

УДК 621.182:621.38

**О.В. Вовна (канд. техн. наук, доц.), І.С. Лактіонов (магістр)**  
Донецький національний технічний університет, м. Донецьк  
кафедра електронної техніки  
E-mail: [Vovna\\_Alex@ukr.net](mailto:Vovna_Alex@ukr.net)

## РОЗРОБКА ІМОВІРНІСНОЇ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЕЛЕКТРОННОЮ СИСТЕМОЮ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОЇ СИТУАЦІЇ НА ТЕС

*Розроблено структуру та досліджено електронну систему виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС. Одержала подальший розвиток імовірно-діагностична модель прийняття рішень, що дозволило підвищити вірогідність вірного спрацьовування системи протипожежного захисту теплових електростанцій.*

**Ключові слова:** електронна система, діагностична матриця, вірогідність, алгоритм, температура, прийняття рішень.

**Актуальність досліджень.** Сучасні умови життя суспільства значною мірою обумовлено швидким науково-технічним прогресом. Поява нових засобів праці та технологічних процесів висунули і нові вимоги до організації, принципів, методів та засобів протипожежного захисту технологічних об'єктів. Недооцінка необхідності забезпечення промислового підприємства системами протипожежного захисту зазвичай призводить до майже повного його знищення вогнем. При порівнянні витрат на будівництво системи протипожежного захисту промислового об'єкту з його вартістю, їх співвідношення становитиме приблизно один до десяти. Враховуючи, що за останні 10 років загибель людей від пожеж збільшилася в 1,5 рази, а матеріальні збитки майже в 8 разів [1], очевидно, що ефективність протипожежного захисту технологічних об'єктів далека від досконалості. Треба зауважити, що при визначенні збитків від пожеж та аварій враховується лише вартість матеріальних цінностей, знищених або пошкоджених вогнем, а також вогнегасними засобами, які застосовувались при боротьбі з вогнем на даному об'єкті. Реальні економічні збитки від простою промислового об'єкту до його запуску можуть бути порівняні зі збитками, які завдано пожежею та чинниками, що її супроводжували.

Основним джерелом теплової та електричної енергії в Україні є кам'яне вугілля, споживання якого за останні роки значно збільшилося. Ця тенденція виявляється у зростанні здобичі та переробки вугілля Донецького басейну, головним недоліком якого є високий рівень пожежо- та вибухонебезпеки. У теперішній час на промислових підприємствах енергетичного комплексу ризик виникнення пожежі із загибеллю персоналу знаходиться у діапазоні від  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$ , що істотно перевищує вимоги діючих стандартів в області пожежної безпеки [2]. Найгостріше ця проблема стоїть для теплоелектростанцій (ТЕС), де будь-яка подія, яка пов'язана із пожежею або вибухом, призводить не тільки до значних матеріальних втрат, але і стає причиною негативних соціальних наслідків. Проведений аналіз методів та засобів виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС показав, що існуючі промислові зразки не дозволяють отримувати одночасно повну та достовірну інформацію щодо пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС. Це в свою чергу не дозволяє достовірно виявляти потенційно небезпечні локації займання вугільного пилу під час проходження повного технологічного циклу пилепідготовки та пилоприготування.

**Постановка задач досліджень.** Для своєчасного та достовірного виявлення процесу займання пилувугільного аерозолі на промислових підприємствах енергетичного комплексу, необхідно обґрунтувати структуру електронної системи, яка із достатнім ступенем

вірогідності оповіщала про виникнення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації. Процеси спалаху, самозаймання, пожежі або вибухи можуть реєструватися за рядом факторів, якими ці явища супроводжуються. Загальним принципом роботи всіх вимірювальних засобів виявлення джерела займання є контроль фізичних величин, що пов'язані із процесом теплового обміну. Не дивлячись на існуюче різноманіття методів та засобів виявлення осередків займання газодисперсних матеріалів, проблема достовірного сповіщення про наявність пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС є актуальною.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати структуру електронної системи виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації на ТЕС, яка з достатнім ступенем вірогідності спроможна сповіщувати про виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації в умовах даного промислового підприємства.
- провести моделювання роботи вимірювальних каналів електронної системи виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації;
- розробити ймовірно-діагностичну модель прийняття рішень електронною системою виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС;
- розробити алгоритм прийняття рішень електронною системою виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС.

**Результати розробки та досліджень.** На підставі проведених досліджень [3, 4] розроблено структурну схему електронної системи виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах промислових підприємств, яку представлено на рис. 1.

Розроблена електронна система виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації здатна одночасно вимірювати температуру пиловугільного аерозолу в шаровому барабанному млині (ШБМ) та температуру пилогазового потоку при його пневматичному транспортуванні до пальників котла на ТЕС. Результати вимірювання цих параметрів не корельовано між собою. Вимірювання температури пиловугільного аерозолу в ШБМ ґрунтується на методі спектрального відношення, а вимірювання температури пилогазового потоку — на явищі термоелектрики. Електронна система виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації дозволяє здійснювати роботу, як в автоматичному, так і в автоматизованому режимах. Вибір режиму роботи залежить від виконання умови  $P > P_{\text{доп}}$ , де  $P$  — розрахункове значення ймовірності виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації;  $P_{\text{доп}}$  — допустиме значення ймовірності виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації, яке встановлюється місцевими інструкціями конкретного промислового підприємства.

В автоматичному режимі роботи при критичних значеннях вимірюваних параметрів електронна система формує рішення про відключення системи пилепідготовки. В автоматизованому режимі вимірювальна система видає рекомендації до диспетчерського пункту, який ухвалює необхідне рішення щодо внесення коректив до технологічного процесу. Цей алгоритм дозволяє приймати інформацію щодо можливості виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації від вимірювальних каналів температури пиловугільного аерозолу в ШБМ та пилогазового потоку при пневматичному транспортуванні до пальників котла на ТЕС і за допомогою мікроконтролера циклічно її обробляти.

При аналізі розробленої структури електронної системи виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС, а також технологічних умов її експлуатації, можна зробити наступний висновок. З метою зменшення ймовірності помилкового спрацьовування (випадок, коли приймається рішення про наявність пожежовибухонебезпечної ситуації, але насправді вона відсутня) та пропуску небезпеки (випадок, коли приймається рішення про справний стан, але в дійсності наступила пожежовибухонебезпечна ситуація), необхідно розробити алгоритм прийняття рішень для досліджуваної електронної системи. Загальна постановка задачі при застосуванні ймовірнісної моделі побудови алгоритму прийняття рішень формулюється наступним чином. Система знаходиться в одному з  $n$  випадкових станів  $D_i$ . Відома сукупність ознак (параметрів), кожен з яких з певним ступенем ймовірності

характеризує стан системи. Потрібно визначити критерії, за яким пред'явлена сукупність ознак була б віднесена до одного з можливих станів (діагнозів) [5].

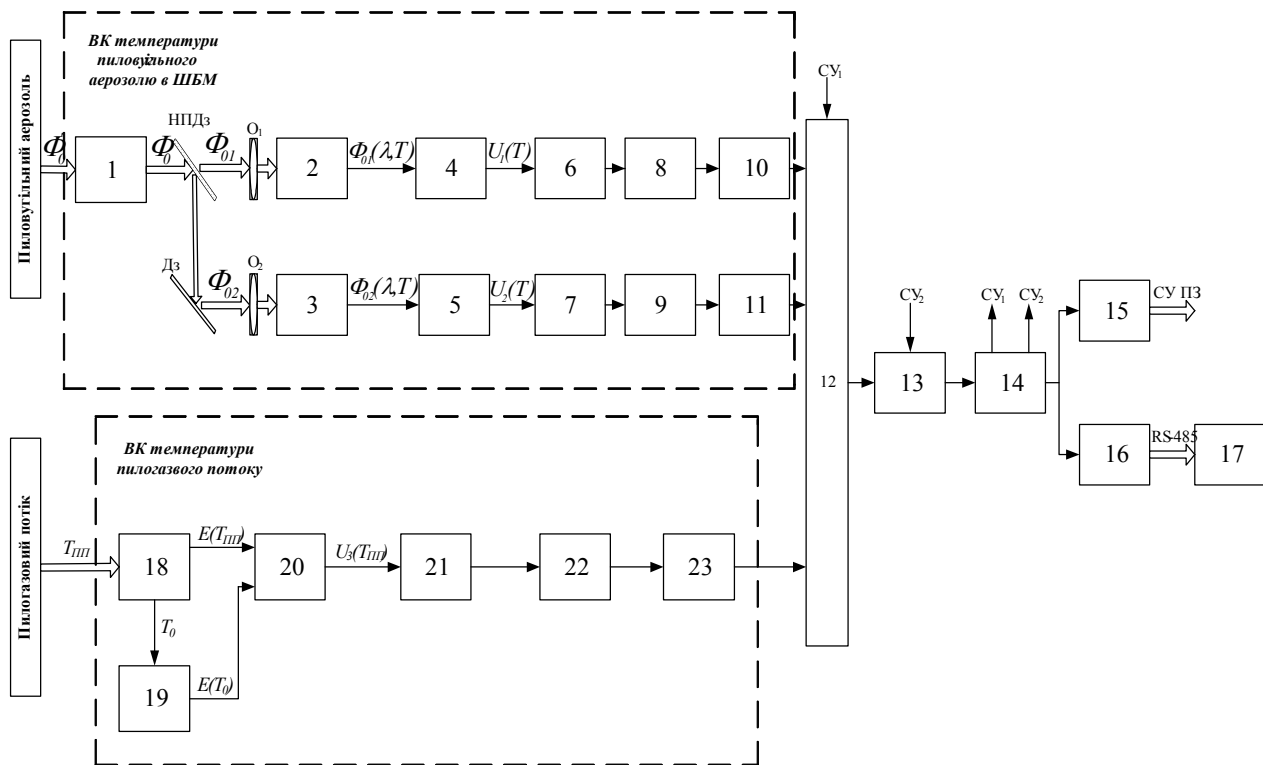


Рисунок 1 — Структурна схема електронної системи виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації в умовах ТЭС:

ВК — вимірювальний канал; Дз — відбиваюче дзеркало; НПДз — напівпрозоре дзеркало;  $O_1$  та  $O_2$  — система фокусуєчих об'єктивів; 1 — механічний фільтр; 2, 3 — смугові оптичні фільтри, які мають полоси пропускання  $\Delta\lambda_1 = 0,8$  мкм та  $\Delta\lambda_2 = 1,3$  мкм, відповідно; 4, 5 — фотоприймальні пристрої (ФПП), де ФПП<sub>1</sub>—611-1 та ФПП<sub>2</sub>—612-2; 6, 7, 21 — нормуючі перетворювачі (НП); 8, 9, 22 — лінії зв'язку (ЛЗ); 10, 11, 23 — узгоджуючі підсилювачі (УП); 12 — мультиплексор аналогових сигналів (МАС); 13 — аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 14 — мікропроцесорний пристрій управління та обробки інформації (МПП УО);  $CY_1$  та  $CY_2$  — сигнали управління МАС та АЦП, відповідно; 15 — блок управління системою протипожежного захисту на ТЭС (БУ ПЗ);  $CY$  ПЗ — сигнали управління управляючими механізмами системи протипожежного захисту на ТЭС; 16 — блок передачі даних (БПД); RS-485 — промисловий протокол передачі даних; 17 — блок індикації даних (БІД); 18 — первинний вимірювальний перетворювач (ПВП), термопара зі сплаву хромель-алюмель (ТХА); 19 — датчик контролю температури «холодного» спаю ТХА (ДКТХС); 20 — аналоговий пристрій, який виконує операцію віднімання вихідних напруг ПВП та ДКТХС

Застосування мікроконтролера дозволяє реалізувати різні алгоритми прийняття рішень про виникнення пожежовибухонебезпечної ситуації, які в свою чергу, максимально пристосовані для кожного конкретного випадку. Найбільш опрацьованими та поширеними методами прийняття рішень для систем виявлення та оповіщення про небезпеку є методи, які базуються на теорії статистичних рішень. Основна перевага статистичних методів прийняття рішень полягає у можливості одночасного враховування ознак різної фізичної природи, так як вони характеризуються безрозмірними величинами — ймовірностями їх появи при різних станах системи. Зокрема, широке практичне застосування отримав метод Байєса [5], який ґрунтується на наступному припущенні. Якщо є діагноз  $D_i$  та ознака  $k_j$ , яка зустрічається при

цьому діагнозі, то ймовірність спільної появи подій (наявність в об'єкті стану  $D_i$  та ознаки  $k_j$ ) визначається на підставі наступного співвідношення [5]:

$$P(D_i k_j) = P(D_i) \cdot P(k_j / D_i) = P(k_j) \cdot P(D_i / k_j). \quad (1)$$

З рівняння (1) можна отримати формулу Байєса:

$$P(D_i / k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j / D_i)}{P(k_j)}, \quad (2)$$

де  $P(D_i / k_j)$  — ймовірність діагнозу  $D_i$  після того, як стала відома наявність у даного об'єкту ознака  $k_j$  (апостеріорна ймовірність);  $P(D_i)$  — ймовірність діагнозу  $D_i$ , яка визначається за статистичними даними (апріорна ймовірність діагнозу);  $P(k_j / D_i)$  — імовірність появи ознаки  $k_j$  в об'єктів з діагнозом  $D_i$ ;  $P(k_j)$  — імовірність появи ознаки  $k_j$  в усіх об'єктах незалежно від стану (діагнозу) об'єкта.

Електронна система виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС має два вимірювальних канали температури, результати вимірювань яких не корельовано між собою. Перший вимірювальний канал контролює температуру самозаймання пиловугільного аерозолу в ШБМ в допустимому діапазоні від 1152 до 1402°C [3], а другий — температуру пилогазового потоку при його пневматичному транспортуванні до пальників котла в допустимому діапазоні від 150°C до 220°C [4]. Для складання діагностичної матриці Байєса для досліджуваної електронної системи, необхідно визначитися з кількістю та типами можливих діагнозів  $D_i$  та відповідних їм ознак  $k_j$ . Припустимо, що  $k_1$  — вихід контрольованої температури пиловугільного аерозолу в ШБМ за допустимі межі [1152;1402]°C;  $k_2$  — вихід контрольованої температури пилогазового потоку при пневматичному транспортуванні до пальників котла за допустимі межі [150;220]°C. Також припустимо, що для електронної системи поява цих ознак пов'язана з наявністю дестабілізуючих факторів у відповідних вимірювальних каналах, тобто для вимірювального каналу температури пиловугільного аерозолу — це стан  $D_1$ , а для вимірювального каналу температури пилогазового потоку — це стан  $D_2$ .

Через відсутність статистичних даних про наявність різних діагнозів  $D_i$  та відповідних їм ознак  $k_j$ , при розробці алгоритму прийняття рішень електронною системою виявлення пожежо- та вибухонебезпечної ситуації в умовах промислових підприємств було проведено відповідне імітаційне моделювання роботи вимірювальних каналів температури пиловугільного аерозолу в ШБМ та пилогазового потоку при його пневматичному транспортуванні до пальників котла на ТЕС. На входи імітаційних моделей відповідних вимірювальних каналів температури були подані стаціонарні випадкові сигнали, які мають нормальний закон розподілу з наступними параметрами: для вимірювального каналу температури пиловугільного аерозолу в ШБМ математичне очікування зміни температури  $m_T=1277^\circ\text{C}$ ;  $\sigma_T = 72^\circ\text{C}$ ; об'єм реалізації —  $N = 250$ , для вимірювального каналу температури пилогазового потоку при пневматичному транспортуванні до пальників котла —  $m_T=185^\circ\text{C}$ ;  $\sigma_T = 20^\circ\text{C}$ ; об'єм реалізації —  $N = 100$ . Графіки зміни температури пиловугільного аерозолу в ШБМ та температури пилогазового потоку представлено на рис. 2 та 3, відповідно.

З цих залежностей може бути визначена кількість точок, яка не входить до допустимого діапазону контрольованих температур. На підставі цієї кількості точок, можуть бути визначені апріорні ймовірності діагнозів  $D_1$  та  $D_2$ .

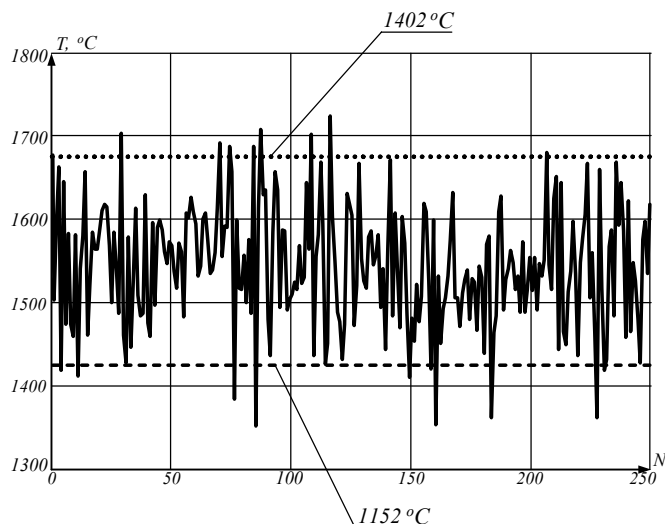


Рисунок 2 — Сигнал вимірювального каналу температури пиловугільного аерозолю в ШБМ

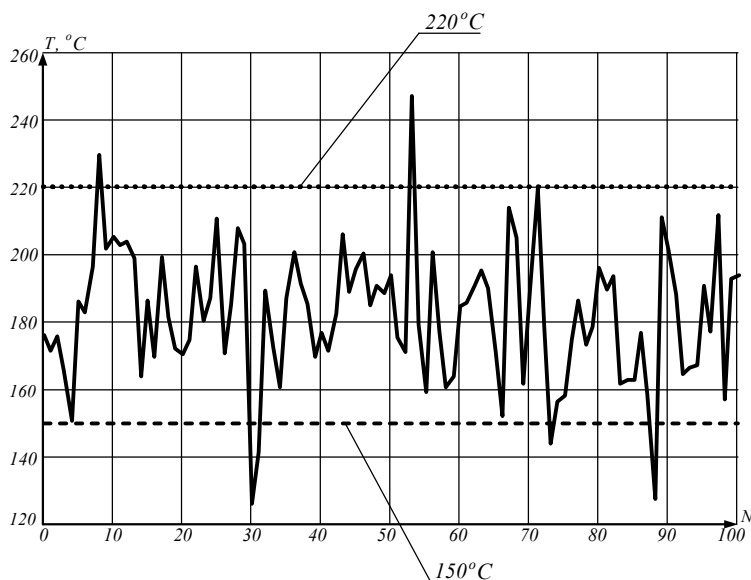


Рисунок 3 — Сигнал вимірювального каналу температури пилогазового потоку

Апріорна ймовірність діагнозу  $D_1$  визначається за наступною формулою:

$$P(D_1) = \frac{N_1}{N} = \frac{19}{250} = 0,076, \tag{3}$$

де  $N_1$  — кількість об’єктів, які мають діагноз  $D_1$ , дорівнює 19 (див. рис. 2);  $N$  — загальна кількість об’єктів, дорівнює 250.

Апріорна ймовірність діагнозу  $D_2$  визначається за формулою:

$$P(D_2) = \frac{N_2}{N} = \frac{6}{100} = 0,06, \tag{4}$$

де  $N_2$  — кількість об’єктів, які мають діагноз  $D_2$ , дорівнює 6 (див. рис. 3);  $N$  — загальна кількість об’єктів, дорівнює 100.

Апріорна ймовірність одночасної появи діагнозів  $D_3$ , може бути знайдена за формулою:

$$P(D_3) = P(D_1) \cdot P(D_2) = 0,076 \cdot 0,06 = 0,0046. \quad (5)$$

Апріорна ймовірність одночасної появи хоча б одного з діагнозів  $D_4$ , може бути знайдена за наступною формулою:

$$P(D_4) = P(D_1) + P(D_2) = 0,076 + 0,06 = 0,136. \quad (6)$$

Апріорна ймовірність вірного спрацювання електронної системи виявлення пожеж та вибухонебезпечної ситуації на ТЕС  $D_5$ , може бути знайдена за наступною формулою:

$$P(D_5) = 1 - [P(D_3) + P(D_4)] = 1 - [0,0046 + 0,136] = 0,859. \quad (7)$$

Розроблена імовірнісно-діагностична модель прийняття рішень отримана на основі залежностей (3 – 7). Апостеріорні ймовірності відповідних діагнозів визначаються за формулою (2). На підставі отриманих апріорних та апостеріорних ймовірностей усіх діагнозів складається діагностична матриця для електронної системи (див. табл. 1). В реальних умовах роботи електронної системи ймовірність помилкового спрацювання та пропуску небезпеки визначається за апріорним ймовірностям діагнозів, так як наявність тієї чи іншої ознаки не може бути одразу врахована при встановленні того чи іншого діагнозу, а стає відомою тільки після процесу навчання та адаптації мікропроцесорного пристрою до конкретних технологічних умов експлуатації. Отримана діагностична матриця завантажується до пам'яті мікроконтролера, де і зберігається під час експлуатації електронної системи.

Таблиця 1 — Діагностична матриця імовірнісної моделі

Діагноз	Апріорна ймовірність	Апостеріорна ймовірність	
		$k_1$	$k_2$
$D_1$	0,076	0,011	0
$D_2$	0,06	0	0,007
$D_3$	0,0046	0,0001	
$D_4$	0,136	0,018	
$D_5$	0,859	0,9819	

В результаті імітаційного моделювання процесу контролю температури, встановлено, що ймовірність вірного виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації електронною системою перевищує 85 %, а ймовірність помилкового спрацювання або пропуску небезпеки за результатами вимірювань хоча б одного з каналів електронної системи не перевищує 14 %. Гістограму розподілу апріорних ймовірностей діагнозів об'єкту представлено на рис. 4.

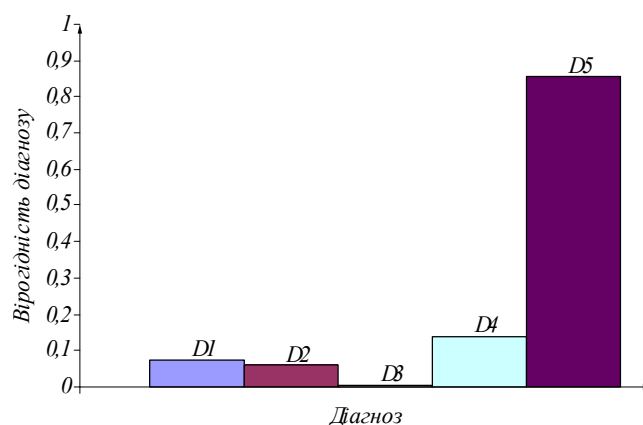


Рисунок 4 — Гістограма розподілу апріорних ймовірностей діагнозів системи

З аналізу отриманої діагностичної матриці, яку представлено в табл. 1, може бути визначений критерій, відповідно до якого приймається рішення щодо формування аварійного сигналу системою протипожежного захисту (ППЗ) на ТЕС. У методі Байеса цей критерій може бути описано наступною умовою:

$$P(D_i) > P_{\text{доп}}$$

де  $P_{\text{доп}}$  — допустима ймовірність вірного спрацьовування (дана ймовірність визначається місцевою інструкцією підприємства, та в більшості випадків дорівнює від 0,6 до 0,8) [5].

В результаті імітаційного моделювання, була визначена апіорна ймовірність вірного спрацьовування, яка дорівнює 0,859. Дана ймовірність перевищує допустиму вірогідність [5]. Дослідження зміни апіорної вірогідності вірного виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації  $P(D_5)$  та апіорної вірогідності помилкового спрацьовування або пропуску небезпеки  $P(D_4)$  зі зміною кількості обстежених об'єктів  $N_1$  та  $N_2$  (кількість об'єктів, які мають діагноз  $D_1$  та  $D_2$ ) в діапазоні  $N_i \in [N_i - \Delta N_i; N_i + \Delta N_i]$ , де  $\Delta N_i = 0,2 \cdot N_i$  представлено у табл. 2 та 3.

Таблиця 2 — Залежність апіорної ймовірності помилкової тривоги або пропуску небезпеки від кількості об'єктів  $N_1$  та  $N_2$

$N_2 \backslash N_1$	15	16	17	18	19	20	21	22	23
4	0,1	0,104	0,108	0,112	0,116	0,12	0,124	0,128	0,132
5	0,11	0,114	0,118	0,122	0,126	0,13	0,134	0,138	0,142
6	0,12	0,124	0,128	0,132	0,136	0,14	0,144	0,148	0,152
7	0,13	0,134	0,138	0,142	0,146	0,15	0,154	0,158	0,162
8	0,14	0,144	0,148	0,152	0,156	0,16	0,164	0,168	0,172

Таблиця 3 — Залежність апіорної ймовірності вірного спрацьовування системи від кількості об'єктів  $N_1$  та  $N_2$

$N_2 \backslash N_1$	15	16	17	18	19	20	21	22	23
4	0,8976	0,8934	0,8893	0,8851	0,8810	0,8768	0,8726	0,8685	0,8643
5	0,8870	0,8828	0,8786	0,8744	0,8702	0,8660	0,8618	0,8576	0,8534
6	0,8764	0,8722	0,8679	0,8637	0,8594	0,8552	0,8510	0,8467	0,8425
7	0,8658	0,8615	0,8572	0,8530	0,8487	0,8444	0,8401	0,8358	0,8316
8	0,8552	0,8509	0,8466	0,8422	0,8379	0,8336	0,8293	0,8250	0,8206

На підставі проведеного дослідження зміни апіорних ймовірностей помилкового спрацьовування або пропуску небезпеки та вірного виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС було встановлено, що при зміні кількості обстежених об'єктів  $N_1$  та  $N_2$  у діапазоні  $N_i \in [N_i - \Delta N_i; N_i + \Delta N_i]$ , в усіх випадках ймовірність вірного виявлення небезпеки задовольняє умові  $P(D) > P_{\text{доп}}$ .

## Висновки

1. Розроблено структуру та проведено дослідження електронної системи виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС, яка дозволяє одночасно виконувати безконтактне вимірювання температури пиловугільного аерозолу в ШБМ в діапазоні  $T \in [1252; 1402] \pm \Delta T, ^\circ\text{C}$  та вимірювання температури пилогазового потоку при його пневматичному транспортуванні до пальників котла в діапазоні  $T = [150; 220] \pm \Delta T, ^\circ\text{C}$ .

2. Розроблено та досліджено імовірнісно-діагностичну модель прийняття рішень, застосування якої дозволить підвищити вірогідність вірного спрацьовування системи протипожежного захисту теплових електростанцій.

3. При дослідженні імовірнісно-діагностичної моделі визначено апіорні та апостеріорні ймовірності помилкової тривоги або пропуску небезпеки та вірного спрацьовування електронної системи виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації на ТЕС. Встановлено, що апіорна ймовірність вірного спрацьовування дорівнює 0,859, що в свою чергу, перевищує допустиме значення ймовірності спрацьовування системи, отже, практично повністю задовольняє вимогам. На підставі цієї інформації встановлено критерій прийняття рішень електронною системою виявлення пожежовибухонебезпечної ситуації в умовах ТЕС.

### Список використаної літератури

1. Промышленные здания и сооружения. Серия: Противопожарная защита и тушение пожаров. / [В.В. Терещев, Н.С. Артемьев, Д.А. Корольченко и др]. — Книга 2. — М.: Пожнаука, 2006. — 412 с.
2. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69 — ФЗ.
3. Вовна О.В. Обґрунтування вимог до системи раннього виявлення самозаймання пиловугільних аерозолів в умовах промислових підприємств / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — 2011. — Вип. 21 (183). — С. 157 – 164.
4. Вовна О.В. Обґрунтування та розробка вимог до системи контролю температури пилогазових аерозолів у пальниках котла на ТЕС / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах: перша міжнародна наукова конференція: збірник тез доповідей. — Вінниця: ВНТУ, 2011. — С. 171.
5. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер.— М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.

Надійшла до редакції:  
01.02.2012 р.

Рецензент:  
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

*A.V. Vovna, I.S. Laktionov. Development probabilistic model of decision-making electronic detection of fire and explosive situation at the thermal power plant. Electronic system of identify fire and explosive situation at the thermal power plant was investigated. The probability-diagnostic model decision-making, this improving the probability of correct operation of fire protection systems of thermal power plants.*

**Keywords:** *electronic system, diagnostic matrix, probability, logic, temperature, decision-making.*

*А.В. Вовна, И.С. Лактионов. Разработка вероятностной модели принятия решений электронной системой выявления пожаровзрывоопасной ситуации на ТЭС. Разработана структура и исследована электронная система выявления пожаровзрывоопасной ситуации на ТЭС. Получила дальнейшее развитие вероятностно-диагностическая модель принятия решений, что позволило повысить вероятность верного срабатывания системы противопожарной защиты тепловых электростанций.*

**Ключевые слова:** *электронная система, диагностическая матрица, вероятность, алгоритм, температура, принятие решений.*

© Вовна О.В., Лактіонов І.С., 2012