

УДК 004.89:654.94

Землянський О.М., Биченко А.О., Березовський А.І., Джулай О.М.

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ РОЗМІЩЕННЯ ДАТЧИКІВ СИСТЕМИ РАНЬОГО ВІЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Постановка проблеми. Розвиток технологій виробництва, транспорту, енергетичної сфери зумовлює існування та появу нових об'єктів, які можна віднести до об'єктів підвищеної небезпеки та відповідно до потенційно небезпечних об'єктів. [1,2]. Це можуть бути в одному випадку об'єкти, збудовані порівняно недавно, і які відповідають сучасним уявленням та вимогам до об'єктів такого роду, так і об'єкти, що використовуються доволі давно і на яких може використовуватись застаріле обладнання, що в цілому збільшує рівень небезпеки такого об'єкту. Отже, логічним є існування потреби в обладнанні об'єктів підвищеної небезпеки такими технічними системами та комплексами які б дозволили виявляти надзвичайні ситуації на таких об'єктах та оповіщати про них, як персонал об'єкту, так і при потребі населення, що проживає у прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комплекс систем виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій, а також виявлення таких ситуацій та оповіщення працюючого персоналу й населення, яке проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів, складається з таких складових частин [3]:

- система раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій;
- система виявлення надзвичайних ситуацій;
- система оповіщення керівного складу та працюючого персоналу
- потенційно-небезпечних об'єктів про загрозу чи виникнення надзвичайних ситуацій;

- система оповіщення відповідальних посадових осіб територіальних органів ДСНС, органів виконавчої влади;
- пульти централізованого моніторингу;
- пульти централізованого спостереження;
- система оповіщення населення, що проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів.

Серед основних систем таких комплексів необхідно виділити систему раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та систему виявлення надзвичайних ситуацій які складаються з різних технологічних датчиків, сигналізаторів тощо, які контролюють небезпечні параметри обладнання і навколишнього середовища, та приймально-контрольних приладів. Слід звернути увагу на те, що технологічні датчики та сигналізатори указаних систем устанолюються і використовуються окремо від аналогічних датчиків промислової автоматики [3].

Системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та виявлення надзвичайних ситуацій об'єднуються у єдиний комплекс за допомогою системи централізованого моніторингу - це комплекс технічних засобів, розміщений у суб'єкта господарювання, котрий має відповідну ліцензію, призначений для приймання, обробки і видачі в заданому вигляді повідомлень про стан систем виявлення загрози надзвичайних ситуацій, реєстрації цих повідомлень та передачі в автоматичному режимі на пульти централізованого спостереження сигналів про надзвичайні ситуації.

На сучасному етапі розвитку систем такого типу нормативними документами регламентується для виявлення передавальних ситуацій та небезпечних чинників

об'єктів у системах, комплексах допускається застосовувати автоматичні датчики будь-якого принципу дії. Вибір конкретних датчиків здійснюють на етапах розробки завдання на проектування та при проектуванні систем і комплексів на підставі вивчення технологічних карт, регламентів тощо потенційно небезпечних об'єктів. Це можуть бути [3]:

- системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей (газоаналізатори);
- системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо);
- системи контролю гранично допустимих рівнів легкозаймистих рідин у резервуарах, апаратах тощо;
- системи контролю гранично допустимого тиску рідин і газоподібних сумішей у трубопроводах, апаратах тощо;
- системи контролю гранично допустимих температур рідин, речовин та газоподібних сумішей в апаратах, посудинах тощо;
- системи контролю гранично допустимих рівнів радіації.

З огляду на високий рівень автоматизації робота більшості датчиків базується на тих чи інших електричних принципах. З урахуванням галузей виробництва найбільш поширеними системами раннього виявлення надзвичайних ситуацій є системи, які використовують системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей (газоаналізатори) та системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо). Відомо, що на результат вимірювань впливають декілька факторів, кожен з яких викликає свою систематичну похибку. В цьому випадку виявлення аналітичного вигляду залежності значно ускладнюється, тому доводиться проводити трудомісткі ґрунтовні дослідження, які іноді закінчуються невдачею. Тим не менш, систематична похибка, що не виявлена, є значно небезпечнішою за випад-

кову, так як остання може бути мінімізована відповідною методикою вимірювання, а систематична невиявлена похибка спотворює результат непередбачувано [4].

Серед декількох груп систематичних похибок, які відрізняються одна від одної причиною виникнення у нашому випадку варто виділити похибки зовнішніх впливів, серед яких найчастіше доводиться стикатись з впливом кліматичних умов [4], таких як тиск, температура, вологість, наявність чи відсутність атмосферних осадків, вплив електричних полів та зовнішніх випромінювань: рентгенівського, ультрафіолетового, іонізуючих випромінювань, гамма-випромінювання.

В теперішній час нормується перелік зовнішніх факторів, до яких повинні бути стійкими запроєктована система, комплекс та діапазон зміни цих факторів (температура, тиск, рівень перешкод тощо), повинен указуватися в технічному завданні на створення автоматизованої системи, комплексу. При цьому запроєктована система, комплекс повинні:

- бути стійкими до можливих деградаційних впливів зовнішніх факторів при експлуатації: механічних ушкоджень, кліматичних умов, впливу агресивних середовищ тощо;
- урахувати при функціонуванні можливий вплив перешкод виробничо-технологічних процесів, радіоелектронних, електронагрівальних і вентиляційних приладів, транспорту тощо.

Постановка задачі та її розв'язання.

Проектування системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій з урахуванням як нормативних вимог, так і з урахуванням можливих наслідків пожеж раціонально здійснювати для будівель і споруд, що мають значну площу та територію. В процесі проектування необхідно врахувати їх розміщення, динаміку в часі, закони або можливості переміщення [5].

Визначення оптимальної кількості технологічних датчиків не є догматичним, строго регламентованим процесом, оскільки залежить від розмірів та типу приміщення, потенційних жертв та можливих обсягів матеріальних збитків, фінансового

стану власника приміщення та його політики. Разом із тим, визначимо загальні аспекти, які мають місце при проектуванні СРВНС.

Важливим параметром СРВНС є ймовірність спрацьовування технологічного датчика. Аналогічні результати для схожих систем вказують на те, що подвійне резервування підвищує ефективність системи на порядок [6], [7].

Вагомим параметром є відстань від місця виникнення надзвичайної ситуації до горизонтальної проекції найближчого технологічного датчика. Високонадійні технологічні датчики необхідно розмішувати над джерелом небезпеки, якщо це не так, то здійснювати резервування. Очевидно, що, якщо ймовірність виникнення надзвичайної ситуації є значно меншою 0,01, при аварії виключені людські жертви і можливі невеликі матеріальні збитки при дефіциті засобів на проектування і установку системи з резервуванням, раціонально обмежитися нормативними вимогами. Якщо хоча б одна з приведених умов не виконана, то необхідно здійснювати додаткове резервування, виходячи з прогнозованої кількості жертв і масштабу матеріальних збитків. Враховуючи обмеженість фінансових коштів, необхідно розв'язати задачу максимізації критерію ефективності системи, що зводиться до оптимального розміщення фіксованої кількості технологічних датчиків [8].

Припустимо, що розподіл небезпек об'єкту є рівномірним, але існують і джерела підвищеної небезпеки, ймовірність виникнення надзвичайної ситуації в яких є достатньо великою або досягнення небезпечних речовин яких може призвести до техногенних або екологічних катастроф. Припустимо, що, згідно з нормативами необхідна установка N технологічних датчиків. Вартість відповідної елементної бази, проектування та установки складає S_{\min} . Якщо в результаті виникнення надзвичайної ситуації в приміщенні або зовні нього можуть загинути люди, то на створення СРВНС необхідно витратити максимально можливі фінансові ресурси S_{\max} . Раціонально вважати, що $S_{\max} - S_{\min} > \delta$,

де δ – вартість збільшення кількості технологічних датчиків, як мінімум, на одиницю (включаючи вартість проектування і установки). У такому разі задача оптимізації СРВНС зводиться до оптимізації структури технологічних датчиків при фіксованій їх кількості.

Конструктивно задачі оптимізації структури СРВНС полягають в оптимізації певних цільових функцій при заданих обмеженнях. Формуючи такі цільові функції, необхідно враховувати ситуації, в яких планується їх використання. У першу чергу потрібно враховувати особливості приміщень та об'єктивність експертних висновків щодо параметрів виникнення надзвичайних ситуацій та потенційних їх наслідків [9], [10].

Розглянемо особливості формування цільової функції. Нехай всі технологічні датчики мають однакову ймовірність правильного спрацьовування p_d . Ефективність функціонування системи СРВНС у першу чергу визначається відстанню від i -го джерела небезпеки або точки виникнення надзвичайної ситуації до горизонтальної проекції датчика або датчиків. Відповідною складовою критерію ефективності вибирають:

- мінімальний час спрацьовування датчика від моменту виникнення надзвичайної ситуації;
- середньоочікуваний час спрацьовування датчика при виникненні надзвичайної ситуації;
- максимальний час спрацьовування сповіщувача від моменту виникнення надзвичайної ситуації.

Швидкість розвитку надзвичайної ситуації та час спрацювання датчиків залежить від пожежного небезпек об'єкту, тобто щільності розміщення матеріалів і об'єктів, які впливають на динаміку розвитку надзвичайної ситуації. Можливі такі ситуації:

1. Небезпека об'єкту або приміщення є рівномірно постійною у часі.

2. Якийсь час t_p небезпека об'єкту або приміщення є постійною, але протягом часу t_n вона може змінюватися (відоме співвідношення t_p/t_n).

3. Небезпека об'єкту або приміщення нерівномірна, що відповідає нерівномірному розподілу джерел небезпеки (малій, середній або великій їх кількості) та змінній щільності розміщення матеріалів і об'єктів.

4. Небезпека об'єкту або приміщення є змінна із відомим або невідомим законом зміни щільності розміщення матеріалів та речовин у відповідності до місця їх знаходження та часу.

5. Потенційні джерела небезпеки відсутні.

Цільова функція для випадку рівномірної небезпеки об'єкту або приміщення. Вважаємо, що на попередньому етапі дослідження визначено кількість технологічних датчиків, виходячи із відношення можливих збитків до витрат на створення системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій, де вартість датчиків є основним фактором. Нехай Ξ – горизонтальна проекція приміщення, де досліджується можливість оптимізації СРВНС, $\Xi = \{(\delta, \delta) \mid x \in [0, a], y \in [0, b]\}$. Кількість датчиків, які встановлюються в приміщенні, є відомою і становить N одиниць. Припустимо, що усі точки приміщення належать зоні відповідальності хоча б одного датчика, яка є кругом. Таким чином, горизонтальні проекції зон відповідальності перетинаються, утворюючи області Ξ_i з різною кратністю відповідальності датчиків, $i = \overline{1, k_\Xi}$, де k_Ξ – кількість таких областей. Знаючи координати розміщення кожного датчика

(x_j, y_j) , $j = \overline{1, N}$ і радіус зони відповідальності r , можна одержати відповідну схему.

Тоді задача оптимізації СРВНС формально зводиться до мінімізації функції

$$F(W) = F(X, Y) = \sum_{i=1}^{k_\Xi} \frac{1}{p_c^i} t_c^i \rightarrow \min,$$

$$p_c^i \in (0, 1), t_c^i \in (t_{\min}, t_{\max}),$$

$$(x_i, y_i) \in \Xi, i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де W – структура системи датчиків, $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$,

(x_i, y_i) – координати датчиків, p_c^i – ймовірність спрацювання датчика або датчиків з урахуванням резервування, t_c^i – час (мінімальний, середньоочікуваний, максимальний) від початку виникнення надзвичайної ситуації, що виникла в точці області Ξ_i , до моменту часу спрацювання датчика, t_{\min} – мінімальний час спрацювання датчика, який визначається його інерційністю, t_{\max} – максимальний час, за який приміщення повністю вигорє (визначається за табличними нормативними даними). Розв'язком задачі (1) будуть координати розміщення датчиків у разі відсутності джерел підвищеної небезпеки в приміщенні.

Використання цільової функції (1) не завжди є адекватним. В ідеальних умовах кожна точка приміщення належить до зони відповідальності хоча б одного датчика і тоді цільова функція (1) відповідає розв'язуваній задачі. На практиці така умова, а особливо, якщо здійснюється оптимізація структури датчиків, виконується не завжди. Для того, щоб цільова функція не втрачала свій сенс, оскільки тоді знаменник дорівнює нулю, введемо доданок, який змістовно означатиме штрафну частину. Цільова функція набуде такого виду:

$$F(W) = \sum_{i=1}^M \chi\left(\left(\sum_{j=1}^N \chi(d_{ij} < r)\right) > 0\right) \cdot \frac{1}{1 - (1 - p)^{\sum_{j=1}^N \chi(d_{ij} < r)}} \cdot \min_j d_{ij} +$$

$$+ \sum_{i=1}^M \chi\left(\left(\sum_{j=1}^N \chi(d_{ij} < r)\right) = 0\right) \cdot \min_j d_{ij},$$
(2)

де M – кількість точок виникнення аварії, $\chi(*)$ є функцією-індикатором, тобто $\chi(A) = \begin{cases} 1, & \text{якщо умова } A \text{ виконується,} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$ d_{ij} – відстань від i -ї точки виникнення аварії до j -го датчика, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$.

Перший доданок в (2) відповідатиме випадку, коли точка виникнення надзвичайної ситуації належить зоні відповідальності хоча б одного датчика, другий доданок є штрафним і значення цільової функції збільшуватиметься, якщо ця точка не належить жодній зоні відповідальності. Водночас моделі (1) і (3.2) побудовані для найпростішого випадку, коли приміщення має постійну рівномірну небезпеку та відсутні джерела підвищеної пожежної небезпеки.

Отримана модель відображає різносторонність розгляду проблеми створення СРВНС.

Висновки. Безперечно, актуальною є розробка такої системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій, яка б давала змогу виявляти можливість виникнення надзвичайної ситуації враховуючи значення початкових відхилень параметрів технологічних процесів, зовнішні фактори навколишнього середовища тощо. Подальшими перспективами досліджень вбачаються розробка структури та моделей роботи бази даних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» //Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, N 15, ст.73

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. N 956 «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки

3. Наказ 15.05.2006 N 288 Про затвердження Правил улаштування, експлуатації та технічного обслуговування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення.

4. Козлов М.Г. Метрология и стандартизация: Учебник М., СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. 372 с.

5. ДБН В.2.5-76:2014. Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення [Текст]. - Київ. Мінрегіон України. 2014. – С. 46.

6. Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю. П. Зайченко. – К.: Слово, 2004. – 352 с.

7. Ларичев О. И. Объективные модели и субъективные решения / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 143 с.

8. Землянский А. Н. Проектирование систем пожарного мониторинга в условиях неопределенности / А. Н. Землянский, Н. П. Каревина, В. Е. Снитюк // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 483-488.

9. Снитюк В. Е. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении: [монография] / В. Е. Снитюк, А. А. Быченко, А. Н. Джулай. – Черкассы: Маклаут, 2008. – 264 с.

10. Снитюк В. Є. Еволюційна оптимізація системи пожежного моніторингу в умовах рівномірної пожежної навантаженості приміщення / В. Є. Снитюк, О. М. Землянський // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2. – С. 117-121.

11. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Ю. П. Зайченко. – К.: Слово, 2008. – 344 с.