

**«МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ» КАК ИНСТРУМЕНТ  
ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ**

**В. В. Арбузов**, ст. преподаватель;

**О. В. Бережная**, канд. техн. наук, доцент,

Сумский государственный университет, г. Сумы

*В статье рассматривается методика оценки вклада функции «метрологического наблюдателя» в повышении метрологической надежности автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии на примере введения функциональной избыточности в структуру измерительного канала в виде дополнительных функций контроля и наблюдения за метрологическими отказами и их устранения.*

**Ключевые слова:** межповерочный интервал, метрологический отказ, надежность.

*У статті розглядається методика оцінки внеску функції «метрологічного спостерігача» у підвищення метрологічної надійності автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії на прикладі введення функціональної надмірності у структуру вимірювального каналу у вигляді додаткових функцій контролю та спостереження за метрологічними відмовами та їх усунення.*

**Ключові слова:** міжперевірний інтервал, метрологічна відмова, надійність.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время интенсивно формируется нормативная база, регламентирующая процесс создания автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) для субъектов конкурентного рынка электроэнергии Украины. Одним из важнейших направлений такой работы является процесс формирования комплекса показателей качества функционирования автоматизированных систем, нормирования этих показателей, разработки методик расчета и проектной оценки их значений.

К числу наиболее весомых показателей качества функционирования АСКУЭ, кроме точности и достоверности получаемой измерительной информации, можно отнести комплекс показателей надежности систем, требуемые значения которых необходимо обеспечить в ходе их создания [1]. Эффективность построения АСКУЭ связана с решением актуальной задачи оценки метрологической надежности, то есть надежности измерения, при установлении первичного межповерочного интервала (МПИ) для измерительных каналов (ИК) АСКУЭ в ходе их метрологической аттестации и при его корректировке по итогам эксплуатации в ходе периодической поверки ИК.

При установлении длительности МПИ используют в основном три подхода: экономический, технико-эксплуатационный и смешанный [2], ставя, как правило, цель – сократить время убытков от недостоверных показаний, а длительность МПИ в этом случае устанавливают в зависимости от фактической надежности средств измерительной техники, условий эксплуатации, интенсивности их использования и значимости для потребителя результатов измерений. Так, например, для ИК автоматизированных систем предпринимается попытка уточнить методики и правила установления МПИ на основании исходных данных с учетом фактических результатов экспериментальных исследований и эксплуатационных факторов [3].

В настоящее время при нормировании показателей надежности руководствуются типовыми требованиями [1] и техническими заданиями, создаваемыми при разработке АСКУЭ. Однако все эти документы не позволяют устанавливать жесткого соответствия между длительностью МПИ и наличием функций самоконтроля, диагностики, «метрологического наблюдателя» [4] и автоматизированного балансирования питающих линий, резервных каналов связи, дублирующих счетчиков, резервных измерительных комплексов, резервирования вычислительной техники и специального программного обеспечения, что не позволяет проектировать АСКУЭ с требуемой метрологической надежностью. В связи с этим построение АСКУЭ с заданной длительностью межповерочного интервала требует разработки методики оценки метрологической надежности при установлении длительности МПИ как функции от влияния  $K$  перечисленных факторов, исходя из предположения о независимости возникающих отказов:

$$\tau = \sum_{i=1}^K \tau_i = \sum_{i=1}^K f_i(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_j, \dots, \varphi_L), \quad (1)$$

где  $\tau_i$  – составляющая длительности МПИ, вызванная наличием определенного свойства  $\varphi_j$  системы или комплекса функций.

Основными факторами, оказывающими влияние на длительность МПИ, являются требуемое значение вероятности отсутствия метрологических отказов  $P_{MO}(\tau)$  и средняя наработка ИК на метрологический отказ  $T_{MO}$  [2].

При экспоненциальном законе изменения  $P_{MO}(\tau)$  назначение первичного МПИ и его корректировка по результатам эксплуатации может осуществляться в соответствии с выражением [2]:

$$\tau = -T_{mo} \ln P_{mo}(\tau), \quad (2)$$

При этом под метрологическим отказом ИК АСКУЭ понимается выход метрологических характеристик ИК за установленные пределы, а в качестве этих характеристик применяются относительная погрешность измерения количества активной и реактивной электроэнергии за отчетные периоды и погрешность рассинхронизации времени электронных счетчиков.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализ основных измерительных функций, особенностей отказов и сбоев, возникающих в системе, позволяет отнести современные АСКУЭ при существующей классификации к группе технических объектов, восстанавливаемых в процессе их применения, в работе которых допустимы кратковременные перерывы. При этом основными показателями надежности работы таких объектов являются коэффициент готовности  $K_2$  восстанавливаемой системы, средняя наработка на отказ  $T_O$  и среднее время восстановления  $T_e$  системы или ее функций.

Как известно [5], коэффициент готовности имеет двойственную природу. Во-первых, его значение определяет ту среднюю долю времени  $K_r \cdot \tau$  из общей наработки  $\tau$ , в течение которой элемент является работоспособным, т. е. выполняет свои функции в системе. Остальную часть времени  $(1-K_2) \tau$  элемент находится в состоянии отказа, т. е. восстанавливается. Во-вторых, коэффициент готовности равен вероятности события – застать восстанавливаемый элемент в любой

момент времени на этапе времени  $\tau$  в состоянии работоспособности. Аналогично, коэффициент неготовности  $(1-K_e)$  равен вероятности – застать элемент в любой момент в состоянии неработоспособности (отказа, восстановления).

Особенностью построения АСКУЭ с требуемым значением МПИ является наличие в ее составе отдельных элементов с недостаточными значениями наработки их на отказ, что делает необходимым изменение структуры таких АСКУЭ для повышения ее надежности за счет введения дополнительных видов избыточности, например, структурной, временной и функциональной.

Для определения разумной достаточности и целесообразности введения тех или иных видов избыточностей необходимо предложить математический аппарат, методы и практические рекомендации по оценке метрологической надежности АСКУЭ при установлении такого интервала  $\tau$ , в пределах которого обеспечивается заданное значение коэффициента готовности ИК, оценить эффективность применения функции «метрологический наблюдатель» для решения данной задачи и определить составляющую МПИ  $\tau_i$ , вызванную наличием данной функции.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Рассмотрим решение этой задачи на примере введения в структуру ИК функциональной избыточности в виде дополнительной функции «метрологического наблюдателя» и структурной избыточности в виде дублирующего счетчика (рис. 1). При этом предусматривается учет, например, двух исходных причин недостоверного получения измерительной информации – метрологический отказ и/или выход из строя основного счетчика. Если диспетчер не допустит ошибки и обнаружит выход из строя основного электронного счетчика и/или условный сигнал «метрологического наблюдателя» о метрологическом отказе, то он начнет воздействовать на процесс восстановления работоспособности ИК. В случае выхода из строя основного счетчика в ходе процесса восстановления работоспособности ИК АСКУЭ необходимо обеспечить доставку достоверной измерительной информации с резервного счетчика, при условии, что с помощью его показаний осуществляется сведение баланса всего энергообъекта. При этом небаланс показаний основного и резервного счетчиков будет превышать допустимое значение вплоть до восстановления работоспособности основного счетчика или его замены.

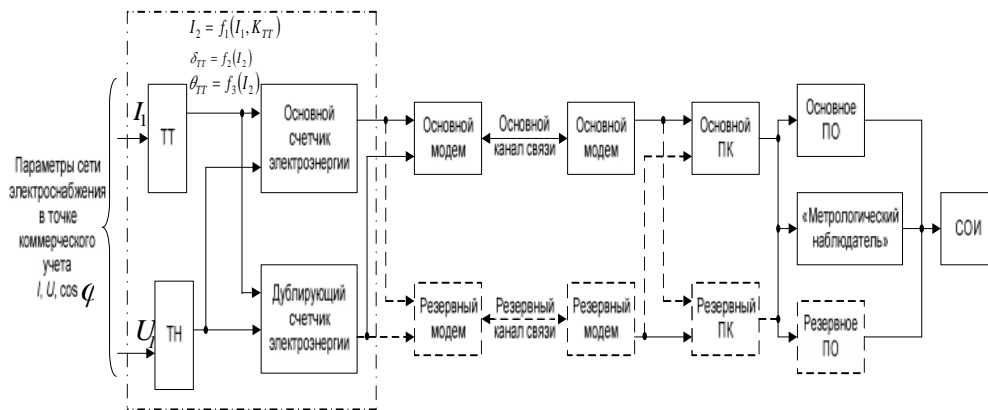


Рисунок 1 – Функциональная схема ИК количества электроэнергии АСКУЭ

Для количественной оценки показателей надежности при решении задач вероятностного анализа процесса измерения в рассматриваемом ИК целесообразно применить общий логико-вероятностный метод моделирования (ОЛВМ) надежности в сложных системах, позволяющего строить все виды не только монотонных, но и немонотонных моделей надежности [5].

Указанные показатели надежности для автоматизированных систем с произвольной структурой могут определяться с помощью многочленов вероятностной функции на основе анализа необходимых исходных данных.

Основными исходными данными для моделирования и расчета показателей надежности, восстанавливаемых систем, являются [5]:

- схема функциональной целостности системы;
- логический критерий функционирования системы, определяющий исследуемый режим ее функционирования;
- интенсивности отказов элементов  $\lambda_i$ , или средняя наработка до отказа  $t_{oi} = 1 / \lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ .

На первом этапе ОЛВМ в ходе формализованной постановки задачи разрабатывается логическая структурная схема функциональной целостности (СФЦ)  $G(X, Y)$  исследуемого ИК АСКУЭ (рис. 2), где  $X$  – множество вершин (бинарных событий,  $x_i$   $i = 1, 2, \dots, 5$  с вероятностью их появления  $p_i$ ), а  $Y$  – множество связывающих их дуг, которыми описываются выходные функции  $y_i, \bar{y}_i$ . Так, например, метрологический отказ  $x_1$  и выход из строя основного счетчика  $x_2$  относят к событиям, инициирующим нарушения,  $x_4$  – безошибочная работа диспетчера по управлению процессом устранения нарушений.

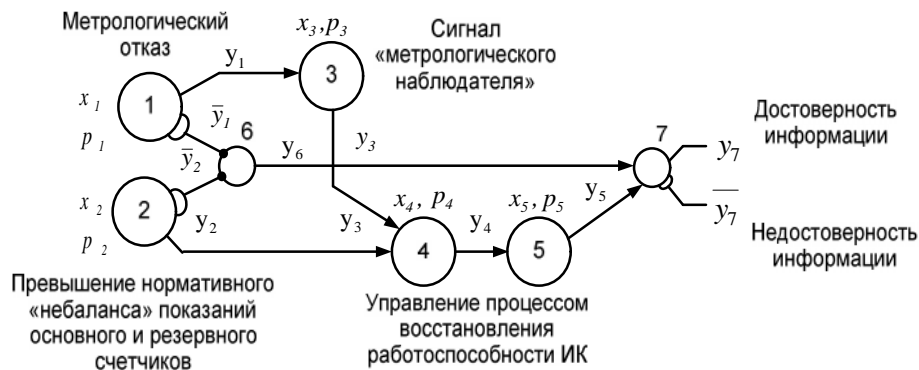


Рисунок 2 – СФЦ структурной модели достоверности ИК количества электроэнергии

В случае возникновения метрологического отказа  $x_1$  при безотказной работе встроенной системы самоконтроля в виде «метрологического наблюдателя»  $x_3$ , последний оповещает диспетчера об отказе специальным сигналом (световым или звуковым)  $y_3$ .

При достижении уровня потребления до таких значений, при которых измерения осуществляются в нижней части шкалы трансформатора тока с повышенными систематическими погрешностями, приводящими к метрологическому отказу  $y_1$ , диспетчер (оператор) информируется о возможности коррекции недостоверных результатов измерений с помощью «метрологического наблюдателя» за счет исключения систематической погрешности измерительного трансформатора тока. При

этом восстановление достоверности измерительной информации ( $y_7$ ) будет достигнуто, если диспетчером своевременно было начато управление процессом по восстановлению работоспособности ИК ( $y_4$ ) и не произойдет собственного отказа управления процессом восстановления ( $x_5$ ), путем проведения оператором комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение требуемого уровня потребления по контролируемому присоединению. При условии отсутствия отказов при управлении процессом восстановления работоспособности ИК ситуация получения недостоверной измерительной информации будет предотвращена или устранена, а время восстановления достоверного получения измерительной информации при наличии «метрологического наблюдателя» будет значительно сокращено.

Для целенаправленного анализа достоверного функционирования рассматриваемого участка ИК АСКУЭ на рисунке 2 с помощью фиктивных вершин 6 и 7 выполнены две группировки интегративных функций. Функция  $y_6 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2$  определяет отсутствие всех исходных событий (нет отказа и нет выхода из строя) нарушений. Прямая функция  $y_7 = y_6 \vee y_5$  определяет два возможных варианта достоверного функционирования рассматриваемого участка ИК:  $y_6$  реализуется при полном отсутствии возможных исходных причин нарушений, или  $y_5$  реализуется при условии возникновения хотя бы одной из причин нарушений и правильной работы элементов системы, т. е. иницирующих условий – сигнала метрологического отказа, работы диспетчера и управления процессом.

Система логических уравнений структурной модели достоверности ИК представлена ниже:

$$\begin{array}{llll}
 y_1 = x_1 & & & \bar{y}_4 = \bar{x}_4 \vee \bar{y}_2 \\
 y_2 = x_2 & & y_5 = x_5 \cdot y_4 & \bar{y}_1 = \bar{x}_1 & \bar{y}_5 = \bar{x}_5 \vee \bar{y}_4 \\
 y_3 = x_3 \cdot y_1 & & y_6 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2 & \bar{y}_2 = \bar{x}_2 & \bar{y}_6 = y_1 \vee y_2 \\
 y_4 = x_4 \cdot (y_2 \vee y_3) & & y_7 = y_6 \vee y_5 & \bar{y}_3 = \bar{x}_3 \vee \bar{y}_1 & \bar{y}_7 = \bar{y}_6 \cdot \bar{y}_5
 \end{array} \quad (3)$$

Первый этап ОЛВМ завершается определением вероятностных параметров  $p_i, q_i$  бинарных событий  $x_i, \bar{x}_i$  и определением логического критерия функционирования исследуемой системы. В нашем случае, логический критерий функционирования в виде критерия достоверности полученной измерительной информации определяется в соответствии с выражением

$$y_7 = y_6 \vee y_5 = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_5 \cdot x_4 \cdot x_2 \vee x_5 \cdot x_4 \cdot x_3 \cdot x_1. \quad (4)$$

Работоспособность ИК количества электроэнергии оценивается с помощью преобразованной логической функции работоспособности:

$$Y_c = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \vee x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot \bar{x}_2 \vee x_2 \cdot x_4 \cdot x_5. \quad (5)$$

По указанным в [5] правилам логической функции работоспособности преобразуется в многочлены вероятностной функции достоверности ИК:

$$P_c = p\{Y_c\} = q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5. \quad (6)$$

Так как коэффициент готовности ИК  $K_z = P_c$ , то, подставив известные значения  $p_i$  и  $q_i$  в выражение, получим

$$K_c = P_c = (1 - p_1)(1 - p_2) + p_1 p_3 p_4 p_5 (1 - p_2) + p_2 p_4 p_5. \quad (7)$$

Для вычисления средней наработки на отказ  $T_o$  воспользуемся в соответствии с [5] выражением

$$T_o = K_c \cdot \frac{1}{\sum_{C=1}^H \xi_i \lambda_i K_{ci}}. \quad (8)$$

Для определения  $T_o$  в соответствии с выражением (8) определим значимости  $\xi_i$  элементов измерительных каналов из выражения  $\xi_i = \frac{\partial K_c}{\partial \kappa_{ci}}$ :

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{\partial (q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5)}{\partial p_1} = -q_2 + p_3 p_4 p_5 q_2, \\ \xi_2 &= \frac{\partial (q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5)}{\partial p_2} = -q_1 - p_1 p_3 p_4 p_5 + p_4 p_5, \\ \xi_3 &= \frac{\partial (q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5)}{\partial p_3} = p_1 p_4 p_5 q_2, \\ \xi_4 &= \frac{\partial (q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5)}{\partial p_4} = p_1 p_3 p_5 q_2 + p_2 p_5, \\ \xi_5 &= \frac{\partial (q_1 q_2 + p_1 p_3 p_4 p_5 q_2 + p_2 p_4 p_5)}{\partial p_5} = p_1 p_3 p_4 q_2 + p_2 p_4. \end{aligned} \quad (9)$$

Исходя из полученных значений  $K_c$  и  $\xi_i$ , с учетом того, что  $\kappa_{ci} = p_i$ , из выражения (8) определяются значения  $T_o$  для каждого варианта построения АСКУЭ.

Полученные характеристики надежности выполнения измерительных функций могут служить основой для оценки метрологической надежности и установления длительности МПИ ИК АСКУЭ.

Как указывалось ранее, МПИ определяется по формуле (2). В данной формуле  $T_{mo}$  – средняя наработка ИК на метрологический отказ, для восстанавливаемых же систем этот показатель оценивается как  $T_o$ . При нормировании требуемого значения вероятности отсутствия метрологических отказов  $P_{MO}(\tau)$  после определения по предложенной методике  $T_o$  в соответствии с выражением (2) устанавливается длительность МПИ ИК АСКУЭ, в состав которого входит дополнительная функция «метрологического наблюдателя». Составляющая  $\tau_i$ , вызванная наличием этой функции, может быть определена как разность между МПИ ИК с базовым набором функций и полученными ранее значениями  $\tau$  с учетом действия в составе ИК функции «метрологического наблюдателя».

Рассмотрим несколько вариантов построения ИК АСКУЭ, отличающихся друг от друга как составом базовых функций, так и их надежностными характеристиками.

При этом предполагается, что стандартный ИК содержит измерительный комплекс, состоящий из измерительных трансформаторов и электронных счетчиков, канал связи, вычислительную компоненту в виде сервера АСКУЭ и программного модуля, обеспечивающего получение

и обработку поступающей с электронного счетчика измерительной информации.

В качестве факторов, определяющих риск получения недостоверной информации, выступают в данном случае два иницирующих нарушения события:

- выход из строя электронного счетчика;
- нарушение режима потребления электроэнергии, при котором уровень потребления выходит за допустимые пределы разрешенного в свидетельстве о государственной метрологической аттестации диапазона измерения с появлением повышенной погрешности измерения или возникновение метрологического отказа.

На рисунке 3 представлены результаты исследования модели надежности функционирования ИК АСКУЭ в виде графика рассчитанных значений длительностей межповерочных интервалов  $\tau$  в зависимости от наличия функции «метрологического наблюдателя» либо эффективности ее работы. При этом в модели приняты следующие основные параметры схемы функциональной целостности:  $\lambda_1 = 1,054 \cdot 10^{-5}$ ;  $p_1 = 0,9$ ;  $\lambda_2 = 5,129 \cdot 10^{-6}$ ;  $p_2 = 0,95$ ;  $\lambda_4 = \lambda_5 = 1 \cdot 10^{-6}$ ;  $p_4 = p_5 = 0,99$ . Коэффициенты готовности ее функциональных элементов в этом случае равны вероятностям событий застать элемент в любой момент времени на этапе времени  $t = 10\ 000$  час. в состоянии работоспособности. В варианте построения ИК факт отсутствия функций «метрологического наблюдателя» в модели СФЦ можно отразить значениями  $\lambda_3 = 1 \cdot 10^{-3}$ ;  $p_3 = 0,000045$ . Введение этой функции в вычислительную компоненту ИК на графике представлено различными значениями  $(\lambda_3, p_3)$  в виде ряда  $(9,16 \cdot 10^{-5}; 0,4)$ ,  $(5,1 \cdot 10^{-5}; 0,6)$ ,  $(2,23 \cdot 10^{-5}; 0,8)$ ,  $(1,05 \cdot 10^{-5}; 0,9)$ ,  $(5,129 \cdot 10^{-6}; 0,95)$ ,  $(1 \cdot 10^{-6}; 0,99)$ .

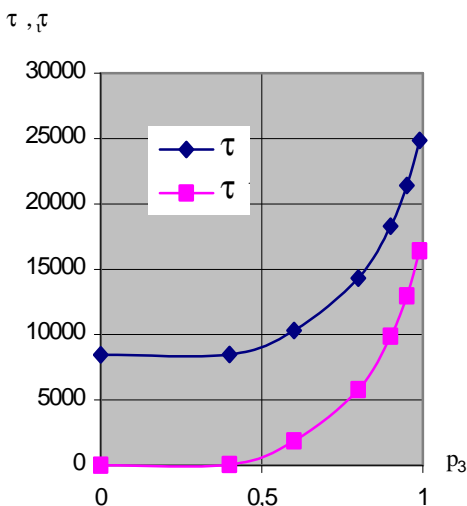


Рисунок 3 – Зависимость длительности МПИ ИК от наличия и эффективности реализации функции «метрологического наблюдателя»

Анализ целесообразности и степени эффективности введения «метрологического наблюдателя» показывает, что значение межповерочного интервала ИК при введении этой функции в значительной степени увеличивается от 1,69 до 2,94 раза в зависимости от качества реализации этой задачи, характеризующегося коэффициентом готовности функции  $K_{г3}=p_3$ , изменяющего свое значение от 0,8 до 0,99. Значение составляющей  $\tau_i$ , зависящей от наличия «метрологического

наблюдателя», изменяется соответственно в диапазоне от 5797 часов до 16407 часов.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренный в статье подход развивает общий логико-вероятностный метод анализа надежности систем для осуществления оценки вклада функции «метрологического наблюдателя» в улучшение такого эксплуатационного параметра автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии, как метрологическая надежность. Предложенная методика позволяет оценивать степень влияния на метрологическую надежность при введении в структуру измерительного канала АСКУЭ функциональной избыточности в виде дополнительных функций контроля и наблюдения за метрологическими отказами и их устранения, позволяющей обеспечивать требуемое значение такого комплексного показателя метрологической надежности как коэффициент готовности измерительного канала на конец межповерочного интервала. Это позволяет повышать метрологическую надежность путем увеличения межповерочного интервала при заданном значении коэффициента готовности.

Рассмотренная методика может быть применена для оценки метрологической надежности информационно-измерительной системы при введении в структуру ИК других перечисленных видов избыточности и формировании рекомендаций относительно целесообразности резервирования ИК при построении систем и применения функций контроля и наблюдения за параметрами системы.

## SUMMARY

### METROLOGICAL OBSERVER» AS AN INSTRUMENT OF METROLOGICAL RELIABILITY INCREASE OF AUTOMATED METERING SYSTEM

V. V. Arbuzov, O. V. Berezhna,  
Sumy State University, Sumy

*In article the technique of an estimation of the contribution of function «The metrological observer», raise of metrological reliability of the Automated Meter Reading System on an instance of introduction of functional redundancy in structure of a measuring channel in the form of additional functions of the control over metrological failures and their elimination is reviewed.*

**Key words:** recalibration interval, metrological failures, reliability.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электрической энергии (мощности) субъекта ОРЭ. Технические требования. – М.: НП «АТС», 2004.
2. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г. П. Богданов, В. А. Кузнецов, М. А. Лотонов, и др.; под ред. В. А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
3. Методика встановлення міжповерочних інтервалів. Рекомендація. Вимірально-інформаційні системи. РМУ / М. Ф. Наталюк, В. В. Арбузов, О. М. Кричевець. – Львів: ДП НДІ „Система”, 2004.
4. Арбузов В. В. Особенности применения метрологического наблюдателя при построении АСКУЭ субъектов ОРЭ / В. В. Арбузов, О. В. Бережная // Труды третьей научно-практической конференции «Информационные технологии в энергетике». – К.: Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины, 2004. – С. 24-37.
5. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно сложных систем: уч. пос. / А. С. Можаяев. – Л.: ВМА, 1988.

*Поступила в редакцию 6 марта 2012 г.*