

УДК 515.2

О.Б. Васильєв

Національний університет цивільного захисту України, Харків

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПРОФІЛАКТИКИ ПОЖЕЖ ПРОМИСЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

Побудована математична модель задачі оптимізації підсистеми профілактики пожеж системи забезпечення пожежної безпеки промислового підприємства газонафтопереробної галузі.

Ключові слова: система забезпечення пожежної безпеки, підсистема профілактики пожеж, математична модель, оптимізація.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз динаміки пожеж у країні протягом останніх 5 років показує, що дана частина ЧС залишається найбільшою в порівнянні з іншими видами. Це пояснюється, з одного боку, прогресуючим зношуванням основних фондів підприємств та, з другого боку, зменшенням кількості коштів, що виділяються на розвиток пожежної охорони об'єктів. Для подолання ситуації, що склалася, необхідно забезпечити високий рівень пожежної безпеки об'єктів і передбачити зниження ступеня впливу наслідків можливої пожежі. Розв'язання зазначених складних і взаємозалежних задач вимагає наявності розвитої системи забезпечення пожежної безпеки (СЗПБ). Вирішальний внесок у підвищення рівня пожежної безпеки (ПБ) об'єктів вносить профілактична робота з виявлення й усунення причин можливої пожежі. Ці функції в складі СЗПБ виконує підсистема профілактики пожежі (ПП).

В умовах обмеженості коштів, що виділяються на вирішення проблем ПБ об'єктів, зменшення кількості працівників Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), які займаються пожежно-профілактичною роботою, особливу важливість набуває підвищення ефективності функціонування ПП СЗПБ. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є математичне моделювання й оптимізація параметрів СЗПБ і її підсистем. У першу чергу це стосується підприємств газонафтопереробної галузі, найнебезпечніших у пожежному відношенні.

Аналіз публікацій. У роботах [1, 2] розглянуті деякі аспекти моделювання оптимальної структури ПП СЗПБ машинобудівного підприємства. Авторами показано, що ефективність функціонування ПП СЗПБ можна характеризувати кількістю виявлених і усунутих порушень вимог пожежної безпеки (ПВПБ), а загальна кількість ПВПБ на об'єкті може виступати в якості показника його пожежної небез-

пеки (ПН). При цьому всі множина ПВПБ представляється у вигляді шести кластерів $N_t = N_{ij}$, $j = 1, 2, \dots, 6$, які мають різні ступені впливу (важливість) на рівень ПН об'єкта.

В роботі [3] розглядається задача створення ефективної СЗПБ промислового підприємства та розроблена методика побудови формального опису ПП СЗПБ. В роботі [4] розглядається модель задачі оптимізації контрольно-профілактичної роботи з попередження виникнення пожеж на промисловому підприємстві. Однак існуючі моделі в основному мають своєю метою дослідження функціонування СЗПБ і її підсистем в умовах реального об'єкта й визначення на цій основі складу, структури й множини функціональних зв'язків. Моделі, що дозволяють здійснити оптимізацію структури і функціонування СЗПБ і її підсистем, практично відсутні. Крім того, застосування існуючих моделей для оцінки й підвищення ефективності функціонування ПП СЗПБ підприємств газонафтопереробної галузі утруднене через наявність якісно й кількісно іншої системи внутрішніх функціональних зв'язків, порівняно з умовами машинобудівного підприємства, а також у зв'язку з обмеженим обсягом статистичного матеріалу, необхідного для одержання достатньо точних значень імовірнісних величин.

Тому, з метою підвищення економічної ефективності заходів щодо забезпечення пожежної безпеки газопереробного підприємства, необхідно вирішувати задачу оптимізації ПП СЗПБ з урахуванням його специфіки.

Таким чином, *розробка оптимізаційної математичної моделі ПП СЗПБ газонафтопереробного підприємства (ГНПП) для підвищення ефективності її функціонування* є актуальною науковою задачею і складає мету статті.

Виклад основного матеріалу

Постановка задачі. Як показано у [4], ПП СЗПБ виробничого підприємства є цілеспрямованою

системою, ціль якої характеризується множиною часткових властивостей $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, а рівень її досягнення – множиною часткових критеріїв $K = \{k_\phi\} = \{K_\phi \cup K_3\}$, де група критеріїв $K_\phi = \{k_{1\phi}, \dots, k_{m\phi}\}$ оцінює корисні функціональні властивості, заради яких створювалася система, а група $K_3 = \{k_{13}, \dots, k_{l3}\}$ оцінює вартісні характеристики функціонування ПП СЗПБ. Критерії $K_3 = \{k_{13}, \dots, k_{l3}\}$ переведені в обмеження виду $k_{l3} \leq k_{l3}^*$, $l=1, 2, \dots, L$, де k_{l3}^* – ресурси, виділені для функціонування ПП СЗПБ.

Оцінка, яка пропонується для кількісної характеристики часткових критеріїв, має вигляд:

$$k_{i\phi} = \sqrt{\frac{1}{s-1} \sum_{j=1}^s \lambda_{ij} (1-\delta_j)^2}, \quad (1)$$

де s – число елементів, що складають частковий критерій $k_{i\phi}$, λ_{ij} – ваговий коефіцієнт j -го елемента критерію $k_{i\phi}$, а параметр δ визначається за формулою

$$\delta_j = \begin{cases} k_{i\phi}^j / k_{i\phi}^{j*}, & \text{если } k_{i\phi}^{j*} \geq k_{i\phi}^j \text{ та } k_{i\phi}^{j*} \neq 0, \\ k_{i\phi}^{j*} / k_{i\phi}^j, & \text{если } k_{i\phi}^j \geq k_{i\phi}^{j*} \text{ та } k_{i\phi}^j \neq 0, \end{cases}$$

де $k_{i\phi}^j$, $k_{i\phi}^{j*}$ – поточне та бажане значення j -го елемента критерію $k_{i\phi}$ відповідно.

Часткові критерії $k_{i\phi} = \{k_{i\phi}^1, \dots, k_{i\phi}^s\}$ мають сенс кількості ПВПБ, виявлених на об'єктах підприємства при проведенні оглядів.

Вказана дворівнева ієрархічна класифікація ПВПБ наведена в табл. 1 [1, 2].

Кількісна оцінка якості стану й функціонування ПП СЗПБ підприємства пропонується у вигляді інтегрального критерію $\Lambda = \Lambda(k_{i\phi})$.

Інтегральний критерій ураховує також загальний рівень пожежної небезпеки об'єктів підприємства, який можна характеризувати ймовірністю Q_q виникнення пожежі в результаті аварії:

$$\Lambda = Q_q \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i k_{i\phi} = Q_{qa} Q_{qp} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i k_{i\phi}, \quad (2)$$

де m – кількість критеріїв $k_{i\phi}$; Q_{qa} – імовірність аварії на q -му об'єкті підприємства, яка може спричинити пожежу (вибух); Q_{qp} – імовірність реалізації пожежі (вибуху) на q -му об'єкті підприємства в результаті аварії.

Оптимізаційна модель ПП СЗПБ виробничого підприємства має вигляд

$$x^0 = \arg \text{extr}_{x \in X} \Lambda(k_{i\phi}) \quad (3)$$

при системі обмежень

$$g_l(x, q_g) = 0, \quad l = \overline{1, L(Y)}, \quad (4)$$

де g_l – оператори, які визначають структуру математичної моделі відповідного обмеження; q_g – кількісні параметри відповідних обмежень.

Задача оптимізації ПП СЗПБ полягає в мінімізації відхилення його стану від необхідного (бажаного), тобто зводиться до визначення

$$\Lambda^* = \min_W \Lambda = \min_W Q_{qa} Q_{qp} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i k_{i\phi}, \quad (5)$$

де система обмежень W містить у собі ресурсні обмеження виду:

$$\sum_{q=1}^M \tau_q \leq T, \quad (6)$$

$$\sum_{q=1}^M r_q \leq R, \quad (7)$$

де M – кількість об'єктів підприємства, що підлягають інспектуванню; τ_q – час, який необхідно для інспектування q -го об'єкта; T – фонд часу інспектора, який витрачається на огляд об'єктів; r_q – ресурси, необхідні для реалізації комплексу профілактичних заходів на q -му об'єкті; R – фонд ресурсів, виділених на проведення профілактичної роботи на підприємстві.

Ваговий коефіцієнт λ_{ij} j -го елемента критерію $k_{i\phi}$ може бути визначений на основі експертного оцінювання з використанням, наприклад, методу аналізу ієрархій [5].

Ефективність функціонування ПП СЗПБ об'єктів можна характеризувати кількістю виявлених і усунутих ПВПБ з урахуванням загального рівня пожежної небезпеки об'єкта [3].

Це дозволяє здійснити декомпозицію задачі (5) – (7) і проводити її рішення у два етапи: виявлення наявних ПВПБ (1 етап) і їх усунення (2 етап). Тому цільова функція задачі $\Lambda(k_{i\phi})$ може бути представлена у вигляді суперпозиції функцій $\Lambda^1(k_{i\phi})$ і $\Lambda^2(k_{i\phi})$, які є критеріями якості підзадач, що розв'язуються на цих етапах:

$$\Lambda(k_{i\phi}) = \lambda^1 \Lambda^1(k_{i\phi}) + \lambda^2 \Lambda^2(k_{i\phi}), \quad (8)$$

де λ^i ($i = 1, 2$) – вагові коефіцієнти, що характеризують внесок (важливість) кожного з етапів у загальне підвищення ефективності функціонування ПП СЗПБ підприємства, $0 < \lambda^i \leq 1$ і $\sum_{i=1}^2 \lambda^i = 1$.

Дворівнева ієрархічна класифікація ПВПБ [1, 2]

1	Порушення, що викликають утворення горючого середовища	1.1 При зберіганні й обігу ЛВЖ 1.2. При зберіганні й обігу ГЖ 1.3. При зберіганні й обігу горючих газів 1.4. При зберіганні й обігу твердих горючих матеріалів
2	Порушення, що викликають появу джерел запалювання	2.1. Відкрите полум'я, розпечені тіла 2.2. Електричні розряди й іскри 2.3. Іскри від удару й тертя 2.4. Теплові прояви хімічних реакцій 2.5. Теплові прояви механічних впливів 2.6. Електромагнітні й інші випромінювання
3	Порушення, що сприяють поширенню полум'я	3.1. По приміщенню 3.2. По поверхові 3.3. По будівлі, споруді 3.4. По території об'єкта (сировині, відходам)
4	Порушення, що перешкоджають евакуації при пожежі	4.1 ПВПБ людей, що перешкоджають евакуації 4.2. ПВПБ, що перешкоджають евакуації матеріальних цінностей
5	Порушення, що перешкоджають гасінню пожежі	5.1. ПВПБ до устрою й утриманню під'їзних колій і доріг 5.2. ПВПБ до втримування пожежної техніки й устаткування 5.3. ПВПБ до втримування первинних коштів пожежогасіння 5.4. ПВПБ до устрою й утриманню внутрішніх п/п водопроводів 5.5. ПВПБ до устрою й утриманню зовнішнього п/п водопостачання 5.6. ПВПБ до устрою й утриманню систем зв'язки й АПС 5.7. ПВПБ до устрою й утриманню систем АПТ
6	Порушення організаційних заходів щодо забезпечення ПБ	6.1. Порушення організаційного й нормативного регламентування ППЗ 6.2. Невиконання посадовою особою обов'язків по ППЗ 6.3. Порушення за участю громадськості в забезпеченні ППЗ (ДПД, ПТК)

На першому етапі часткові критерії, що входять до (5), мають сенс:

$$k_{i\phi}^j = n_{ij}^{qt}, \quad k_{i\phi}^{j*} = n_{ij}^{q*}, \quad (9)$$

де n_{ij}^{qt} – кількість ПВПБ j -го типу із i -го кластера на q -му об'єкті підприємства, виявлених інспекцією в момент часу t ; n_{ij}^{q*} – загальна кількість ПВПБ, виявлених на q -му об'єкті підприємства за тривалий строк, що належать до j -го типу з i -го кластера. Значення n_{ij}^{qt} й n_{ij}^{q*} можна визначити на основі аналізу приписів, що направляються керівництву підприємства.

Таким чином, на першому етапі розв'язання задачі оптимізації ПП СЗПБ підприємства цільова функція має вигляд

$$\Lambda^1 = \sum_{q=1}^M \Lambda_q^1(t, k_{i\phi}) =$$

$$= \sum_{q=1}^M Q_{qa} Q_{qp} \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \lambda_i \sqrt{\frac{1}{s-1} \sum_{j=1}^s \lambda_{ij}^j \left(1 - \frac{n_{ij}^{qt}}{n_{ij}^{q*}}\right)^2} \right], \quad (10)$$

а система обмежень включає нерівність виду (6).

На другому етапі критерії, що входять у вираз (5), мають вигляд:

$$k_{i\phi}^j = m_{ij}^{qt}, \quad k_{i\phi}^{j*} = m_{ij}^{qt*}, \quad (11)$$

де m_{ij}^{qt} – кількість виявлених ПВПБ на q -му об'єкті, що належать до j -го типу з i -го кластера, термін усунення яких минув у період часу $(t-1, t)$, і усунутих до часу t ; m_{ij}^{qt*} – загальна кількість ПВПБ, що належать до j -го типу з i -го кластера й виявлених на q -му об'єкті при інспекції його представником ДПН у моменти часу $t-1, t-2$, а також раніше, термін усунення яких минув до моменту часу t .

На другому етапі цільова функція має вигляд

$$\Lambda^2 = \sum_{q=1}^M \Lambda_q^2(t, k_{i\phi}) = \sum_{q=1}^M Q_{qa} Q_{qp} \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \lambda_i \sqrt{\frac{1}{s-1} \sum_{j=1}^s \lambda_{ij} \left(1 - \frac{m_{ij}^{qt}}{m_{ij}^{qt*}}\right)^2} \right], \quad (12)$$

де M – кількість об'єктів підприємства, на яких були виявлені ПВПБ.

Якщо в якості критерію використовується величина \bar{m}_{ij}^{qt} – кількість виявлених ПВПБ на q -му об'єкті підприємства, що належать до j -го типу з i -го кластера, термін усунення яких минув у період часу $(t-1, t)$, і не усунутих до моменту часу t , то

$$k_{i\phi}^j = \bar{m}_{ij}^{qt}. \quad (13)$$

У цьому випадку цільова функція має вигляд

$$\Lambda^2 = \sum_{q=1}^M \Lambda_q^2(t, k_{i\phi}) = \sum_{q=1}^M Q_{qa} Q_{qp} \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \lambda_i \sqrt{\frac{1}{s-1} \sum_{j=1}^s \lambda_{ij} \left(\frac{\bar{m}_{ij}^{qt}}{m_{ij}^{qt*}}\right)^2} \right]. \quad (14)$$

Система обмежень на другому етапі включає нерівність виду (7).

Висновки

Таким чином, у статті побудована оптимізаційна математична модель і сформульована задача оптимізації ПП СЗПБ газонафтопереробного підприємства на всіх етапах життєвого циклу. Проаналізована цільова функція й система обмежень оптимізаційної задачі.

Визначені параметри сформульованої оптимізаційної задачі. Для характеристики ефективності функціонування ПП СЗПБ введений набір часткових критеріїв і на їхній основі розроблений інтегральний критерій, що враховує рівень пожежної небезпеки об'єктів підприємства. Кількісні значення часткових критеріїв можуть бути знайдені на базі аналізу результатів пожежно-профілактичної роботи на об'єк-

тах підприємства. Оцінка величин вагових коефіцієнтів часткових критеріїв, що характеризують ступінь їх впливу на рівень пожежної безпеки газонафтопереробного підприємства, може бути визначена на основі експертного оцінювання.

Здійснена декомпозиція задачі оптимізації роботи ПП СЗПБ на дві взаємозалежні підзадачі, відповідні до етапів виявлення наявних ПВПБ і їх усунення. Кожна з підзадач має власну функцію мети й систему обмежень. Цільова функція основної оптимізаційної задачі представлена у вигляді суперпозиції двох цільових функцій, які є критеріями якості відповідних підзадач, що розв'язуються на зазначених етапах.

Список літератури

1. Сырых В.Н. Системный подход к оценке обеспечения пожарной безопасности объектов / В.Н. Сырых, Ю.В. Уваров // Проблемы совершенствования пожарной безопасности. – Харьков: ХИПБ, 1997. – С. 142-144.
2. Уваров Ю.В. Использование статистических данных функционирования системы обеспечения пожарной безопасности для оценки противопожарного состояния объекта / Ю.В. Уваров // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 1997. – Вып. 12. – С. 128-131.
3. Федоренко М.П. Повышение эффективности пожарно-профилактической работы на газоперерабатывающем предприятии / М.П. Федоренко // Пожарная безопасность та охорона праці: наук.-практ. конф., 14-16 травня 2008 р.: тез. доп. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобілля. – 2008. – С. 114-116.
4. Федоренко М.П. Критерий оценки эффективности функционирования системы профилактики пожара газонефтеперерабатывающего предприятия / М.П. Федоренко // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту: II наук.-практ. конф., 30-31 березня 2009 р.: тез. доп. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобілля. – С.114-116.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993.

Надійшла до редколегії 14.04.2014

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Н.Д. Сизова, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИКИ ПОЖАРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

А.Б. Васильев

Построена математическая модель задачи оптимизации подсистемы профилактики пожаров системы обеспечения пожарной безопасности промышленного предприятия газонефтеперерабатывающей отрасли.

Ключевые слова: система обеспечения пожарной безопасности, подсистема профилактики пожаров, математическая модель, оптимизация.

CONSTRUCT A MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM FOR FIRE PREVENTION INDUSTRIAL FACILITY

A.B. Vasilyev

A mathematical model of optimization problem of subsystem fire prevention fire safety system of industrial enterprise gas and oil refining industry.

Keywords: fire safety supporting system, fire prevention subsystem, mathematical model, optimization.