УДК 614.8

*В.И. Кривцова, д.т.н., профессор, НУГЗУ,*
*Я.Ю. Кальченко, магистр, НУГЗУ,*
*Ю.А. Абрамов, д.т.н., профессор, гл. научн. сотр., НУГЗУ*

# КОМПЛЕКСНЫЙ ДАТЧИК ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Приведены принципы построения и алгоритм работы комплексного датчика первичной информации системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, обеспечивающего повышение точности измерения.

**Ключевые слова:** датчик первичной информации, система мониторинга, опасный фактор чрезвычайной ситуации.

***Постановка проблемы***. Эффективность функционирования системы мониторинга чрезвычайных ситуаций (СМЧС) во многом определяется совершенством технических характеристик ее датчиков первичной информации (ДПИ). Одной из проблем при этом является обеспечение требуемых метрологических характеристик таких датчиков, что может быть реализовано путем распространения методов технической кибернетики на процедуру синтеза ДПИ.

***Анализ последних исследований и публикаций***. Основные принципы построения систем мониторинга чрезвычайных ситуаций рассматривалась в [1], где отмечается, что такие системы включают три подсистемы, одна из которых обеспечивает сбор, обработку и хранение информации о чрезвычайных ситуациях. Там же приведены сведения о ДПИ таких подсистем. Наиболее полная информация о ДПИ и их технических характеристиках СМЧС приведена в [2]. Следует отметить, что на пути совершенствования метрологических характеристик ДПИ таких систем еще не все возможности исчерпаны.

***Постановка задачи и ее решение***. Целью работы является обоснование возможности построения ДПИ СМЧС с улучшенными метрологическими характеристиками.

Рассмотрим комплексный ДПИ (КДПИ), который содержит N однотипных ДПИ, осуществляющих параллельное определение опасного фактора чрезвычайной ситуации x(t). Выходные сигналы $\theta_i(t)$ ДПИ суммируются с весами $\alpha_i$, т.е. выходной сигнал КДПИ определяется в соответствии с выражением

$$y(t) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \theta_i(t). \quad (1)$$

Весовые коэффициенты $\alpha_i$ определим из условия обеспечения минимума математического ожидания величины квадрата погрешности, т.е.

$$\min M\left[\beta^2(t)\right] = \min M\left[x(t) - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \theta_i(t)\right]^2. \tag{2}$$

Представим погрешность $\beta_i(t)$ i-го ДПИ в виде ряда

$$\beta_i(t) = \beta_i\left[x(t)\right] = \alpha_{i0}(t) + \alpha_{i1}(t)x(t) + \cdots + \alpha_{ik}(t)\frac{d^k x(t)}{dt^k} + \cdots + \alpha_{im}(t)\frac{d^m x(t)}{dt^m}, \tag{3}$$

где $\alpha_{ik}(t)$, $k = \overline{0,m}$ – независимые между собой и от $x(t)$ случайные функции, причем $M\left[\alpha_{ik}(t)\right] = 0$.

Выходные сигналы каждого ДПИ представим в виде

$$\theta_i(t) = x(t) + \beta_i\left[x(t)\right], \quad i = \overline{1,N}, \tag{4}$$

а выражение (2) с учетом (1) – в виде

$$M\left[\beta(x)\right]^2 = M\left[x^2(t)\right] - 2\sum_{i=1}^{N} \alpha_i M\left[\theta_i(t), x(t)\right] + \sum_{i,j=1}^{N} \alpha_i \alpha_j M\left[\theta_i(t), \theta_j(t)\right]. \tag{5}$$

Оптимальное значение весовых коэффициентов $\alpha_i$ определяется решениями задачи параметрической оптимизации, т.е. путем решения системы уравнений

$$\frac{\partial M\left[\beta(x)\right]^2}{\partial \alpha_i} = 0, \quad i = \overline{1,N}, \tag{6}$$

которую с учетом (5) можно записать следующим образом

$$\alpha_i M\left[\beta_i^2(x)\right] + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} \alpha_j M\left[\theta_i(t), \theta_j(t)\right] - M\left[x(t), \theta_j(t)\right] = 0, \; i, j = \overline{1,N} \tag{7}$$

С учетом (3) эта система уравнений трансформируется к виду

$$\alpha_i\left\{M\left[x^2(t)\right]+2M\left[\beta_i(x),x(t)\right]+M\left[\beta_i(x)^2\right]\right\}+$$
$$+\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N}\alpha_j\left\{M\left[x^2(t)\right]+M\left[\beta_i(x),x(t)\right]+M\left[\beta_j(x),x(t)\right]+M\left[\beta_i(x),\beta_j(x)\right]\right\}-$$
$$-M\left[x^2(t)\right]-M\left[\beta_i(x),x(t)\right]=0,\quad i,j=\overline{1,N}. \qquad (8)$$

Вследствие того, что $M\left[\alpha_{ik}(t)\right]=0$, то будет иметь место

$$M\left[\beta_i(x),x(t)\right]=M\left[\beta_i(x)\right]=0, \qquad (9)$$

с учетом чего система (8) окончательно приобретает вид

$$\alpha_i\left\{M\left[x^2(t)\right]+D_{\beta_i}\right\}+\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{N}\alpha_j\left\{M\left[x^2(t)\right]+R_{\beta_i\beta_j}\right\}-M\left[x^2(t)\right]=0,\quad i,j=\overline{1,N}, \qquad (10)$$

где $D_{\beta_i}=M\left[\beta_i^2(x)\right]$ дисперсия случайной функции $\beta_i(x)$; $R_{\beta_i\beta_j}=M\left[\beta_i(x),\beta_j(x)\right]$ – взаимная корреляционная функция случайных процессов $\beta_i(x)$ и $\beta_j(x)$.

Система из N уравнений (10) служит для формирования алгоритма определения весовых коэффициентов $\alpha_i$, обеспечивающего функционирование КДПИ.

Рассмотрим частный случай, когда при построении КДПИ используются однотипные ДПИ. В этом случае имеет место

$$R_{\beta_i\beta_j}=0,\quad D_{\beta_i}=D_\beta. \qquad (11)$$

Тогда из (10) для $\alpha_i=\alpha$ следует

$$\alpha=\left(N+n\right)^{-1}, \qquad (12)$$

где $n=\dfrac{D_\beta}{M\left[x^2(t)\right]}$ – параметр, определяющий соотношение между погрешностью ДПИ и величиной сигнала, несущего информацию об опасном факторе чрезвычайной ситуации.

Значение параметра α будет соответствовать минимуму математического ожидания квадрата погрешности КДПИ

$$\min M\left[\beta_i^2(x)\right] = \frac{D_\beta}{N+n}. \qquad (13)$$

Из (13) следует, что при $n \to 0$, т.е. для КДПИ, который реализован с использованием прецизионных ДПИ, погрешность определения опасного фактора чрезвычайной ситуации изменяется в $\sqrt{N}$ раз.

На рис. 1 приведена графическая зависимость

$$\varphi(N,n) = \left[\min M\left[\beta_i^2(x)\right] D_\beta^{-1}\right]^{-0,5}, \qquad (14)$$

которая характеризует возрастание точности определения опасного фактора чрезвычайной ситуации при использовании КДПИ по сравнению с использованием ДПИ. Фактически зависимость (14) отражает эффективность использования КДПИ.

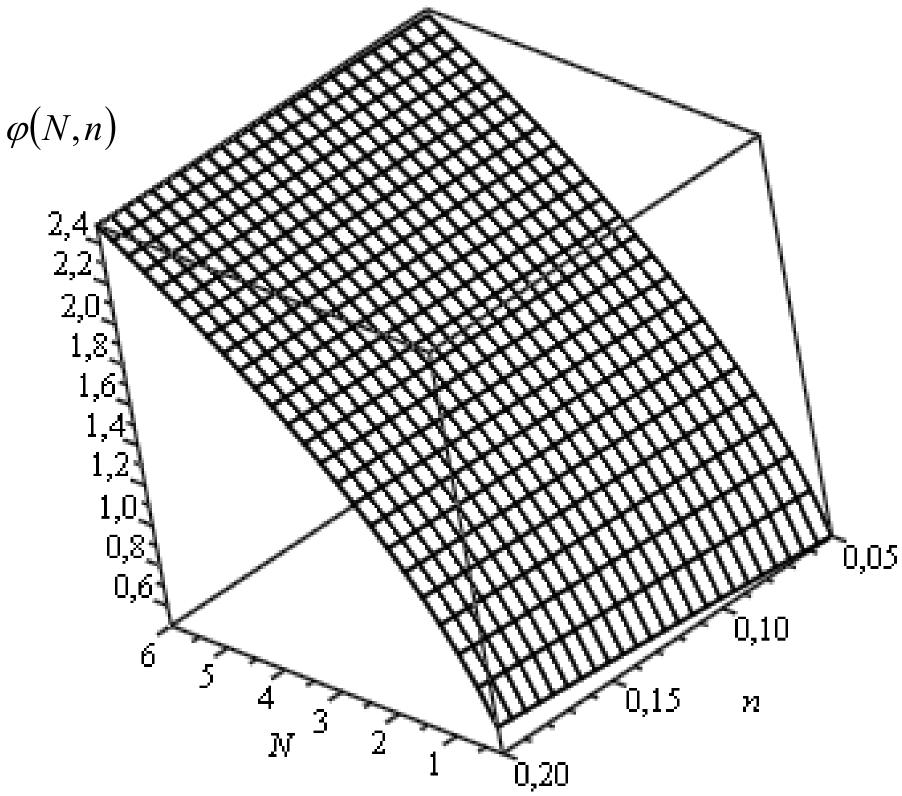


**Рис. 1. К оценке эффективности КДПИ**

Из анализа этой зависимости следует, что при $0{,}05 \le n \le 0{,}2$ применение КДПИ, который включает от двух до шести однотипных ДПИ, обеспечивает увеличение точности определения опасного фактора чрезвычайной ситуации по сравнению с использованием одного ДПИ от 1,4 до 2,5 раз.

Эти результаты получены без учета надежности элементов КДПИ, в частности, ДПИ. Рассмотрим, каким образом влияет надежность ДПИ на точность определения опасного фактора чрезвычайной ситуации. В связи с этим будем полагать, что i-й ДПИ может находиться в двух состояниях – ДПИ исправен с вероятностью $P_i$, если его выходной сигнал описывается выражением (4), или ДПИ отказал с вероятностью $1–P_i$, если его выходной сигнал не зависит от входного сигнала x(t).

Если КДПИ реализован на однотипных ДПИ, то $D_\beta = D$, $R_{\beta_i\beta_j} = R$, $P_i = P = \exp(-\lambda t)$, где $\lambda$ – интенсивность отказов ДПИ. Тогда, согласно (12) будет иметь место

$$\alpha = \frac{M\left[x^2(t)\right]}{\left[1+(N-1)P\right]M\left[x^2(t)\right] + D + D_0 P^{-1}(1-P) + P(N-1)R}, \qquad (15)$$

где $D_0$ – дисперсия выходного сигнала при отказе ДПИ.

С учетом (7) оптимальному весовому коэффициенту $\alpha$ будет соответствовать минимум математического ожидания квадрата погрешности КДПИ

$$\alpha = \frac{M\left[x^2(t)\right]\left\{M\left[x^2(t)\right](1-P) + D + D_0 P^{-1}(1-P) + P(N-1)R\right\}}{\left[1+(N-1)P\right]M\left[x^2(t)\right] + D + D_0 P^{-1}(1-P) + P(N-1)R}. \qquad (16)$$

Пример. В качестве ДПИ используется датчик температуры, для которого $\lambda^{-1} = 6 \cdot 10^{-4}$ час. Тогда $P \approx 0{,}85$. Пусть N=3; $DM\left[x^2(t)\right]^{-1} = 4 \cdot 10^{-2}$; $D_0 M\left[x^2(t)\right]^{-1} = 3{,}0$; R=0.

В этом случае выигрыш от учета надежности элементов КДПИ по показателю в виде дисперсии погрешности, составляет около 9%.

***Выводы.*** Приведены принципы построения комплексного датчика первичной информации, ориентированного на измерение опасных факторов чрезвычайных ситуаций. В основе построения такого датчика лежит суммирование сигналов, поступающих от датчиков первичной информации, с весовыми коэффициентами, оптимальные значения которых являются решениями оптимизационной задачи параметрического типа.

Показано, что величина погрешности такого КДПИ снижается примерно в $\sqrt{N}$ раз, а для малого числа ДПИ (N~3÷4) и при не очень больших вероятностях их безотказной работы (P~0,7÷0,85) – величина методической погрешности из-за неучета надежности ДПИ не превышает 10%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Основы мониторинга и управления в условиях чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха и др. – Х.: АГЗУ, 2005. – 257 с.

2. Абрамов Ю.О. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірочкін та ін. –Х.: АЦЗУ, 2005. – 530 с.

В.І. Кривцова, Я.Ю. Кальченко, Ю.О. Абрамов

**Комплексний датчик первинної інформації системи моніторингу надзвичайних ситуацій**

Наведено принципи побудови та алгоритм роботи комплексного датчика первинної інформації системи моніторингу надзвичайних ситуацій, що забезпечує підвищення точності вимірювання.

**Ключові слова:** датчик первинної інформації, система моніторингу, небезпечний фактор надзвичайної ситуації.

V.I. Krivtsova, Y.Y. Kalchenko, Y.A. Abramov

**Integrated sensor primary information emergency monitoring system**

The principles of construction and operation algorithm integrated sensor extremely primary information system for monitoring situations in more accurate measurements.

**Keywords:** sensor primary information system for monitoring, hazard Emergency Situations.