}U'_i + b_{ij}U''_i;$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_i} = \left( k'_i g_{yzi} + k''_i b_{yzi} \right);$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_i} = \left( -k'_i b_{yzi} + k''_i g_{yzi} \right);$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_j} = -k'_i g_{ij} - k''_i b_{ij}; \quad \frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_j} = k'_i b_{ij} - k''_i g_{ij}; \quad (26)$$

в) для выражений перетоков в конце ветви:

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_i} = 2g_{yzi} U'_i - g_{ij} U'_j + b_{ij} U''_j; \quad \frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_i} = 2g_{yzi} U''_i - g_{ij} U''_j - b_{ij} U'_j;$$

$$\frac{\partial P_{Vi}}{\partial U'_j} = -g_{ij} U'_i - b_{ij} U''_i; \quad \frac{\partial P_{Vi}}{\partial U''_j} = b_{ij} U'_i - g_{ij} U''_i;$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_i} = -2b_{yzi} U'_i + g_{ij} U''_j + b_{ij} U'_j;$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_i} = -2b_{yzi} U''_i - g_{ij} U'_j + b_{ij} U''_j;$$

$$\frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U'_j} = b_{ij} U'_i - g_{ij} U''_i; \quad \frac{\partial Q_{Vi}}{\partial U''_j} = g_{ij} U'_i + b_{ij} U''_i;$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_i} = \left( k'_i g_{yzi} + k''_i b_{yzi} \right);$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_i} = \left( -k'_i b_{yzi} + k''_i g_{yzi} \right);$$

$$\frac{\partial I_{Vi}}{\partial U'_j} = -k'_i g_{ij} - k''_i b_{ij}; \quad \frac{\partial I_{Vi}}{\partial U''_j} = k'_i b_{ij} - k''_i g_{ij}. \quad (27)$$

## 2. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 2.1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Комплекс программ предназначен для оценивания состояния энергетических систем с уровнями напряжений 500 кВ.

Комплекс программ обеспечивает:

- ввод, создание и корректировку базы исходных данных по схемам замещения электрических сетей;
- оценивание состояния энергетических систем;
- отображение результатов расчета.

Комплекс программ предназначен для использования в учебном процессе бакалавров направления «Электроэнергетика» и магистров по электроэнергетическим специальностям. Он может быть использован при освоении методов применения информационных технологий в энергетике, освоения материала по учебным дисциплинам, выполнения лабораторных и практи-

ческих работ, курсовых проектов, выпускных работ, диссертаций и научных исследований.

## **2.2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ**

Комплекс программ расчетов установившихся режимов электрических систем функционирует под управлением операционной системы MS DOS версии 6.22 и выше на ПЭВМ IBM PC/AT или аналогичной, имеющей в своем составе следующие внешние устройства:

- оперативную память не менее 16 Мбайт;
  - видеотерминал EGA или VGA;
  - накопитель на гибких магнитных дисках;
  - накопитель на жестких магнитных дисках;
  - 80-ти колонное печатающее устройство ("узкий" принтер).
- для работы в сетевом варианте необходимо наличие локальной сети
- типа Novell Netware 3.11 и выше.

Программа разработана на языке СИ++.

## **2.3. СТРУКТУРА И СОСТАВ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СХЕМЕ**

Для проведения расчетов, на основе расчетной схемы замещения необходимо подготовить данные, со-

держающие общие сведения и информацию о топологии и параметрах схемы и параметрах режима. Информация по топологии и параметрам схем формируется на основе данных о соединениях и параметрах ветвей данной ЭС. По отдельной ветви должны быть заданы номера узлов ограничивающих ветвь, активное и реактивное сопротивление, ёмкостная проводимость ветви – для ЛЭП, коэффициент трансформации, активное и реактивное сопротивления, активные и реактивные потери холостого хода - для трансформатора. Кроме того, необходимо дать информацию о состоянии реакторов на концах ветвей системы.

Параметры режима задаются в информации о замерах по ветвям и узлам. Структура замеров по ветвям включает в себя измерения активной и реактивной мощности, а также тока в начале и в конце ветви . Структура замеров по узлам включает в себя измерения напряжений в узлах, активной и реактивной мощностей ( нагрузки ), токов, величину номинального напряжения ветви, активное и реактивное сопротивления шунта. Кроме того, информация о параметрах режима должна содержать сведения о наличии того или иного замера параметра сети. Каждому значению параметра перед проведением расчетов необходимо задать величину среднеквадратического отклонения (СКО), определяю-

щее “вес” (степень “доверия” ) данного измерения в целевой функции. Здесь: если данное измерение отсутствует в системе, то СКО присваивается значение 0. При наличии измерения, чем больше “доверие” к нему, тем меньшее значение СКО ему соответствует.

Полный состав данных и порядок их подготовки приведены в следующих разделах

Исходные данные, промежуточные данные и результаты расчетов записываются в текстовые файлы. Имена файлов формируются на базе вводимого исходного названия файла (до пяти символов) добавки к названию и имеют расширение .dat.

## **2.4. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

### **2.4.1. Входные данные**

Для проведения расчетов необходимо подготовить данные, содержащие общие сведения и информацию о схеме и параметрах режима в виде трех таблиц: информации о параметрах схемы, о замерах по ветвям и узлам. Для заполнения таблиц надо составить схему замещения и пронумеровать узлы схемы.

### Информация о параметрах схемы

Информация о ветвях схемы соответствует П-образной схеме замещения и содержит 8 данных.

Информация о ветвях схемы

Таблица 4.1.

Ветвь №	i	j	R	X	$Bc / Kt'$	$Gk / Kt''$	$Rr / Pxx$	$Xr / Qxx$	$Nr / T$
1									
2									
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....		
m									

$i, j$  - узлы, ограничивающие ветвь;

R - активное сопротивление ветви, [Ом];

X – реактивное сопротивление ветви, [Ом] ;

$Bc$  - емкостная проводимость ветви, для трансформаторной ветви =0;

$Kt', Kt''$  - вещественная и мнимая части комплексного коэффициента трансформации;

$G_k$  – активная поперечная проводимость ветви, [См];

$R_r, X_r$  – активное и реактивное сопротивление реактора, [Ом];

$P_{xx}, Q_{xx}$  – активная и реактивная мощность холостого хода трансформатора, [ МВт], [МВар];

$N_r$  – состояние реакторов на концах ветвей ( 0 – реакторы отключены; 1 – включен реактор в начале ветви; 2 – включен реактор в конце ветви; 3 – включены реакторы на обоих концах ветви);  $N_r = 5$  – определяет трансформаторную ветвь.

**Информация о замерах по ветвям схемы**

Составляется в виде таблицы.

Таблица 4.2.

№	Начало		Конец		Pнач/СКО		Qнач/СКО		Iнач/СКО		Pкон/СКО		Qкон/СКО		Iкон/СКО	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1			Р	ско	Q	ско	I	ско	Р	ско	Q	ско	I	ско		
2																
.																

.																		
.																		
N																		

№ - номер по порядку;

$P_{нач}$  - замер активной мощности в начале ветви;

$Q_{нач}$  - замер реактивной мощности в начале ветви;

$I_{нач}$  - замер тока в начале ветви;

$P_{кон}$  - замер активной мощности в конце ветви;

$Q_{кон}$  - замер реактивной мощности в конце ветви;

$I_{кон}$  - замер тока в конце ветви.

Кроме того, необходимо задать номер опорного узла N, а также точность расчета  $\varepsilon$ .

### Информация о замерах в узлах схемы

Таблица 4.3.

№	Узел	$U_{зам}/C$		P	$P_{зам}/C$		Q	$Q_{зам}/C$		I	$I_{зам}/C$		U <sub>н</sub>	Rшунта	Xшунта
		U	СКО		СКО	СКО		СКО	СКО						
1															

№ - номер по порядку;

Узел – номер узла;

$U_{зам}$  – замер напряжения в узле;

$P_{зам}$  - замер активной мощности (нагрузки) в узле;

$Q_{зам}$  - замер реактивной мощности (нагрузки) в узле;

$I_{зам}$  – замер тока в узле;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение ветви, [кВ];

$R_{шунта}$  – активное сопротивление шунта, [Ом];

$X_{шунта}$  – реактивное сопротивление шунта, [Ом].

## 2.4.2 Выходные данные

Результаты расчетов программы записываются в текстовые файлы с соответствующими расширениями.

Выходными данными комплекса программ расчета установившегося режима являются характеристики режима:

- расчетные значения напряжений узлов (модуль и фаза напряжений);
- значения активных и реактивных мощностей нагрузок и генерации в узлах;
- суммарные мощности генерации реактивной мощности поперечными ёмкостями в узлах;
- перетоки активной и реактивной мощностей в начале и конце ветви, потери активной мощности в ветвях;

- величины замеров параметров режима, их расчетные значения, а также отклонение измерений от расчетных значений (абсолютное и в процентах по отношению к базисным значениям);

- суммарные характеристики по системе: нагрузка, генерация активной и реактивной мощностей в узлах схемы; суммарные потери мощности в ветвях и шунтах схемы; генерация реактивной мощности поперечными ёмкостями в узлах, модули невязок.

Выходные данные записываются в текстовые файлы с соответствующими расширениями.

## **2.5 СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ**

Комплекс программ расчета установившегося режима состоит из следующих основных блоков:

- 1) Выбор схемы электрической системы.
- 2) Ввод и корректировка параметров ветвей схемы ЭС.
- 3) Ввод и корректировка замеров по ветвям схемы ЭС.
- 4) Ввод и корректировка замеров по узлам схемы ЭС.
- 5) Оценивание состояния энергосистемы.

Данный блок для оценивания состояния энергосистемы реализует программу расчета методом Ньютона-Рафсона.

6) Программы просмотра и печати результатов последнего для данной схемы расчета:

6.1) Выдача результатов расчетов по узлам схемы на экран.

6.2) Выдача результатов расчетов по ветвям схемы на экран.

6.3) Выдача результатов расчетов по измерениям на экран.

6.4) Запись результатов расчетов в файл.

6.5) Выдача результатов расчетов на принтер.

7) Сервисные программы – программы для удаления схем из каталога и создания копий схемы в других файлах.

. Эти блоки функционально не зависят друг от друга и могут работать автономно. Взаимосвязь блоков осуществляется передачей данных, получаемых при работе блока, через текстовые файлы.

## **2.6 ИНСТРУКЦИЯ ПО ЗАПУСКУ ПРОГРАММЫ**

6.1 Подготовка к запуску программ проводится в следующей последовательности:

- включить ПЭВМ;
- загрузить операционную систему MS DOS;
- открыть на диске Д каталог - K1 для записи выполняемых файлов программного комплекса;
- записать с дискеты архивированный файл с программным комплексом и развернуть файлы;
- в данном каталоге создать подкаталог – ПК1 для записи банка исходных данных и результатов расчетов;
- создать BAT – файл следующей структуры :  

```
< regmain.exe > < Д:/K1/> < Д:/K1/ПК1/> < readme.com > < rdnr >
```

Например: regmain.exe d:\regim\ d:\regim\regdat\ readme.com rdnr

Запуск программы осуществляется по созданному BAT – файлу.

## **2.7 ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ**

Осуществить запуск программы по созданному BAT файлу. На экране будет представлена общая информация о программе.

При нажатии любой клавиши на верхних строках появляются информация о выбранной схеме и главное меню:

С Х Е М А   Н Е   В Ы Б Р А Н А   «ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ»

ВЫБОР	КОРРЕКТ	ОЦЕНКА	СЕРВИС	ПЕЧАТЬ	ИН-ФОРМ	ВЫХОД
-------	---------	--------	--------	--------	---------	-------

Функции, выполняемые по главному меню :

"ВЫБОР" - а) выбор существующей или ввод названия схемы и файла для новой схемы;

в) удаление из каталога схемы;

"КОРРЕКТ." - ввод и/или изменение информации о параметрах и режиме выбранной схемы.

"ОЦЕНКА " - выполнение расчетов установившегося режима;

«СЕРВИС» - создание копии выбранной схемы под новым названием;

"ПЕЧАТЬ" - вывод результатов расчетов на экран, в файл или на принтер;

"ИНФОРМ." - краткая информация о программе и инструкция пользователю.

"ВЫХОД" - выход из программы.

Порядок работы по выбору из главного меню:

## 2.7.1. "ВЫБОР"

Вертикальное меню содержит две функции: «выбор схемы» и «удалить схему».

2.7.1.1 Выбор схемы : при указании на эту функцию появляется список названий введенных схем, а также пункт «Новая». При выборе "Новая" вводится информация о новой схеме.

Появляется запрос:

**ВВЕДИТЕ НАЗВАНИЕ СХЕМЫ :**

После набора и ввода названия по клавише "ENTER" появится запрос :

**ВВЕДИТЕ НАЗВАНИЕ ФАЙЛА (До 5 латинских символов) :**

После ввода названия файла осуществляется выход на главное меню. На верхней строке - информация о названии и файлах выбранной схемы.

При выборе существующей схемы происходит возврат к главному меню с информацией в верхней строке о выбранной схеме.

2.7.1.2 Удаление схемы – при выборе этой функции происходит удаление выбранной схемы.

## 2.7.2 «КОРРЕКТ.»

Вертикальное меню содержит три функции: «схема - ветви», «замеры – ветви», «замеры - узлы».

2.7.2.1 «СХЕМА-ВЕТВИ» - ввод и корректировка общих данных и информации по ветвям.

Ввод информации по новой схеме осуществляется по данным, подготовленным в соответствии с п.4.1. (таблица 1). При выборе существующей схемы на экране будут отражены данные о данной схеме. Нижнее меню показывает действия по нажатию функциональных клавиш.

F1 – инструкция пользователю по данному разделу. F2 – подсчет числа узлов в вводимой схеме. F3 – поиск ветви в введенной схеме. F4 и F5 – соответственно вставка и удаление строки данных. F7 – номер опорного узла. F8 – точность расчета  $\epsilon_{ps}$ . F9 – запись введенной информации в файл с добавкой сх , F10 – выход из блока.

2.7.2.2 «ЗАМЕРЫ- ВЕТВИ» - ввод и корректировка информации о замерах по ветвям. Таблица заполняется в соответствии с пунктом 4.1 (таблица 4.2 )

Действия функциональных клавиш нижнего меню:

F1 – инструкция пользователю по данному разделу; F3 – поиск ветви в введенной схеме;

F5, F6 – признаки наличия замера по данному параметру (при нажатии этих клавиш осуществляется ввод кодов измерений в таблицу); F8 – введение СКО по данному замеру; F9 – запись введенной информации в файл; F10 – выход из блока.

2.7.2.2 «ЗАМЕРЫ - УЗЛЫ» - вводится информация о замерах по узлам. Таблица заполняется в соответствии с п. 4.1 (таблица 4.3)

2.7.3 “ОЦЕНКА” . Осуществление оценивания состояния энергосистемы

Проводятся расчеты в соответствии с методами и программами п.5.

После выполнения расчета на экран выдается информация с числовыми данными о режиме системы в соответствии с п.4.2.

1) Результаты расчета по ветвям:

Таблица 7.1

№ветви	Нач.	Кон.	$P_{I-J}$	$Q_{I-J}$	$P_{J-I}$	$Q_{J-I}$	Потери
--------	------	------	-----------	-----------	-----------	-----------	--------

								P

2) Результаты расчета по узлам:

Таблица 7.2

Узел	P Мвт	Q Мвар	U кВ	P Мвт	Q МВар	U кВ	Угол U	I кА

3) Данные по измерениям и расчетным значениям:

Таблица 7.3

№за м	Ветв ь	Узе л	Тип	СКО %	За- мер	Ра сч ет	Раз- ност ь	В%к баз

#### 2.7.4 «СЕРВИС»

Вертикальное меню содержит функцию: «Копия схемы».

2.7.5 «ПЕЧАТЬ» Просмотр и вывод результатов расчетов на печатающее устройство.

Вертикальное меню

ЭКРАН – ВЕТВИ - Выдача на экран таблицы 7.1

ЭКРАН – УЗЛЫ - Выдача на экран таблицы 7.2

ИЗМЕРЕНИЯ – РАСЧЕТ – Выдача на экран таблицы 7.3.

2.7.6 «ИНФОРМ.» Информация о программе.

Вертикальное меню содержит три функции:

- 1) «О программе» - Общие данные о программе и разработчиках;
- 2) «Алгоритм» - Краткие сведения об алгоритмах расчетов;
- 3) «Данные» - Инструкция о подготовке, вводе данных и работе с программой.

2.7.7 «ВЫХОД» Выход из программы.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. М.: Наука, 1976 .
2. Идельчик В.А. Электрические системы и сети. М.: Энергия, 1987, 370с.

3. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Линейные расчетные модели сетей электрических систем. Ташкент: Фан, 1985.

4. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. Ташкент: Молия, 1999.

5. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие электроэнерг. спец. / Под ред. Строева В.А. М.: Высшая школа, 1999

6. <http://www.anares.ru> . Современные программные средства для расчетов и оценивания состояния режимов электроэнергетических систем.: Сборник докладов Второго международного научно-практического семинара. Новосибирск, ИДУЭС, 2002. 112с.

5. <http://www.anares.ru> . О.Н.Шепилов Современное состояние программных средств расчета и анализа режимов энергосистем. (ИДУЭС)

## СОДЕРЖАНИЕ

1	АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ ВЗВЕШЕННЫХ КВАДРАТОВ	3
1	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ ВЗВЕШЕННЫХ КВАДРАТОВ.	3
1.2	ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС	6
2	ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	12
2.1	НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	

	ПРОГРАММЫ	12
2.2	УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ	12
2.3	СТРУКТУРА И СОСТАВ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СХЕМЕ	13
2.4	ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	14
2.4.	ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	14
1		
2.4.	ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	16
2		
2.5	СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ	16
2.6	ИНСТРУКЦИЯ ПО ЗАПУСКУ ПРОГРАММЫ	17
2.7	ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ	18
	ЛИТЕРАТУРА	22

Редактор Ахметжанова Г.М.

