

## АННОТАЦИЯ

*Статья описывает математическую модель измерений взаимосвязанных потоков электроэнергии. Система уравнений связи между измеряемыми переменными является источником избыточной информации, которая позволяет контролировать достоверность измерений электроэнергии и повышать их точность. Показывается возможность уточнения достоверных показаний счётчиков электроэнергии методами статистического оценивания.*

## ANNOTATION

*The article describes the mathematical model of the measurement interrelated flows of electricity. The system of equations connection between the measured variables is the source of redundant information that allows you to control the accuracy of the measurement of electricity and improve their accuracy. The possibility of verifying accurate readings of electricity meters is shown by methods of statistical estimation.*

## Об эффективности автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии

В. А. Анищенко, д. т. н., профессор,

В. Д. Худик, м. т. н., аспирант

кафедры «Электроснабжение» БНТУ

*В статье рассматривается составляющая эффективности применения автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ), обусловленная достоверностью и точностью измерительной информации о потоках генерируемой, передаваемой и потребляемой электроэнергии. Анализируется математическая модель измерений взаимосвязанных потоков электроэнергии, соответствующая топологии схем электроснабжения. Система уравнений связи между измеряемыми переменными является источником избыточной информации, которая позволяет оперативно контролировать достоверность измерений электроэнергии и повышать их точность. Признаками недостоверности измерений являются превышения фактических небалансов (невязок) уравнений допустимых грани, задаваемых в функции от показателей точности уставленной измерительной аппаратуры. Локализацию недостоверных измерений и выбор замещающих их значений предлагается проводить с помощью алгоритма, основанного на идеях линейного программирования. Показана возможность уточнения достоверных показаний счётчиков электроэнергии методами статистического оценивания.*

В последние годы получили широкое распространение АСКУЭ, устанавливаемые на предприятиях электрических сетей, промышленных предприятиях,

в жилищном и коммунально-бытовом секторе. Анализ применения этих систем позволяет сделать определённые выводы об их эффективности и рассмотреть возможности её повышения.

Зачастую проектируется установка АСКУЭ для небольшого числа точек учёта электроэнергии. Существующие АСКУЭ в большинстве случаев ограничиваются только выполнением информационных функций. В этих условиях трудно обосновать экономическую целесообразность этих систем. Представляется необходимым максимально использовать собираемую АСКУЭ информацию о произведённой, передаваемой и потребляемой электроэнергии и придать ей дополнительно функции управления электропотреблением. Расширение функциональных возможностей АСКУЭ определяет повышенные требования к достоверности и точности измерительной информации о потоках электроэнергии, поступающей и обрабатываемой в АСКУЭ. В связи с этим рассмотрим следующие задачи [1]:

- ♦ выявление факта появления недостоверных, то есть выходящих за пределы нормированной точности, показаний счётчиков электроэнергии;
- ♦ локализацию недостоверных показаний счётчиков;
- ♦ замещение недостоверных показаний счётчиков их наиболее вероятными значениями;
- ♦ уточнение достоверных показаний счётчиков расчётным способом.

В настоящее время в эксплуатируемых АСКУЭ решаются первые три задачи, однако не в полном



обеспечивающие выполнение условий достоверности (3). Если оказывается, что эти условия представляют собой несовместную систему неравенств, то в качестве наиболее подозрительного в недостоверности принимается измерение, соответствующее критерию минимакса, то есть минимуму максимального превышения модуля фактического небаланса допустимого значения:

$$L = \text{минмакс} (|\Delta_{\text{факт}}| - \Delta_{\text{доп}}), j = 1, 2, \dots, r. \quad (6)$$

Если есть предпосылки полагать, что имеется несколько недостоверных измерений, то они ранжируются по мере увеличения  $L$  в процессе поочерёдного изменения показаний счётчиков. Локализация недостоверных показаний при совместных условиях достоверности требует дополнительного исследования.

Применяющиеся в российских энергосистемах различные способы замещения недостоверных показаний счётчиков рассмотрены в [7].

Естественным развитием контроля достоверности является уточнение успешно прошедших проверку на достоверность показаний измерительных приборов и замещающих недостоверные показания значений расчётным способом. Эта задача решается методом статистического оценивания, применяемым в самых различных отраслях техники [8]. Метод основывается на использовании избыточности информации, обеспечиваемой, наряду с результатами измерений, учётом взаимных связей между контролируемыми переменными. К сожалению, в АСКУЭ этот метод не применяется, хотя все необходимые предпосылки для его реализации имеются.

Критерий статистического оценивания измерений электроэнергии выглядит следующим образом:

$$\Phi = \frac{1}{(\delta_1 \bar{W}_1)^2} (\hat{W}_1 - \bar{W}_1)^2 + \frac{1}{(\delta_2 \bar{W}_2)^2} (\hat{W}_2 - \bar{W}_2)^2 + \dots + \frac{1}{(\delta_n \bar{W}_n)^2} (\hat{W}_n - \bar{W}_n)^2 + \lambda_1 (a_{11} \cdot \hat{W}_1 + a_{12} \cdot \hat{W}_2 + \dots + a_{1n} \cdot \hat{W}_n) + \dots + \lambda_r (a_{r1} \cdot \hat{W}_1 + \dots + a_{rn} \cdot \hat{W}_r) = \text{мин}, \quad (7)$$

где  $\hat{W}_1, \hat{W}_2, \dots, \hat{W}_n$  — искомые оценки потоков электроэнергии;  $\lambda_1, \dots, \lambda_r$  — неопределённые множители Лагранжа.

Взяв частные производные от функционала  $\Phi$  по неизвестным оценкам и приравняв их нулю, получим систему уравнений:

$$\frac{\partial \Phi^*}{\partial \hat{W}_1} = 0, \frac{\partial \Phi^*}{\partial \hat{W}_2} = 0, \dots, \frac{\partial \Phi^*}{\partial \hat{W}_n} = 0. \quad (8)$$

Решая систему (8) совместно с системой уравнений связи (1), находим оптимальные значения оценок  $\hat{W}_1, \hat{W}_2, \dots, \hat{W}_n$ . Точность этих оценок выше точности показаний счётчиков  $\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n$ . Оценки можно рассматривать как «псевдоизмерения», то есть как показания измерительных комплексов более высокого класса точности по сравнению с установленными. Условиями применимости статистического оценивания являются достоверность оцениваемых показаний счётчиков и нормальный закон распределения их погрешностей. Первое требование обеспечивается путём контроля достоверности и в случае необходимости замещения недостоверных данных. Закон распределения суммы погрешностей достаточно близок к нормальному даже при больших отличиях распределения отдельных составляющих погрешностей от нормального.

Рассмотренные выше методы обработки измерительной информации, использующие её топологическую избыточность, позволяют системам АСКУЭ более эффективно выполнять свои информационные функции и создадут предпосылки для решения с большей точностью с помощью этих систем задач управления режимами работы энергетических и других промышленных объектов. ЭИМ

## Литература

1. Анищенко В. А. Надёжность измерительной информации в системах электроснабжения. — Мн.: БГПА, 2000. — 127 с.
2. РД 34.09.101–94. Типовая инструкция по учёту электроэнергии при её производстве, передаче и распределении. — М.: СПО ОРГРЭС, 1995.
3. РД 34.11.333–97. Типовая методика выполнения измерений количества электрической энергии. — М.: РАО ЕЭС России, 1997.
4. ГОСТ 8.207–76. ГСН. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
5. Гамм А. З., Колосок И. Н. Обнаружение грубых ошибок измерений в электроэнергетических системах. — Новосибирск: «Наука», 2000. — 152 с.
6. Петров В. В., Анищенко В. А. Приближение несовместного режима электроэнергетической системы // Известия академии наук СССР. Энергетика и транспорт. — 1976. — № 4. — С.152–155.
7. Осика А. К. Коммерческий и технический учёт электрической энергии на оптовом и розничном рынках. — СПб., 2006. — 360 с.
8. Мудров В. И., Кушко В. А. Метод обработки измерений. — М.: Радио и связь, 1983. — 304 с.