

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, научн. сотр., НУГЗУ,
В.А. Андронов, д.т.н., профессор, проректор, НУГЗУ,
Е.А. Рыбка, к.т.н., зам. нач. центра – нач. отдела, НУГЗУ,
А.Г. Коссе, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КРИТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Разработана динамическая модель, позволившая определить способы повышения точности тепловых датчиков для мониторинга аварийных и чрезвычайных ситуаций на критических объектах. Определены оптимальные параметры тепловых датчиков, обеспечивающие оптимальную точность измерения температуры в различных аварийных динамических условиях при случайных возмущениях.

Ключевые слова: тепловой датчик, мониторинг, чрезвычайные ситуации, критический объект.

Постановка проблемы. Предотвращение аварийных и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на критических объектах сопряжено с проблемой построения оптимальных систем мониторинга их состояния.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время наибольшее применение в системах мониторинга состояния критических объектов получили тепловые датчики, однако в реальных условиях температура процессов характеризуется существенной динамикой, которая маскируется случайными возмущениями [1–3]. В последние годы ведутся интенсивные исследования в области конструктивных путей повышения точности тепловых датчиков в динамических условиях при случайных возмущениях [3–7]. Большая часть этих исследований посвящена повышению точности тепловых датчиков за счет совмещения информации от нескольких датчиков и ее совместной обработке с использованием современных технологий [2, 4–6]. Часть работ в этом направлении сосредоточена на повышении точности тепловых датчиков за счет комплексирования с другими типами нетепловых датчиков, расположенными в той же области объекта [7–13]. При этом вопросы повышения точности отдельных тепловых датчиков в динамических условиях в указанных работах не рассматриваются. Однако следует заметить, что потенциальные возможности мониторинга ЧС на критических объектах в динамических условиях при наличии возмущений могут быть достигнуты только при оптимальной точности используемых тепловых датчиков. Значительно меньшая часть исследований посвящена синтезу оптимальных по точности тепловых датчиков [7–9]. Отмечается, что

существующие тепловые датчики для мониторинга ЧС являются неоптимальными и обладают низкой точностью измерения. В работе [7] синтез оптимального теплового датчика выполнен в общем виде без учета типа чувствительного элемента и измерительной схемы. Это ограничивает практическое использование известных результатов для обеспечения оптимальной точности тепловых датчиков, например, с широко применяемыми терморезистивными чувствительными элементами в динамических условиях, что требует проведения соответствующих исследований в этом направлении.

Постановка задачи и ее решение. Основной задачей данной работы является повышение точности тепловых датчиков с терморезистивными чувствительными элементами и мостовой измерительной схемой в динамических условиях при случайных возмущениях для мониторинга ЧС на критических объектах.

Наибольшее распространение в качестве тепловых датчиков получили параметрические измерительные схемы с чувствительными элементами резистивного типа. Обычно измерительные схемы реализуются в виде мостовой схемы Уитстона [14]. Одна из диагоналей такого моста подключена к источнику постоянного напряжения E , а к другой подключена нагрузка. Обычно внутреннее сопротивление источника значительно меньше сопротивления нагрузки и чувствительность измерительного моста максимальна в случае его равновесия. Будем полагать, что сопротивления плеч моста одинаковы и равны величине R_0 . Тогда модель теплового датчика будет определяться функцией преобразования в виде выходного напряжения

$$u = \frac{E \Delta R}{4R_0(1 + \Delta R / 2R_0)}, \quad (1)$$

где $\Delta R = R_{T_0} \bar{\alpha} \theta$ – приращение сопротивления терморезистивного чувствительного элемента, обусловленное приростом его среднеобъемной температуры на величину θ , R_{T_0} – сопротивление чувствительного элемента при начальной температуре, соответствующей условиям балансировки моста, $\bar{\alpha}$ – температурный коэффициент сопротивления материала чувствительного элемента.

При нормальном протекании контролируемого температурного процесса на объекте величина θ мала и соответственно малой оказывается величина ΔR . Поэтому для рассматриваемого теплового датчика с учетом (1) справедлива модель

$$u = \frac{ER_{T_0}\bar{\alpha}\theta}{4R_0}. \quad (2)$$

Величина Θ в (2) определяется формой терморезистивного чувствительного элемента, а тепловые процессы в нем будут описываться уравнением нестационарной теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями [15]. Пусть один из размеров x чувствительного элемента намного меньше других его размеров y и z . Тогда тепловые процессы $T(x, t)$ в чувствительном элементе процессам нестационарной теплопроводности в пластине неограниченных размеров, описываемым уравнением

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \quad (3)$$

с начальным условием $T(x, 0) = T_0 = \text{const}$ и граничными условиями

$$\left(\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \right)_{x=\delta} = -\frac{\alpha}{\lambda} (T_{x=\delta} - T_c); \quad \left(\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \right)_{x=0} = 0, \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала чувствительного элемента; α – коэффициент теплообмена материала; δ – толщина материала пластины; λ – коэффициент теплопроводности стенки чувствительного элемента; T_0 – начальная температура материала чувствительного элемента (температура балансировки измерительного моста датчика); T_c – температура контролируемого процесса на объекте.

Вводя безразмерную (относительную избыточную) температуру $\bar{\theta} = (T_c - T) / (T_c - T_0)$ и безразмерную координату $\bar{x} = x / \delta$, а также учитывая критерии Био $B_i = \alpha \delta / \lambda$ и Фурье $F_o = at / \delta^2$ решение уравнения (3) с учетом (4) будет определяться

$$\bar{\theta}(\bar{x}, F_o) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \sin(K_i) \cos(K_i \bar{x}) \exp(-K_i^2 F_o)}{K_i + \sin(K_i) \cos(K_i)}, \quad (5)$$

где K_i – решения трансцендентного уравнения $\text{ctg}(K) = K/B_i$, которое определяет K_i как функцию числового параметра B_i для всех $i=1, 2, 3, \dots, \infty$.

Следуя (5), приращение размерной температуры чувствительного элемента датчика для произвольных значений \bar{x} и F_o

$$\begin{aligned} \theta(\bar{x}, F_o) &= T_c - T(\bar{x}, F_o) = \\ &= (T_c - T_0) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \sin(K_i) \cos(K_i \bar{x}) \exp(-K_i^2 F_o)}{K_i + \sin(K_i) \cos(K_i)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Выражение под знаком суммы в (6) определяет безразмерную пространственно-временную импульсную характеристику рассматриваемого терморезистивного чувствительного элемента датчика. Усредняя (6) по

параметру \bar{x} , приращение размерной средней температуры для чувствительного элемента

$$\theta(Fo) = (T_c - T_0) \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \sin^2(K_i) \exp(-K_i^2 Fo)}{K_i^2 + K_i \sin(K_i) \cos(K_i)}. \quad (7)$$

При ограниченном числе n слагаемых в (7) для средней температуры чувствительного элемента справедливо представление в виде эквивалентного динамического векторного процесса, описываемого в переменных состояния

$$B \frac{d\Theta(at / \delta^2)}{dt} + \Theta(at / \delta^2) = A(T_c - T_0), \quad (8)$$

где $\Theta(at/\delta^2)$ – вектор переменных состояния, определяемых частным приращением температуры чувствительного элемента, обусловленным каждым корнем K_i в выражении (7); B – диагональная матрица частных постоянных времени чувствительного элемента соответствующего размера с элементами $B_{i,i} = \delta^2 / K_i^2 a$; A – диагональная матрица частных статических коэффициентов передачи чувствительного элемента соответствующего размера с элементами

$$A_{i,i} = \frac{2 \sin^2(K_i) \delta^2}{[K_i^2 + K_i \sin(K_i) \cos(K_i)] K_i^2 a}.$$

При этом переход от рассмотренных переменных состояния $\Theta(at/\delta^2)$ в (8) к исходной температуре $\theta(at/\delta^2)$ в выражении (7) будет определяться соответствующим уравнением наблюдения

$$\theta(at / \delta^2) = H \Theta(at / \delta^2), \quad (9)$$

где H – вектор строка соответствующего размера с элементами, равными единице.

Выражения (8) и (9) будут определять модель приращения средней температуры для рассматриваемого терморезистивного чувствительного элемента в переменных состояния. Для значений $B_i \leq 1$ в модели (8), (9) с достаточной степенью точности можно ограничиться только первым слагаемым. В этом случае модель (8), (9) может быть представлена одним дифференциальным уравнением

$$B_{1,1} \frac{d\theta(at / \delta^2)}{dt} + \theta(at / \delta^2) = A_{1,1} (T_c - T_0). \quad (10)$$

С учетом (10) и модели (2) выходное напряжение теплового датчика с рассматриваемым терморезистивным чувствительным элементом будет описываться дифференциальным уравнением вида

$$B_{1,1} \frac{du(at / \delta^2)}{dt} + u(at / \delta^2) = \frac{ER_{T_0} \bar{\alpha}}{4R_0} A_{1,1} (T_C - T_0), \quad (11)$$

где $B_{1,1} = \delta^2 / K_1^2 a$, а величина $A_{1,1} = \frac{2 \sin^2(K_1) \delta^2}{[K_1^2 + K_1 \sin(K_1) \cos(K_1)] K_1^2 a}$.

Уравнение (11) будет определять динамическую модель первого приближения для обобщенного теплового датчика с терморезистивными чувствительными элементами рассматриваемого типа. Основным достоинством данной модели является то, что на ее основе возможно исследовать точность тепловых датчиков в произвольных динамических условиях измерения температуры с учетом случайных возмущений.

Важными для аварийных и ЧС являются динамические условия измерения температуры контролируемого процесса, характеризуемые линейным законом нарастания температуры $T_C(t) = T_H + bt$, где T_H – начальное значение температуры контролируемого процесса, а величина b определяет скорость ее нарастания. Параметры T_H и b обычно считаются известными и характеризуют аварийные и предаварийные состояния контролируемого температурного процесса на объекте. Будем полагать, что величина $at/\delta^2 = 1$, а динамика температуры $T_C(t)$ процесса маскируется случайными температурными возмущениями $N(t)$, описываемыми гауссовым белым шумом с нулевым средним и интенсивностью G .

Пусть начальное напряжение $u(0)$ на выходе теплового датчика является случайной величиной с математическим ожиданием m_0 и дисперсией D_0 . В этих условиях требуемое выходное напряжение теплового датчика должно быть равно $u_T(t) = T_H + bt - T_0$. Определим второй начальный момент ошибки. При этом математическое ожидание выходного сигнала определяется уравнением

$$B_{1,1} \frac{dm_u}{dt} + m_u = \frac{ER_{T_0} \bar{\alpha}}{4R_0} A_{1,1} (T_C - T_0), \quad m_u(0) = m_0.$$

Решение этого уравнения определяется в виде:

$$m_u(t) = m_0 e^{-\frac{t}{B_{1,1}}} + \xi \{ (T_H - T_0) \times \\ \times (1 - e^{-\frac{t}{B_{1,1}}}) + b B_{1,1} [e^{-\frac{t}{B_{1,1}}} + (\frac{t}{B_{1,1}} - 1)] \}, \quad (12)$$

где $\xi = \frac{ER_{T_0}\bar{\alpha}A_{1,1}}{4R_0}$.

В установившемся режиме математическое ожидание выходного сигнала

$$m_u(t) = \xi[(T_H - T_0) + b(t - B_{1,1})]. \quad (13)$$

Центрируя уравнение (11) и используя известное общее уравнение для определения корреляционных моментов [16], в рассматриваемом случае получим следующее уравнение для дисперсии D_u выходного напряжения

$$B_{1,1} \frac{dD_u}{dt} + 2D_u = \xi^2 \frac{G}{B_{1,1}}, \quad D_u(0) = D_0.$$

Интегрируя данное уравнение, получим выражение для дисперсии выходного напряжения

$$D_u(t) = D_0 e^{-\frac{2t}{B_{1,1}}} + \xi^2 \frac{G}{2B_{1,1}}. \quad (14)$$

В рассматриваемом случае дисперсия требуемого напряжения и взаимный корреляционный момент выходного и требуемого выходного напряжения равны нулю. В связи с этим дисперсия ошибки измерения температуры тепловым датчиком равна дисперсии выходного напряжения (13).

С учетом (12) математическое ожидание ошибки измерения $m_\varepsilon(t)$ температуры тепловым датчиком при требуемом выходном напряжении $u_T(t) = T_H + bt - T_0$ будет определяться

$$\begin{aligned} m_\varepsilon(t) &= m_u(t) - u_T(t) = \\ &= [m_0 - \xi(T_H - T_0 - bB_{1,1})] e^{-\frac{t}{B_{1,1}}} + \\ &+ (\xi - 1)(T_H - T_0) - \xi b B_{1,1} + bt(\xi - 1). \end{aligned} \quad (15)$$

С учетом этого второй начальный момент ошибки измерения температуры тепловым датчиком, характеризующий точность рассматриваемого теплового датчика в динамических условиях при случайных температурных возмущениях, будет равен

$$\alpha 2_\varepsilon(t) = m_\varepsilon(t)^2 + D_0 e^{-\frac{2t}{B_{1,1}}} + \xi^2 \frac{G}{2B_{1,1}}. \quad (16)$$

Величина $\alpha 2_{\varepsilon}(t)$ в общем случае, следуя (14) и (16), зависит от времени и ряда характерных параметров теплового датчика, а также условий измерения температуры контролируемого процесса на объекте.

В частном случае, когда характерный параметр ξ равен единице, второй начальный момент $\alpha 2_{\varepsilon}(t)$ ошибки измерения температуры тепловым датчиком в установившемся режиме, характеризующий точность измерения датчиком, не зависит от времени и определяется величиной

$$\alpha 2_{\varepsilon} = (bV_{1,1})^2 + \frac{G}{2V_{1,1}}. \quad (17)$$

Из выражения (17) следует, что существуют оптимальные значения характерного параметра $V_{1,1}$ теплового датчика для заданных динамических условий измерения температуры контролируемого процесса на объекте, при которых величина ошибки измерения температуры $\alpha 2_{\varepsilon}$ оказывается минимальной. При этом указанные оптимальные значения характерного параметра $V_{1,1}$ теплового датчика, следуя (17), определяются величиной

$$V_{1,1opt} = \left[\frac{G}{4b^2} \right]^{1/3}. \quad (18)$$

Из выражения (18) следует, что оптимальный характерный параметр $V_{1,1opt}$ теплового датчика в рассматриваемых условиях однозначно определяется динамикой температуры аварийного состояния контролируемого процесса на объекте и интенсивностью случайных температурных возмущений.

В общем случае, следуя (14) и (16), величина $\alpha 2_{\varepsilon}(t)$ зависит от времени и соответствующих характерных параметров теплового датчика, а также температурных условий измерения состояния контролируемого процесса при авариях на объекте. В качестве примера на рис. 1 представлена динамика величины $\lg(\alpha 2_{\varepsilon})$ от характерного параметра ξ теплового датчика при условии, что $at/\delta^2=1$, а случайные температурные возмущения контролируемого процесса на объекте характеризуются интенсивностью $G=1$ при аварийной динамике температуры $29+0,1t$ °С. Начальная температура чувствительного элемента теплового датчика составляла величину $T_0=25$ °С.

Из рис. 1 следует, что максимальная точность теплового датчика в рассматриваемых условиях при наличии случайных возмущений для произвольных значений характерного параметра ξ соответствует только моменту времени начала развития аварийного состояния. Если параметр ξ равен единице, то точность теплового датчика оказывается практически не зависящей от времени. Поэтому для обеспечения независимости точ-

ности датчика от времени целесообразно выбирать характерный параметр $\xi=1$.

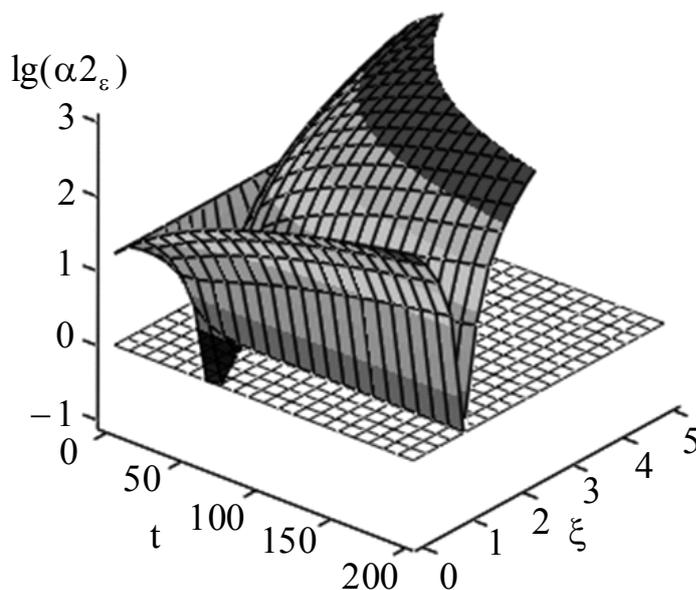


Рис. 1. Динамика $\lg(\alpha_{2_\epsilon})$ от характерного параметра ξ теплового датчика

На рис. 2, 3 представлены зависимости точности $\lg(\alpha_{2_\epsilon})$ от характерных параметров ξ и $V=V_{1,1}$ теплового датчика при $at/\delta^2=1$ в фиксированный момент времени $t=10$ с в аналогичных условиях, но при различных значениях скорости b аварийного нарастания температуры контролируемого процесса, равных соответственно $0,5$ °C/с и $0,017$ °C/с. Указанные скорости, например, характерны для стандартных скоростей аварийного нарастания температуры окружающей среды при ЧС в виде пожаров на объекте.

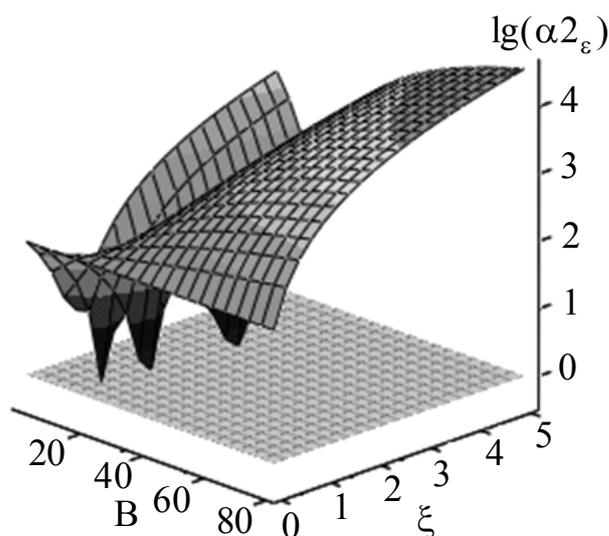


Рис. 2. Динамика $\lg(\alpha_{2_\epsilon})$ от характерных параметров ξ и V теплового датчика при скорости аварийного нарастания температуры, равной $0,5$ °C/с

Из рис. 2 следует, что повышение скорости аварийного нарастания

температуры приводит на начальном этапе к увеличению числа локальных зон повышенной точности измерения и уменьшению значений характерного параметра B , соответствующего этим зонам. При этом в локальных зонах имеет место снижение абсолютной потенциальной точности измерения температуры тепловым датчиком (рис. 2).

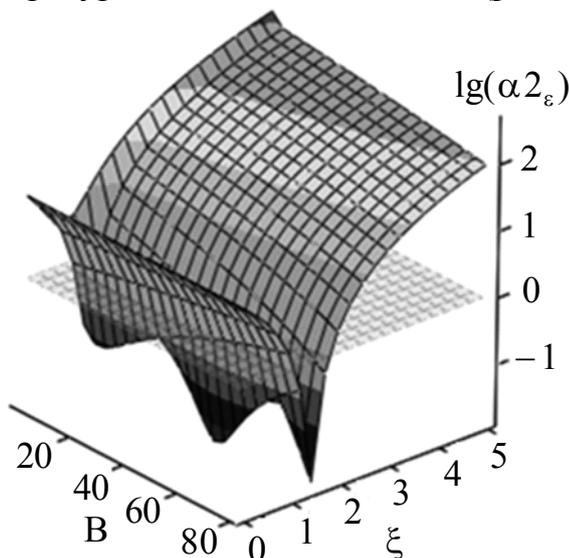


Рис. 3. Динамика $\lg(\alpha 2_\epsilon)$ от характерных параметров ξ и B теплового датчика при скорости аварийного нарастания температуры, равной $0,017 \text{ }^\circ\text{C/c}$

На рис. 4 и 5 в качестве примера представлены зависимости $B_{1,1opt}$, определяемые (16), для различных динамических условий аварийного состояния температуры контролируемого процесса.

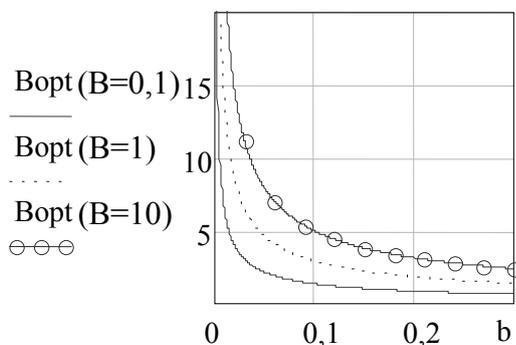


Рис. 4. Зависимости $B_{1,1}$ для высокой динамики аварийного нарастания температуры контролируемого процесса на объекте при случайных температурных возмущениях

Так, например, из анализа данных на рис. 4 и 5 следует, что принятые в соответствии с EN54 характерные параметры $B_{1,1}$ тепловых датчиков пожарных извещателей, равные 20с и 60с, являются неоптимальными по точности измерения температуры среды для стандартной скорости ее нарастания при пожаре. Следуя представленным данным, нормативные требования к характерному параметру $B_{1,1}$ близки к оптимальным по точности измерения температуры среды только для случайных возмущений температуры среды очень высокой интенсивности. Это означает, что

стандартная динамика нарастания температуры среды при пожаре в этом случае во внимание не принимается. Этим, по-видимому, объясняется низкая точность измерения температуры среды тепловыми датчиками пожарных извещателей и высокая вероятность ложных тревог систем пожарной сигнализации на объектах. Вероятно, что указанные нормативные значения постоянных времени извещателей выбирались только из условия максимального сглаживания случайных возмущений температуры среды без учета первого слагаемого (15).

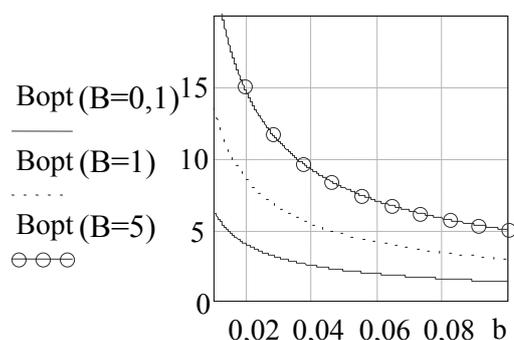


Рис. 5. Зависимости $V_{1,opt}$ для низкой динамики аварийного нарастания температуры контролируемого процесса на объекте при случайных температурных возмущениях

Приведенные на рис. 4 и 5 зависимости позволяют на практике для тепловых датчиков с рассматриваемыми чувствительными элементами определять оптимальные значения характерного параметра $V_{1,opt}$, обеспечивающие максимальную точность измерения температуры аварийного состояния контролируемого процесса на объекте в условиях произвольного линейного аварийного нарастания температуры и случайных температурных возмущений различной интенсивности.

Выводы. Разработана обобщенная динамическая модель в пространстве состояний для тепловых датчиков с терморезистивными чувствительными элементами в виде тонкой пластины для температурного мониторинга аварийных и ЧС на критических объектах. Получена частная модель теплового датчика первого приближения в пространстве состояний, позволяющая исследовать его динамическую точность для различной линейной скорости аварийного нарастания температуры контролируемого процесса при случайных температурных возмущениях. Исследовано влияние параметров мостовой схемы и чувствительного элемента теплового датчика на динамическую точность в различных условиях измерения температуры контролируемого процесса. Показано, что в общем случае максимальная точность измерения зависит от характерных параметров теплового датчика, текущего времени, скорости аварийного линейного нарастания температуры контролируемого процесса и интенсивности случайных температурных возмущений. Установлено, что существуют конструктивные пути обеспечения инвариантности во времени точности измерения аварийного нарастания температуры контролируе-

мого процесса при наличии случайных температурных возмущений. Получены зависимости оптимального значения характерного параметра $B_{1,opt}$ теплового датчика для мониторинга ЧС от скорости аварийного нарастания температуры при различных интенсивностях случайных температурных возмущений контролируемого процесса на объекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poulsen A. Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings / A. Poulsen, G. Jomaas // *Fire Technology*. – 2012. – № 48. – P. 419–439.
2. Oppelt U. Improvement on fire detectors by using multiple sensors / U. Oppelt // *Fire & Safety*, 2006. Режим доступа: <http://www.securitysa.com/default.aspx?pkliissueid=550>.
3. Andronov V. Examining the learning fire detectors under real conditions of application / V. Andronov, B. Pospelov, E. Rybka // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – V. 3 (87). – №9. – P. 53–59.
4. Andronov V. Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detector [Text] / V. Andronov, B. Pospelov, E. Rybka // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – V. 2 (86). – №9. – P. 32–37.
5. Ding Q. Multi-Sensor Building Fire Alarm System with Information Fusion Technology Based on D-S Evidence Theory / Q. Ding, Z. Peng, T. Liu, Q. Tong // *Algorithms*. – 2014. – № 7. – P. 523–537.
6. Caixia, C. One Fire Detection Method Using Neural Networks / C. Caixia, S. Fuchun, Z. Xinquan // *Tsinghua Science and Technology*. – 2011. – V. 16. – № 1. – P. 31–35.
7. Пospelov Б.Б. Синтез оптимального измерителя опасных факторов пожара с произвольной динамикой для пожарных извещателей / Б.Б. Пospelov, Р.И. Шевченко, А.Н. Коленов // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2014. – Вып. 35. – С. 167–172.
8. Milke A. Investigation of Multi-sensor Algorithms for Fire Detection / A. Milke, M.E. Hulcher, C.L. Worrell, D.T. Gottuk, F.W. Williams // *Fire Technology*. – 2003. – Vol. 39. – № 4. – P. 363–382.
9. Bowles J.B. Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering / J.B. Bowles, C.E. Pelaez // *Proceeding of the IEEE*. – 1995. – Vol. 83. – № 3. – P. 435–449.
10. Reed J. Control and Indicating Equipment for Fire Alarm Systems / J. Reed // *International Fire and Security Product News*. – 1995. – Vol. 20. – № 5. – P. 41–42.
11. Cestari L.A. Advanced Fire Detection Algorithms using Data from the Home Smoke Detector Project / L.A. Cestari, C. Worrell, J.A. Milke // *Fire Safety Journal*. – 2005. – Vol. 40. – No. 1. – P. 1–28.

12. Siebel R. Test of Fire Detection Algorithms using Artificially Generated Events / R. Siebel // Fire Safety Journal. – 2006. – Vol. 41. – № 4. – P. 258-265.

13. Gurevich V. Microprocessor Protection Devices. The Present and the Future / V. Gurevich // Serbian Journal of Electrical Engineering. – 2008. – Vol. 5. – № 2. – P. 325-339.

14. Полищук В.С. Измерительные преобразователи [Текст] / В. С. Полищук. – К.: Вища школа, 1981. – 296 с.

15. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.

16. Пугачев В.С. Основы статистической теории автоматических систем / В.С. Пугачев, И.Е. Казаков, Л.Г. Евланов. – М.: «Машиностроение», 1974. – 400 с.

Получено редколлегией 03.10.2017

Б.Б. Поспелов, В.А. Андронов, Є.О. Рибка, А.Г. Коссе

Підвищення точності теплових датчиків для моніторингу надзвичайних ситуацій на критичних об'єктах

Розроблено динамічну модель, яка дозволила визначити способи підвищення точності теплових датчиків для моніторингу аварійних і надзвичайних ситуацій на критичних об'єктах. Визначено оптимальні параметри теплових датчиків, що забезпечують оптимальну точність вимірювання температури в різних аварійних динамічних умовах при випадкових збуреннях.

Ключові слова: тепловой датчик, мониторинг, чрезвычайные ситуации, критический объект.

B.B. Pospelov, V.A. Andronov, Ye.O. Rybka, A.G. Kosse

Increase the accuracy of thermal sensors for emergency monitoring at critical facilities

A dynamic model has been developed that has made it possible to determine ways to improve the accuracy of thermal sensors for monitoring emergency and emergency situations at critical facilities. Optimal parameters of thermal sensors, which provide an optimal temperature measurement accuracy in various emergency dynamic conditions under random perturbations, are determined.

Keywords: thermal sensor, monitoring, emergency, critical facility.