

*Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,
Басманов А.Е., д-р техн. наук, гл. науч. сотр., НУГЗУ*

СТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

По критерию минимума взвешенной суммы ошибок первого и второго рода определено оптимальное количество датчиков первичной информации, входящих в комплексный датчик, при срабатывании которых следует инициировать систему ослабления последствий чрезвычайной ситуации

Ключевые слова: датчик первичной информации, система ослабления последствий чрезвычайной ситуации, вероятность отказа

Постановка проблемы. Одним из основных направлений сокращения ущерба от чрезвычайных ситуаций является их своевременное обнаружение и запуск системы ослабления их последствий. Применение технических систем, использующих датчики первичной информации об опасных факторах чрезвычайной ситуации, сталкивается с проблемой отказа датчиков и их ложного срабатывания. Одним из путей решения проблемы является структурный метод, сводящийся к объединению нескольких датчиков первичной информации в один комплексный датчик с помощью устройства выбора, обеспечивающего выдачу результирующего сигнала в зависимости от выходных сигналов датчиков.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] предложен структурный подход к повышению надежности пожарного извещателя, заключающийся в объединении нескольких пожарных извещателей в комплексный пожарный извещатель с помощью мажоритарного устройства. Однако возможность ложных срабатываний там не рассматривается. В работе [2] предложен критерий максимума разности между вероятностями срабатывания и ложного срабатывания комплексного извещателя, но не рассмотрен выбор весовых коэффициентов для ошибок первого и второго рода.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является выбор количества k_0 датчиков первичной информации, входящих в комплексный датчик из n одинаковых датчиков первичной информации, при получении сигнала от которых следует инициировать систему ослабления последствий чрезвычайной ситуации.

Будем предполагать, что датчики первичной информации (рис. 1) подвергаются воздействию некоррелированных случайных помех $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, ..., $\varepsilon_n(t)$, вследствие чего их срабатывание носит случайный характер и не зависит друг от друга.

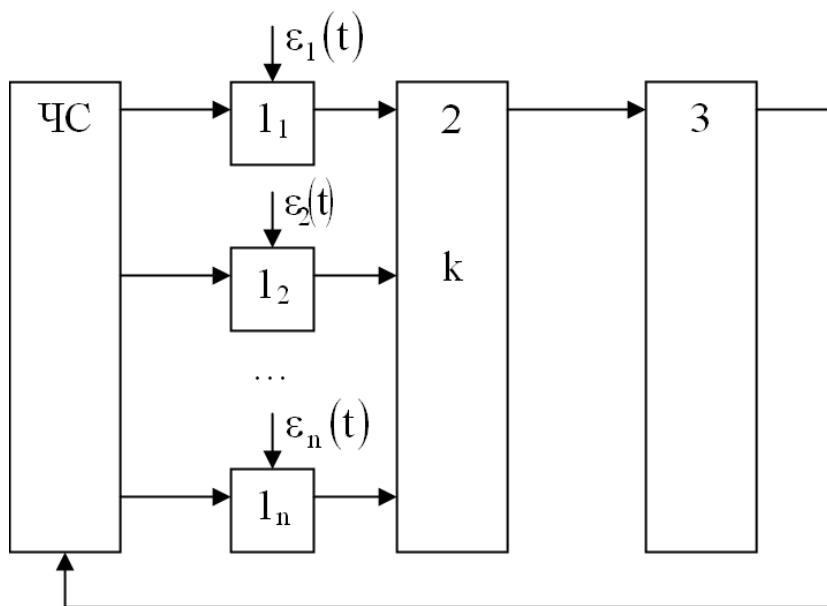


Рис. 1 – Схема работы комплексного датчика первичной информации: $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ – датчики первичной информации; 2 – устройство выбора; 3 – система ослабления последствий чрезвычайной ситуации

Устройство выбора 2 реализовано таким образом, что при получении сигналов от не менее, чем k датчиков первичной информации, выдается сигнал, инициирующий систему ослабления последствий чрезвычайной ситуации.

Случайный характер срабатывания датчиков первичной информации ведет к двум видам ошибок:

- ошибке первого рода – отказу датчика при возникновении чрезвычайной ситуации;
- ошибке второго рода – ложному срабатыванию датчика.

Обозначая вероятность ошибки первого рода через α , а вероятность ошибки второго рода через β , запишем вероятности оши-

бок первого рода p_α (отказ более, чем $n - k$ датчиков) и второго рода p_β (ложное срабатывание не менее k датчиков) для комплексного пожарного извещателя

$$p_\alpha = 1 - \sum_{i=k}^n C_n^i (1 - \alpha)^i \alpha^{n-i}, \quad (1)$$

$$p_\beta = \sum_{i=k}^n C_n^i \beta^i (1 - \beta)^{n-i}. \quad (2)$$

В общем случае критерий выбора параметра k может быть представлен как минимум взвешенной суммы ошибок первого и второго рода комплексного датчика

$$L_1 = Ap_\alpha + Bp_\beta = A - \sum_{i=k}^n C_n^i \left[A(1 - \alpha)^i \alpha^{n-i} - B\beta^i (1 - \beta)^{n-i} \right] \rightarrow \min_k, \quad (3)$$

где A, B – весовые коэффициенты: $A \geq 0, B \geq 0, A + B = 1$. Задача минимизации (3) эквивалентна задаче максимизации

$$L_2 = \sum_{i=k}^n C_n^i \left[A(1 - \alpha)^i \alpha^{n-i} - B\beta^i (1 - \beta)^{n-i} \right] \rightarrow \max_k. \quad (4)$$

Пусть вероятность срабатывания превосходит вероятность ложного срабатывания $1 - \alpha > \beta$. В этом случае функция

$$A(1 - \alpha)^x \alpha^{n-x} - B\beta^x (1 - \beta)^{n-x} \quad (5)$$

является монотонно возрастающей при $x \in [0, n]$. Проводя рассуждения, аналогичные [2], получим, что максимум выражения (4) будет достигаться при значении k , равном ближайшему сверху к x_0 целому числу, но не большем n . Значение x_0 определяется из выражения

$$x_0 = \frac{\ln \frac{B}{A} + n \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{1-\alpha}{\beta} \cdot \frac{1-\beta}{\alpha} \right)}. \quad (5)$$

Наряду с вероятностями ошибок первого и второго рода, выбор числа k будет определяться весовыми коэффициентами A , B , входящими в целевую функцию (3). Рассмотрим следующие варианты выбора весовых коэффициентов

- критерий идеального наблюдателя: $A = B = 0,5$ – выражение (5) принимает вид

$$x_0 = n \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{1-\alpha}{\beta} \cdot \frac{1-\beta}{\alpha} \right)}, \quad (6)$$

что с точностью до обозначений совпадает с выражением, полученным в [2].

- критерий минимума вероятности ошибки: $A = p_{чс}$, $B = 1 - p_{чс}$, где $p_{чс}$ – вероятность возникновения пожара (априорная). Тогда выражение (5) может быть записано в виде

$$x_0 = \frac{\ln \frac{1-p_{чс}}{p_{чс}} + n \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{1-\alpha}{\beta} \cdot \frac{1-\beta}{\alpha} \right)}. \quad (7)$$

- критерий минимума ожидаемого ущерба от ошибки: $A = p_{чс} u_\alpha$, $B = (1 - p_{чс}) u_\beta$, где

$$u_\alpha = \frac{U_\alpha}{U_\alpha + U_\beta}, \quad u_\beta = \frac{U_\beta}{U_\alpha + U_\beta};$$

U_α – ущерб от ошибки первого рода (разница между ущербом от чрезвычайной ситуации без срабатывания системы ослабления ее последствий и при условии ее срабатывания); U_β – ущерб, вы-

званий ложным запуском системы ослабления последствий чрезвычайной ситуации. В этом случае выражение (5) примет вид

$$x_0 = \frac{\ln \frac{(1-p_{чс})U_\beta}{p_{чс}U_\alpha} + n \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{1-\alpha}{\beta} \cdot \frac{1-\beta}{\alpha} \right)}. \quad (8)$$

Сравнение выражений (6)-(8) показывает, что для малых априорных вероятностей возникновения чрезвычайной ситуации $p_{чс}$ применение критерия минимума вероятности ошибки будет давать большее значение числа k_0 , чем применение критерия идеального наблюдателя. При этом возможна ситуация, когда $k_0 = n$, т.е. применение комплексного датчика сводится только к уменьшению вероятности ложного срабатывания. Если ущерб от ошибки первого рода превосходит ущерб от ошибки второго рода, то применение критерия минимума ожидаемого ущерба приводит к меньшим значениям числа k_0 по сравнению с критерием минимума вероятности ошибки.

Выводы. Решена задача выбора количества датчиков первичной информации, входящих в комплексный датчик, при срабатывании которых производится инициация системы ослабления последствий чрезвычайной ситуации. В качестве критерия оптимальности используется взвешенная сумма вероятностей ошибок первого и второго рода. Показано, что критерии идеального наблюдателя, минимума ошибки и минимума ожидаемого ущерба являются частными случаями данного критерия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь, Е.А. Тищенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 129 с.
2. Поспелов Б.Б. Оптимальный выбор количества пожарных извещателей в системе защиты резервуара с нефтепродуктом / Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С. 12-15.

Поспелов Б.Б., Басманов О.Є.

Структурний метод підвищення надійності датчиків первинної інформації в системі послаблення наслідків надзвичайної ситуації

За критерієм мінімуму зваженої суми похибок першого і другого роду визначено оптимальну кількість датчиків первинної інформації, що входять до комплексного датчика, при спрацюванні яких слід ініціювати систему послаблення наслідків надзвичайної ситуації

Ключові слова: датчик первинної інформації, система послаблення наслідків надзвичайної ситуації, ймовірність відмови

Pospelov B.B., Basmanov A.E.

Structural method of increasing the reliability of primary information sensors in mitigation emergency system

According to the criterion of minimum weighted sum of errors of the first and second kind determined the optimal number of primary information sensors in the system of identical sensors, on receiving a signal from which mitigation emergency system have to launch

Key words: primary information sensor, mitigation emergency system, probability of failure