

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-407-416

УДК 621.311.22

## **Эффективность контроля достоверности измерений в автоматизированных системах управления энергосистемами по предельным значениям**

**В. А. Анищенко<sup>1)</sup>, Т. В. Писарук<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** Высокий уровень эксплуатационной надежности энергетических систем практически невозможно обеспечить без оперативного контроля достоверности измерений переменных (электрических токов, напряжений, мощностей, энергий, температур, давлений), характеризующих состояние энергетического оборудования и технологические процессы. Реформирование и переход энергетики на рыночные отношения вынуждают повышать требования к достоверности измерительной информации. Недостоверные измерения являются потенциальным источником ошибочной диагностики неисправностей оборудования, приводят к неправильной работе противоаварийной автоматики и ошибочным действиям оперативного персонала при управлении технологическими процессами. Оперативные методы контроля достоверности, повышающие эксплуатационную надежность измерительной информации, основываются на использовании семантического значения измеряемых данных, их логичности, технологической непротиворечивости и согласованности. Эти методы используют технологический смысл измеряемых переменных и дополняют методы аппаратного контроля состояния автоматизированных систем управления на основе цифровых кодов, что повышает общую эксплуатационную надежность передачи, сбора и обработки информации. Наиболее распространенный семантический метод контроля – метод предельных значений («виллок»), когда числовое значение измеряемой переменной сравнивается с верхней и нижней границами достоверных значений. Недостатком метода предельных значений во многих случаях является его низкая разрешающая способность, обусловленная широким диапазоном, в котором располагаются достоверные результаты измерений. Это неоправданно сильно снижает вероятность обнаружения грубых и систематических погрешностей измерения. В связи с этим актуальна задача обоснованного сужения диапазона достоверных значений переменных, для решения которой используется теория статистических решений.

**Ключевые слова:** энергосистема, измерительная информация, контроль достоверности измерений, ложная тревога, пропуск грубой погрешности, разрешающая способность контроля

**Для цитирования:** Анищенко, В. А. Эффективность контроля достоверности измерений в автоматизированных системах управления энергосистемами по предельным значениям / В. А. Анищенко, Т. В. Писарук // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2017. Т. 60, № 5. С. 407–416. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-407-416

---

### **Адрес для переписки**

Анищенко Вадим Андреевич  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 65/2  
220013, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 292-65-52  
epp@bntu.by

### **Address for correspondence**

Anishchenko Vadim A.  
Belarusian National Technical University  
65/2 Nezavisimosty Ave.,  
220013, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 292-65-52  
epp@bntu.by

---

## The Effectiveness of Validation Measurements in Automated Systems of the Power Supply Systems Control in Accordance with Limit Values

V. A. Anishchenko<sup>1)</sup>, T. V. Pisaruk<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** A high level of operational reliability of power supply systems is virtually impossible to provide without operational control of the reliability of the measurement variables (currents, voltages, powers, energies, temperatures, pressures) that characterize the condition of power equipment and technological processes. Reforming the power engineering and its transition to market relations necessitate one to toughen the requirements for the reliability of the measuring information. Inaccurate measurements are a potential source of misdiagnosis of malfunctions of equipment and they cause incorrect operation of emergency control equipment and erroneous actions of operating personnel in the control of technological processes. Operational methods of reliability control that enhance the operational reliability of the measuring information are based on the usage of the semantic value of the measured data, their consistency, process consistency, and consistency of balance. These methods use technological sense of the measured variables and they complement the methods of hardware status monitoring of automated control systems based on digital codes. That improves the overall operational reliability of the transmission, collection and processing of information. The most common semantic method of control is the method of limits (“fork”) that compares the numeric value of the measured variable with the upper and lower boundaries of valid values. The disadvantage of limit values in many cases is its poor resolution, due to the wide range of appearance of results of measurements. This reduces the probability of detection of gross and systematic errors of measurements more than it may be accepted. With this regard, the objective of a reasonable narrowing of the range of valid values of the variables, that uses the theory of statistical decisions, acquires high relevance.

**Keywords:** power system, measurement data, validation of measurements, false alarm, omission of gross errors, resolution of control

**For citation:** Anishchenko V. A., Pisaruk T. V. (2017) The Effectiveness of Validation Measurements in Automated Systems of the Power Supply Systems Control in Accordance with Limit Values. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (5), 407–416. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-5-407-416 (in Russian)

### Постановка задачи

Необходимым условием семантического программно-логического контроля достоверности измерений является избыточность информации об их значениях. Основу информационной базы составляют результаты прямых (непосредственных) измерений. Дополнительная информация, обеспечивающая избыточность, может быть априорной и апостериорной [1, 2].

Априорная информация представляет собой ретроспективные данные об измеряемых переменных, накапливаемые в процессе работы контролируемого объекта и аналогичных ему, эксплуатируемых в одинаковых условиях. К таким данным относятся границы измерения значений переменных в нормальных условиях работы, вероятностные характеристики, описывающие случайный характер измерений контролируемых переменных, погрешности измеряемой аппаратуры.

Апостериорная избыточность информации может обеспечиваться резервированием измеряемой аппаратуры и путем использования уравнений взаимных связей между измеряемыми переменными.

Контроль достоверности по предельным значениям отдельно взятой переменной без учета ее функциональных зависимостей с другими переменными основан на использовании априорной избыточности информации и представляет собой дихотомическую задачу допускового контроля [3–9].

Результат измерения переменной  $x(t)$  признается достоверным, если выполняется условие

$$a(t) \leq x(t) \leq b(t), \quad (1)$$

где  $a(t)$ ,  $b(t)$  – нижняя и верхняя границы достоверных значений измеряемой переменной в нормальных условиях эксплуатации, в общем случае зависящие от изменения режимов работы электрооборудования.

На первом этапе контроля отбраковываются наиболее грубые погрешности измерений, попадающие в области вне диапазона  $b-a$ . Ширина этого диапазона определяет разрешающую способность контроля. Максимальное значение необнаруженной грубой погрешности равно ширине диапазона. Для ряда контролируемых переменных ширина диапазона достоверных значений относительно невелика. Например, для напряжений она соответствует нормированному отклонению от номинального уровня. В то же время для электрических токов и мощностей ширина диапазона может достигать больших величин в зависимости от конфигурации схемы электроснабжения и состава подключенных потребителей. Поэтому на втором этапе контроля производится оптимизация границ принятия решения о достоверности измерения, что позволяет сузить ширину диапазона достоверных значений переменных и тем самым повысить разрешающую способность метода.

### **Оптимизация границ достоверных измерений по критерию минимума средней цены обнаружения грубых погрешностей**

Алгоритм решения задачи поясняет рис. 1. Кривая 1 представляет плоскость распределения вероятности  $f_1(x_1)$  достоверного результата измерения  $x_1(t)$ , состоящего из суммы неизвестного истинного значения переменной  $\bar{x}(t)$  и случайной погрешности  $\varepsilon(t)$ , соответствующей паспортной точности измерительного прибора

$$x_1(t) = \bar{x}(t) + \varepsilon(t). \quad (2)$$

Кривая 2 – плотность распределения вероятности  $f_2(x_2)$  недостоверного результата измерений  $x_2(t)$  с грубой погрешностью  $n(t)$

$$x_2(t) = \bar{x}(t) + \varepsilon(t) + n(t). \quad (3)$$

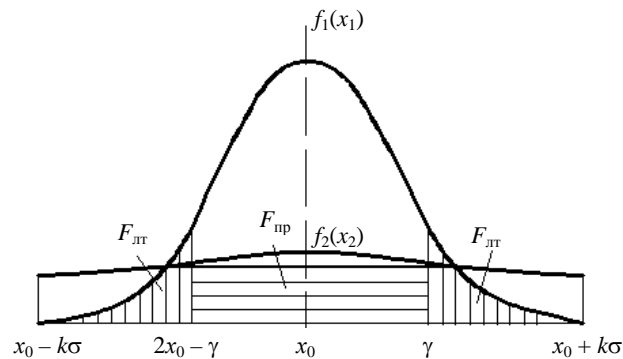


Рис. 1. Вероятностные характеристики достоверных и недостоверных измерений

Fig. 1. Probabilistic characteristics of reliable and unreliable measurements

Величина  $x_1(t)$  подвержена статистическому разбросу относительно среднего значения  $x_0$  вследствие изменения состава энергооборудования, условий и различных режимов работы потребителей энергии. Для многих технологических переменных этот разброс описывается нормальным законом распределения

$$f_1(x_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left[ -\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (4)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение переменной  $x_1$  от среднего значения  $x_0$ .

Значения  $x_0$  и  $\sigma$  определяются методами математической статистики на основе ретроспективной информации, накапливаемой в процессе эксплуатации энергообъектов.

Представим границы достоверных значений переменных  $x_1(t)$  в виде:

$$a(t) = x_0 - k\sigma; \quad b(t) = x_0 + k\sigma, \quad (5)$$

где  $k$  – квантиль, определяющий степень усечения нормального распределения переменной  $x_1(t)$ .

С учетом (5) условие достоверности измерений (1) примет вид

$$x_0 - k\sigma \leq x_1(t) \leq x_0 + k\sigma. \quad (6)$$

Выбор квантиля  $k$  носит спорный характер. В энергетике часто используют значение  $k = 3$  (правило «трех сигм»). Оно определяет попадание достоверных измерений в диапазон  $\pm 3\sigma$  с вероятностью 0,997.

Обозначив через  $\gamma$  верхнюю оптимальную границу принятия решения о достоверности измерения, получим симметричную нижнюю границу  $2x_0 - \gamma$ . Тогда условие достоверности измерений, соответствующее оптимальным границам, будет выглядеть следующим образом:

$$2x_0 - \gamma \leq x_1(t) \leq \gamma. \quad (7)$$

Оптимизация границ принятия решения о достоверности измерения осуществляется известными методами статистических решений [10, 11]. Согласно критерию Байеса, минимум средней цены многократного обнаружения грубых погрешностей измерений определяется выражением

$$C_{\text{ср}} = (1 - q)C_{\text{лт}}F_{\text{лт}} + qC_{\text{пр}}F_{\text{пр}} = \min, \quad (8)$$

где  $q$  – априорная вероятность грубой погрешности измерения;  $C_{\text{лт}}$  – цена ложной тревоги (ошибочного решения о появлении грубой погрешности, когда на самом деле измерение достоверно);  $C_{\text{пр}}$  – цена пропуска грубой погрешности (ошибочного решения о достоверности измерения);  $F_{\text{лт}}$  – вероятность ложной тревоги;  $F_{\text{пр}}$  – вероятность пропуска грубой погрешности.

Вероятность  $F_{\text{лт}}$  определяется формулой

$$F_{\text{лт}} = 2 \int_{\gamma}^{x_0 + k\sigma} f_1(x_1) dx. \quad (9)$$

Распределение грубых погрешностей измерений с учетом их предварительной отбраковки по условию (6) при  $k = 3$  принимаем равномерным

$$f(n) = \frac{1}{12\sigma}. \quad (10)$$

Тогда закон распределения недостоверных результатов измерений с учетом (3) описывается выражением

$$f_2(x_2) = \frac{1}{12\sigma} \left[ \Phi\left(\frac{x_0 + 3\sigma - \gamma}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_0 - 3\sigma - \gamma}{\sigma}\right) \right], \quad (11)$$

где  $\Phi\left(\frac{x_0 + 3\sigma - \gamma}{\sigma}\right)$ ,  $\Phi\left(\frac{x_0 - 3\sigma - \gamma}{\sigma}\right)$  – нормированные функции Лапласа [10].

Вероятность пропуска грубой погрешности

$$F_{\text{пр}} = 2 \int_{x_0}^{\gamma} f_2(x_2) dx. \quad (12)$$

Для нахождения минимума средней цены многократного обнаружения грубых погрешностей в зависимости от границ достоверности вычисляем

первую производную  $\frac{dC_{\text{ср}}}{d\gamma}$  с учетом (9), (12) и приравниваем ее к нулю

$$\frac{dC_{\text{ср}}}{d\gamma} = (1 - q)C_{\text{лт}}f_1(\gamma) + qC_{\text{пр}}f_2(\gamma) = 0. \quad (13)$$

Из (13) получаем

$$\wedge = \frac{f_2(\gamma)}{f_1(\gamma)} = \frac{(1 - q)C_{\text{лт}}}{qC_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

где  $\wedge$  – коэффициент правдоподобия, соответствующий верхней оптимальной границе  $\gamma_{\text{опт}}$  [11, 12].

Согласно [13], вероятность грубых погрешностей при выполнении функций сбора и предварительной обработки измерительной информации достигает величины  $q = 0,05$ . Оптимальные границы достоверности измерений должны учитывать возможность последствий ложной тревоги и пропуска грубой погрешности. Например, в задачах, связанных с работой устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, следует учитывать, с одной стороны, недоотпуск электроэнергии из-за ошибочного

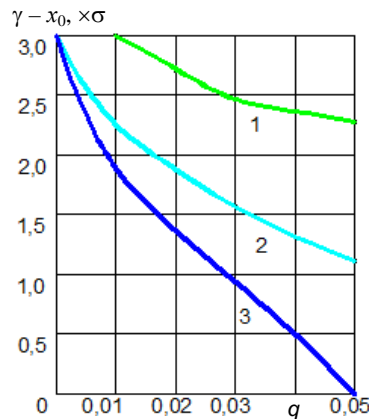


Рис. 2. Оптимальная граница достоверных измерений по критерию минимума средней цены обнаружения грубых погрешностей

Fig. 2. The optimal boundary of reliable measurements with the criterion of the minimum average price of the detection of rough errors

отключения контролируемого объекта, а с другой — отрицательные последствия работы неотключенного объекта в ненормальных и аварийных условиях. В большинстве случаев принимается, что цена пропуска грубой погрешности существенно превышает цену ложной тревоги ( $C_{пр} \gg C_{лт}$ ). Выбор цен  $C_{пр}$ ,  $C_{лт}$  в определенной степени облегчается благодаря тому, что отсутствует необходимость определять их в абсолютных величинах, а достаточно ограничиться их отношением. Зависимости оптимальной верхней границы достоверности от цен ошибочных решений при ее определении и априорной вероятности грубой погрешности представлены на рис. 2, где кривая 1 соответствует отношению  $C_{пр}/C_{лт} = 10$ ; кривая 2 —  $C_{пр}/C_{лт} = 50$ ; кривая 3 —  $C_{пр}/C_{лт} = 100$ .

### Оптимизация границ достоверных измерений по критерию минимакса

Понятие грубой погрешности измерения носит расплывчатый характер и допускает его произвольное толкование. Обычно погрешностям измерений придают какие-либо полезные статистические характеристики, на основе которых обосновывают отличие грубой погрешности от допустимой. Интуитивно под грубой понимают погрешность, явно искажающую результат измерения. Попытки ее формализации с целью однозначной количественной оценки сводятся к сравнению значения соответствующей статистики при заданном уровне значимости с квантилем стандартного распределения (критерии «трех сигм», Шовене, Романовского и др.). Однако это не решает проблему, а только переносит неопределенность понятия грубой погрешности на выбор уровня значимости и квантиля распределения.

Вторая трудность контроля достоверности состоит в большой неопределенности цен ложной тревоги и пропуска грубой погрешности. Как правило, их можно оценить только приблизительно.

В рассмотренных обстоятельствах альтернативой контроля по критерию минимума средней цены (9) является контроль по критерию минимакса [11, 12, 14]

$$C = (1 - q)C_{\text{лт}} + qC_{\text{пр}} = \min \max; \quad q = \text{var}; \quad \frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{лт}}} = \text{var}. \quad (15)$$

Суть такого подхода заключается в нахождении границы  $\gamma$ , гарантирующей наименьшее значение цены обнаружения грубой погрешности при самых «неблагоприятных» значениях вероятности  $q$  и цен  $C_{\text{пр}}$ ,  $C_{\text{лт}}$ .

Минимальное значение  $C$  соответствует минимальному отклонению по модулю  $\Delta\gamma_{ij}$  оптимальных границ  $\gamma_i$ , определенных по критерию (8) из условия равенства истинных и фактических значений параметров  $q$ ,  $C_{\text{лт}}$ ,  $C_{\text{пр}}$  от определенной по критерию (15) общей оптимальной для всех этих параметров границы  $\gamma_j^{\text{опт}}$

$$C = \Delta\gamma_{ij} = |\gamma_i - \gamma_j| = \min \max; \quad \gamma_i = \text{var}; \quad \gamma_j = \text{var}. \quad (16)$$

При этом в качестве общей границы рассматриваются все возможные по (8) оптимальные границы достоверности  $\gamma_j$  для всех значений параметров  $q$ ,  $C_{\text{лт}}$ ,  $C_{\text{пр}}$ .

Все возможные значения  $\Delta\gamma_{ij}$  представлены в табл. 1.

Таблица 1

Возможные значения отклонений  $\Delta\gamma_{ij}, \times \sigma$   
The possible values of the deviations of  $\Delta\gamma_{ij}, \times \sigma$

$\frac{C_{\text{пр}}}{C_{\text{лт}}}$	10	10	10	10	10	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100
$q$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$\gamma_i \times \sigma$	3,00	2,70	2,47	2,32	2,22	2,25	1,8	1,55	1,35	1,10	1,80	1,35	0,90	0,50	0
$\gamma_i = 3,00$	0	-0,3	-0,53	-0,68	-0,78	-0,75	-1,2	-1,45	-1,65	-1,9	-1,2	-1,65	-2,1	-2,5	-3
$\gamma_j = 2,70$	0,3	0	-0,23	-0,38	-0,48	-0,45	-0,9	-1,15	-0,35	-1,6	-0,9	-1,35	-1,8	-2,2	-2,7
$\gamma_j = 2,47$	0,53	0,23	0	-0,15	-0,25	-0,22	-0,67	-0,92	-1,12	-1,37	-0,67	-1,12	-1,57	-1,97	-2,47
$\gamma_j = 2,32$	0,68	0,38	0,15	0	-0,1	-0,07	-0,52	-0,77	-0,97	-1,22	-0,52	-0,97	-1,42	-1,82	-2,32
$\gamma_j = 2,22$	0,78	0,48	0,25	0,1	0	0,03	-0,42	-0,67	-0,87	-1,12	-0,42	-0,87	-1,32	-1,72	-2,22
$\gamma_j = 2,25$	0,75	0,45	0,22	0,07	-0,03	0	-0,45	-0,7	-0,9	-1,15	-0,45	-0,9	-1,35	-1,75	-2,25
$\gamma_j = 1,8$	1,2	0,9	0,67	0,52	0,42	0,45	0	-0,25	-0,45	-0,7	0	-0,45	-0,9	-1,3	-1,8
$\gamma_j = 1,55$	1,45	1,15	0,92	0,77	0,67	0,7	0,25	0	-0,2	-0,45	0,25	-0,2	-0,65	-1,05	-1,55
$\gamma_j = 1,35$	1,65	1,35	1,12	0,97	0,87	0,9	0,45	0,2	0,05	-0,25	0,45	0	-0,45	-0,85	-1,35
$\gamma_j = 1,10$	1,9	1,6	1,37	1,22	1,12	1,15	0,7	0,45	0,25	0	0,7	0,25	-0,2	-0,6	-1,1
$\gamma_j = 1,80$	1,2	0,9	0,67	0,52	0,42	0,45	0	-0,25	-0,45	-0,7	0	-0,45	-0,9	-1,3	-1,8
$\gamma_j = 1,35$	1,65	1,35	1,12	0,97	0,87	0,9	0,45	0,2	0	-0,25	0,45	0	-0,45	-0,85	-1,35
$\gamma_j = 0,90$	2,1	1,8	1,57	1,42	1,32	1,35	0,9	0,65	0,45	0,2	0,9	0,45	0	-0,4	-0,9
$\gamma_j = 0,50$	2,5	2,2	1,97	1,82	1,72	1,75	1,3	1,05	0,85	0,6	1,3	0,85	0,4	0	-0,5
$\gamma_j = 0,00$	3,00	2,70	2,47	2,32	2,22	2,25	1,8	1,55	1,35	1,10	1,80	1,35	0,90	0,50	0

Влияние изменений величин параметров  $q$ ,  $C_{лт}$ ,  $C_{пр}$  на отклонения  $\Delta\gamma_{ij}$  от оптимальной границы  $\gamma_j^{опт} = 1,55$ , определенные по критерию минимакса (16), показано на рис. 3, где кривая 1 соответствует отношению  $C_{пр}/C_{лт} = 10$ ; кривая 2 –  $C_{пр}/C_{лт} = 50$ ; кривая 3 –  $C_{пр}/C_{лт} = 100$ .

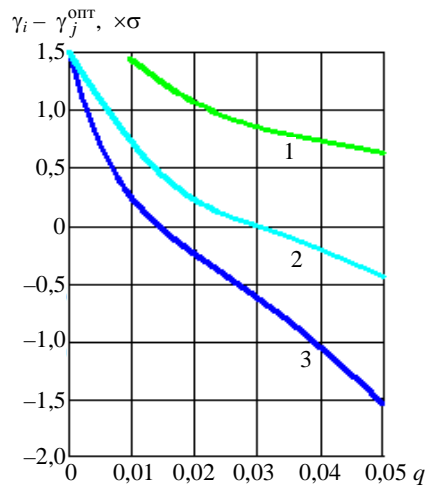


Рис. 3. Отклонения  $\Delta\gamma_{ij}$  от оптимальной общей границы  $\gamma_j^{опт} = 1,55$

Fig. 3. The deviations of  $\Delta\gamma_{ij}$  from the optimal general border  $\gamma_j^{опт} = 1.55$

### Разрешающая способность контроля достоверности измерений по предельным значениям

Эффективность оперативного контроля достоверности измерений по предельным значениям можно оценить его разрешающей способностью. В общем случае под разрешающей способностью понимают минимальные значения различий, обнаруживаемых измерительным прибором в однородных явлениях. В рассматриваемой задаче контроля разрешающая способность (РС) определяет наименьшее значение грубой погрешности, которое позволяет выявить контроль по предельным значениям.

Обоснованный суженный диапазон достоверных измерений по сравнению с диапазоном, определенным по правилу «трех сигм», повышает разрешающую способность контроля в процентном выражении на величину

$$\Delta PC = \frac{x_0 + 3\sigma - \gamma_{опт}}{x_0 + 3\sigma} \cdot 100 \%. \quad (17)$$

Наибольшее повышение разрешающей способности достигается посредством контроля достоверности по критерию минимума средней цены многократного распознавания грубой погрешности (8). По этому критерию, исходя из значений отклонений, приведенных в табл. 1, определяем повышение разрешающей способности контроля достоверности при различных значениях параметров  $q$ ,  $C_{лт}$ ,  $C_{пр}$ . Результаты расчета представлены на рис. 4, где кривая 1 соответствует отношению  $C_{пр}/C_{лт} = 10$ ; кривая 2 –  $C_{пр}/C_{лт} = 50$ ; кривая 3 –  $C_{пр}/C_{лт} = 100$ .



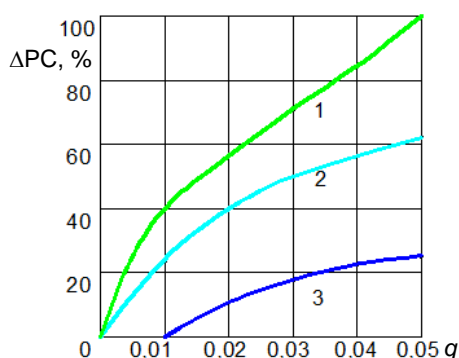


Рис. 4. Повышение разрешающей способности контроля достоверности по критерию минимума средней цены обнаружения грубых погрешностей

Fig. 4. Increase of the resolution validation according the criterion of minimum average rates of detection of rough errors

### ВЫВОДЫ

1. Эффективность оперативного контроля достоверности измерений в автоматизированных системах управления энергосистемами по предельным значениям существенно зависит от ширины диапазона достоверных результатов измерений. Обоснованное сужение диапазона на основе теории статистических решений позволит повысить разрешающую способность контроля и его эффективность.

2. При известной априорной информации о вероятности грубой погрешности измерения и ценах ложной тревоги и пропуска грубой погрешности оптимальное сужение границы достоверности измерения определяется по критерию минимума средней цены многократного распознавания недостоверного измерения.

3. При отсутствии надежной исходной информации о вероятности грубой погрешности и ценах ошибочных решений оптимизация границ достоверных измерений производится по критерию минимума максимально возможной цены многократного распознавания недостоверного измерения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамиконов, А. Г. Достоверность, защита и резервирование информации в АСУ / А. Г. Мамиконов, В. В. Кульба, А. Б. Шелков. М.: Энергоатомиздат, 1986. 304 с.
2. Терновых, Ю. П. Информационная избыточность и контроль достоверности в системах управления / Ю. П. Терновых, Ю. И. Жамков // Приборы и системы управления. 1976. № 5. С. 7–8.
3. Зингер, И. С. Обеспечение достоверности данных в автоматизированных системах управления производством / И. С. Зингер, Б. С. Куцык. М.: Наука, 1974. 298 с.
4. Шаракшанэ, А. С. Сложные системы / А. С. Шаракшанэ, И. Г. Железнов, В. А. Ивницкий. М.: Высш. шк., 1977. 248 с.
5. Ицкович, Э. Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин / Э. Л. Ицкович. М.: Энергия, 1975. 416 с.
6. Контроль достоверности оперативной информации в автоматизированной системе диспетчерского управления энергетической системой / И. О. Кнеллер [и др.] // Электричество. 1977. № 4. С. 5–10.

7. Анищенко, В. А. К задаче контроля достоверности информации в АСУ ТП электростанций / В. А. Анищенко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений. 1985. № 8. С. 16–20.
8. Анищенко, В. А. Надежность измерительной информации в системах электроснабжения / В. А. Анищенко. Минск: БГПА, 2000. 128 с.
9. Анищенко, В. А. Общая структура контроля достоверности измерений взаимосвязанных параметров энергетических объектов / В. А. Анищенко, Т. Н. Казанская // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений. 1989. № 9. С. 33–37.
10. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. М.: Наука, 1969. 512 с.
11. Горелик, А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. М.: Высш. шк., 1984. 208 с.
12. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
13. Ринкус, Э. К. Нормирование показателей надежности АСУ ТП энергоблоков ТЭС / Э. К. Ринкус // Теплоэнергетика. 1996. № 1. С. 57–61.
14. Анищенко, В. А. Контроль достоверности измерений в энергетических системах на основе теории статистических решений / В. А. Анищенко // Энергетика. Изд. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2003. № 6. С. 5–15.

Поступила 28.03.2017    Подписана в печать 02.06.2017    Опубликована онлайн 29.09.2017

#### REFERENCES

1. Mamikonov A. G., Kul'ba V. V., Shelkov A. B. (1986) *Reliability, Protection and Redundancy of Information in the ACS*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 304 (in Russian).
2. Ternovykh Yu. P., Zhamkov Yu. I. (1976) Information Redundancy and Reliability Control in Control Systems. *Pribory i Sistemy Upravleniya* [Instruments and Systems of Monitoring], (5), 7–8 (in Russian).
3. Zinger I. S., Kutsyk B. S. (1974) *Ensuring Data Reliability in Automated Production Control Systems*. Moscow, Nauka Publ. 298 (in Russian).
4. Sharakshane A. S., Zheleznov I. G., Ivnikskii V. A. (1977) *Complex Systems*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 248 (in Russian).
5. Itskovich E. L. (1975) *Production Control with the Use of Computers*. Moscow, Energiya Publ. 416 (in Russian).
6. Kneller I. O., Oranskii A. G., Kolomyichenko A. V. [et al.] (1977) Validation of the Operational Information in the Automated System of Dispatching Control of Energy System. *Elektrichestvo = Electricity*, (4), 5–10 (in Russian).
7. Anishchenko V. A. (1985) Towards the Objective of Monitoring the Accuracy of Information in the Process Control System of Power Plants. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii*. [Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions], (8), 16–20 (in Russian).
8. Anishchenko V. A. (2000) *The Reliability of Measurement Data in Power Systems*. Minsk, Belarusian State Polytechnic Academy. 128 (in Russian).
9. Anishchenko V. A., Kazanskaya T. N. (1989) The Overall Structure of the Validation Measurements of Interdependent Parameters of the Power Facilities. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii*. [Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions], (9), 33–37 (in Russian).
10. Smirnov N. V., Dunin-Barkovskii I. V. (1969) *Training Course of Probability Theory and Mathematical Statistics for Technical Applications*. Moscow, Nauka Publ. 512 (in Russian).
11. Gorelik A. L., Skripkin V. A. (1984) *Methods of Recognition*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ. 208 (in Russian).
12. Birger I. A. (1978) *Technical Diagnostics*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 240 (in Russian).
13. Rinkus E. K. (1996) Rationing of Indicators of Reliability of ACS of a Heating Unit of Power Units. *Teploenergetika = Thermal Engineering*, (1), 57–61 (in Russian).
14. Anishchenko V. A. (2003) Control the Reliability of Measurements in Power Systems Based on Statistical Decision Theory. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (6), 5–15 (in Russian).

Received: 28 March 2017

Accepted: 2 June 2017

Published online: 29 September 2017