

Для других регионов имеет значение близость Черного и Азовских морей, и также равнинный характер местности (Причерноморская низина). Для современного технического уровня ВЭУ используются районы со среднегодовыми скоростями ветра 5 м/с и больше на высоте флюгера равным 10 м. Поэтому предварительная оценка ветровых характеристик территории Украины дается с использованием этого критерия. Анализ данных многолетних наблюдений 214 метеостанций за долгий период времени свидетельствуют о том, что в Украине преобладают ветры от 0 до 5 м/с (70–90 %).

Общая установленная мощность перспективных ветроэлектростанций в Украине оценивается в 53 МВт с возможной годовой выработкой электроэнергии около 140 млн. кВт·ч. По среднегодовым скоростям ветра более 5 м/с можно выделить семь регионов и две зоны. К регионам относятся Карпатский, Причерноморский, Приазовский, Донбасский, Западно-Крымский, Восточно-Крымский, к зонам – Харьковская и Полтавская. Для внедрения ветроэнергетики пригодно более 40 % территории.

### Литература

1. Олешкевич М.М. Состояние и перспективы вероэнергетики в странах Балтийско-Черноморского региона и Беларуси // Энергоэффективность. – 2007. – № 8. – С. 7–11.

УДК 621.311

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Шуканов А.И.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Математическая модель, используемая при статистическом оценивании взаимосвязанных аналоговых переменных, характеризующих состояние системы электро-снабжения, предполагает отсутствие грубых погрешностей измерений этих аналоговых переменных.

Грубые погрешности приводят к неоптимальным статистическим оценкам, поэтому необходима предварительная идентификация недостоверных результатов измерений, которая состоит из двух последовательных этапов:

- обнаружения факта наличия грубой погрешности;
- локализации грубой погрешности.

Обнаружение грубой погрешности блокирует работу алгоритма оценивания (задача-минимум), а локализация грубой погрешности, если удаётся её произвести, позволяет найти вероятное замещающее недостоверное измерение значение переменной и осуществить статистическое оценивание, то есть расчётным путём повысить точность измерительной информации (задача-максимум) [1, 2].

Исходная система уравнений имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i = 0, \quad j = 1, \dots, r, \quad (1)$$

где  $x_i$  – неизвестное истинное значение  $i$ -й переменной;

$m$  – число переменных;

$a_{ij}$  – коэффициенты при неизвестных, принимающие значения +1, -1, 0;

$r$  – суммарное число независимых и зависимых уравнений связи.

Условия отсутствия недостоверных результатов измерений записываются следующим образом:

$$|\delta_{j\Phi}| \leq \delta_{\text{доп}}, \quad j = 1, \dots, r, \quad (2)$$

где фактические невязки уравнений связи определяются подстановкой в систему (1) результатов измерений переменных  $\bar{x}_i$ :

$$\delta_{j\Phi} = \sum_{i=1}^m a_{ij} \bar{x}_i, \quad j = 1, \dots, r,$$

а допустимые невязки зависят от точности измерительной аппаратуры:

$$\delta_{\text{доп}} = \rho_{\Sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij} \sigma_i^2}, \quad j = 1, \dots, r, \quad (3)$$

где  $\sigma_i$  – среднеквадратическая погрешность измерительного прибора:

$$\sigma_i = \frac{1}{\rho_i} \alpha_i A_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где  $\alpha_i$  – расчётная погрешность измерительного прибора в о.е.;

$A_i$  – диапазон шкалы измерений прибора.

Квантили  $\rho_{\Sigma}$  и  $\rho_i$  в формулах (3) и (4) определяют степень усечённости кривых распределения соответственно допустимых невязок уравнений связи и измерений переменных.

Признаком недостоверного результата измерения является невыполнение хотя бы одного из условий (2).

Сложность решения задачи состоит в том, что при вариации значений переменных, ликвидация недопустимо больших невязок в одних уравнениях может привести к появлению недопустимых невязок в других уравнениях. Кроме того, возможна ситуация, когда не удаётся ликвидировать все недопустимые невязки. В этом случае возникает задача чебышевского приближения несовместной системы неравенств.

Алгоритм локализации, рассматриваемый ниже, предназначен для случаев одиночного отказа измерительной аппаратуры, вероятность которых намного выше вероятности множественных отказов. Локализация производится по критерию минимума максимального превышения допустимых невязок фактическими при поочередном замещении результатов измерений их оценками:

$$\Phi = \min \max \Delta \delta_{kj} \quad \text{при } j = 1, \dots, r, \quad k = 1, \dots, m, \quad (5)$$

где  $\Delta \delta_{kj}$  – превышения допустимой невязки, определяемые как

$$\begin{aligned} \Delta \delta_{kj} &= |\delta_{kj\Phi}| - \delta_{\text{доп}} \quad \text{при } |\delta_{kj\Phi}^*| > \delta_{\text{доп}}; \\ \Delta \delta_{kj} &= 0 \quad \text{при } |\delta_{kj\Phi}^*| \leq \delta_{\text{доп}}. \end{aligned}$$

Фактические невязки  $\delta_{kj\Phi}^*$  формируются с учётом поочередного замещения результатов измерений  $\bar{x}_i$  их оценками  $\dot{x}_{ki}$

$$\delta_{kj\Phi}^* = a_{ij} \dot{x}_k + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^m a_{ij} \bar{x}_i, \quad j = 1, \dots, r, \quad k = 1, \dots, m.$$

Недостоверным признаётся результат измерения, удовлетворяющий критерию (5). Алгоритм локализации, реализующий этот критерий, основан на ранжировании переменных на четыре подмножества ( $D_1, D_2, D_3, D_4$ ) по мерс убывания вероятности попадания в них недостоверного измерения.

Подмножество  $D_1$  включает переменные, входящие во все уравнения связи (одно или несколько), с фактическими невязками, превышающими допустимые, одновременно не входящие ни в одно из уравнений связи с фактическими невязками, не превышающими допустимых, образующее однознаковые (положительные или отрицательные) произведения соответствующих им коэффициентов  $a_{ij}$  и фактических невязок  $\delta_j$ . Знаки этих произведений для различных переменных могут быть разными

$$D_1 \subset E^* \setminus B,$$

где  $E^*$  – подмножество переменных, входящих во все уравнения с фактическими невязками, превышающими допустимые, и удовлетворяющих условию однознаковости произведений коэффициентов и фактических невязок;

$B$  – подмножество переменных, входящих во все уравнения с фактическими невязками, не превышающими допустимые.

Подмножество  $E^*$  представляет собой пересечение подмножеств переменных  $E_1^+$ ,  $E_2^+$ , входящих в уравнения связи с фактическими невязками, превышающими допустимые, и образующих положительные произведения коэффициентов и фактических невязок, или пересечение подмножеств  $E_1^-$ ,  $E_2^-$ , отличающихся от  $E_1^+$ ,  $E_2^+$  отрицательными произведениями  $a_{ij}\delta_j$

$$E^* \subset \left[ (E_1^+ \cap E_2^+) \cup (E_1^- \cap E_2^-) \right],$$

где  $\cup$  – символ логического сложения;

$\cap$  – символ логического умножения.

Подмножество  $B$  представляет собой объединение подмножеств переменных  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , входящих соответственно в 1-е, 2-е,  $n$ -е уравнения связи с фактическими невязками, не превышающими допустимые

$$B \subset (B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n).$$

Подмножество  $D_2$  объединяет переменные, входящие в единственное уравнение связи с фактической невязкой, превосходящей допустимую, и одновременно – по меньшей мере в одно из уравнений связи с фактическими невязками, не превышающими допустимые

$$D_2 \subset (E^* \cap B).$$

Подмножество  $D_3$  включает переменные, входящие не во все уравнения связи с фактическими невязками, большими допустимых, одновременно не входящие ни в одно из уравнений связи с фактическими невязками, меньшими допустимых, и образующие однознаковые произведения коэффициентов и фактических невязок  $a_{ij}\delta_j$

$$D_3 \subset E^{**} \setminus B,$$

где  $E^{**}$  – подмножество переменных, входящих не во все уравнения связи с фактическими невязками, превышающими допустимые, и образующих однознаковые произведения коэффициентов и фактических невязок:

$$E^{**} \subset \left[ (E_1^+ \cap E_2^+ \cap \dots \cap E_m^+) \cup (E_1^- \cap E_2^- \cap \dots \cap E_m^-) \right].$$

Подмножество  $D_4$  включает в себя переменные, входящие не во все уравнения связи с фактическими невязками, превышающими допустимые, образующие при этом однознаковые произведения коэффициентов и фактических невязок, одновременно входящие, как минимум, в одно из уравнений связи с фактическими невязками, не превышающими допустимые

$$D_4 \subset E^{**} \cap B.$$

Идентификация может производиться в каждом цикле опроса информации или для осреднённых на протяжении нескольких циклов значений переменных.

### Литература

1. Анищенко В.А. Надёжность измерительной информации в системах электроснабжения. – Минск: БГПА, 2000.
2. Анищенко В.А. Оценивание состояния энергетического объекта с предварительно идентификацией грубых и систематических ошибок измерений // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1994. – № 7–8. – С. – 29–34.

УДК 621.311

## УЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Блинков П.К.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

При проектировании схем электроснабжения промышленных предприятий следует учитывать как стоимость электрооборудования, так и надежность питания потребителей. Однако на практике нередко имеет место определенная недооценка фактора надежности. В связи с этим предполагается оценить долю ущерба от перерывов электроснабжения в общих приведенных затратах.

Внезапные перерывы и ограничения электроснабжения предприятий приводят к прямому ущербу и ущербу от недоотпуска продукции. Прямой ущерб вызывается повреждением оборудования, затратами на восстановительные работы по наладке расстроенного из-за перерывов электроснабжения технологического процесса, браком и порчей сырья, изготавливаемой продукции и т. д. На величину ущерба от недовыпуска продукции влияют ее стоимость и время ликвидации перерывов питания.

Требования, предъявляемые к надежности электроснабжения потребителей и работе оборудования, регламентированы в директивных и нормативных документах, основными из которых является ПУЭ. Электроприемники (далее ЭП) разделяют по уровню надежности на три категории:

– ЭП первой категории, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за особо тяжкие последствия, в том числе опасность для жизни людей, повреждение дорогостоящего оборудования и т. д., ущерб от которых практически невозможно определить;

– ЭП второй категории, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, длительным простоям рабочих, механизмов, транспорта и т. д., ущерб от которых может быть определен достаточно точно;

– ЭП третьей категории, перерыв в электроснабжении которых приводят к небольшому ущербу.

Для особо ответственных потребителей требуемая надежность нормируется ПУЭ и обеспечивается техническими средствами без технико-экономического обоснования. Однако в целом с учетом того, что на предприятиях могут быть электроприемники всех трех категорий, у проектировщиков имеется определенная, в ряде случаев значительная, свобода действий при выборе электрооборудования (числа и состава трансформаторных подстанций, линий электропередач, коммутационной аппаратуры) и конфигурации схем электроснабжения (радиальных, магистральных, смешанных). Уровень на-