

УДК 515.2

О.Б. Васильєв

Національний університет цивільного захисту України, Харків

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ

Розглядається побудова математичної моделі та методики розв'язання задачі оптимізації системи забезпечення пожежної безпеки промислового підприємства з використанням імітаційного моделювання.

Ключові слова: система забезпечення пожежної безпеки, математична модель, оптимізація, імітаційне моделювання.

Вступ

Постановка проблеми. Підвищення економічної ефективності заходів щодо забезпечення пожежної безпеки потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) тісно пов'язане з вирішенням задачі оптимізації їх систем забезпечення пожежної безпеки (СЗПБ). Оптимізація передбачає такий вибір параметрів СЗПБ, який забезпечив би мінімальні розміри негативних наслідків від пожеж.

Аналіз публікацій. Згідно зі статистичними даними [1], наслідки великих пожеж на ПНО, зокрема на підприємствах з переробки нафти та природного газу, хімічної промисловості, об'єктах, де обертуються або зберігаються сильнодіючі отруйні речовини у регіональному масштабі можуть бути катастрофічними. В умовах обмеження коштів, що виділяються на вирішення проблем пожежної безпеки промислових об'єктів, особливу важливість набувають задачі підвищення ефективності функціонування СЗПБ. Одним із шляхів розв'язання цих задач є математичне моделювання СЗПБ та її підсистем. Побудові математичних моделей СЗПБ різних об'єктів, у тому числі – виробничих, присвячено ряд вітчизняних та закордонних публікацій [2 – 4], в яких аналізуються склад та функції СЗПБ, пропонується шляхи її удосконалення. Розглядається використання математичного моделювання для підвищення ефективності функціонування СЗПБ ПНО за всіма напрямками.

Мета статті. Об'єкти, які охороняються підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), характеризуються великою різноманітністю характеристик і, як наслідок, відмінностями параметрів СЗПБ. Прийнятий поділ об'єктів по галузях не усуває цих відмінностей. Тому є актуальною розробка математичної моделі та методики розв'язання задачі оптимізації СЗПБ, яка могла бути застосована для різних класів ПНО, з використанням імітаційного моделювання.

Постановка задачі

У зв'язку з вищесказаним задачу оптимізації СЗПБ потенційно-небезпечних об'єктів пропонується розв'язувати в два етапи.

Перший етап передбачає класифікацію об'єктів з пожежної небезпеки.

Для цієї мети пропонується використовувати алгоритм, що дозволяє однозначно розбити задану сукупність на попарно непересічні класи.

Другий етап полягає в оптимізації характеристик СЗПБ всередині кожного класу об'єктів.

Реалізація здійснюється як шляхом оптимізації загальних ресурсів СЗПБ, так і шляхом перерозподілу ресурсів між структурними підрозділами пожежної охорони об'єкта.

Введемо такі позначення:

C_y – матеріальний збиток від пожежі за фіксований інтервал часу;

$C_{пб}$ – витрати на забезпечення пожежної безпеки за фіксований інтервал часу;

P – ймовірність впливу небезпечних факторів пожежі на людину в рік ;

α_n – нормативна ймовірність впливу небезпечних факторів пожежі на людину в рік ;

ρ – функція ризику .

Задача оптимізації систем пожежної безпеки об'єктів є стохастичною. Для розв'язання таких задач можна застосувати теорію статистичних рішень.

Введемо до розгляду функцію ризику

$$\rho(C_{пб}) = C_y(C_{пб}) + C_{пб}. \quad (1)$$

Оптимальний розв'язок, що мінімізує середній ризик, може бути знайдений в класі байєсівських:

$$C_{пб}^* = \underset{C_{пб}}{\operatorname{argmin}} \int_{\Omega_p} \rho(C_{пб}) dF(\rho), \quad (2)$$

де $F(\rho)$ – функція розподілу ризику ρ ;

Ω_p – область існування функції ризику.

Вираз (2) визначає оптимальний розв'язок проблеми лише з точки зору матеріального збитку, тому доцільно ввести додаткові обмеження виду

$$C_{\text{ПБ}} \in \Omega_{\text{доп}}, \quad (3)$$

де $\Omega_{\text{доп}} = \{ C_{\text{ПБ}} \mid P \leq \alpha_n \}$ – множина значень $C_{\text{ПБ}}$, для яких $P \leq \alpha_n$.

Тоді

$$\operatorname{arg\,min}_{C_{\text{ПБ}} \in \Omega_{\text{доп}}} \int_{\Omega_p} \rho(C_{\text{ПБ}}) dF(\rho). \quad (4)$$

Вираз (4) визначає оптимальний рівень пожежної безпеки об'єкту, точніше оптимальні витрати на його забезпечення.

Труднощі при вирішенні зазначеної задачі полягають в наступному:

- відсутні аналітичні вирази критерію оптимізації і обмежень;
- невідомі щільності ймовірностей впливу на людей небезпечних факторів пожежі та функції ризику.

Дану задачу слід віднести до задач оптимізації в умовах невизначеності.

Специфіка та складність задачі обумовлює обмежені можливості її розв'язання, так як побудувати функції розподілу і залежностей критерію оптимізації від параметрів, що оптимізуються, на основі реально наявної інформації неможливо, а відновити і уточнити інформацію важко.

Усунути зазначені труднощі можна за допомогою імітації на комп'ютері функціонування СЗПБ реальних об'єктів.

При цьому математична модель повинна забезпечити імітацію:

- пожежної профілактики;
- виникнення пожежонебезпечних ситуацій, загорянь і пожежі;
- функціонування систем автоматичної пожежної сигналізації (АПС) та пожежогасіння (АУПГ);
- гасіння пожежі;
- виникнення небезпечних для людей факторів пожежі;
- формування матеріальних збитків від пожежі;
- взаємодії об'єктової пожежної охорони та гарнізону.

Для моделювання взаємодії об'єктової пожежної охорони та гарнізону може бути використана імітаційна модель функціонування пожежної охорони [5].

Метою даного імітаційного моделювання є визначення оптимальних витрат на забезпечення пожежної безпеки об'єкта, які можуть бути отримані при організації на моделі відповідної пошукової процедури. Необхідно також вирішити питання про вибір структури СЗПБ, під якою розуміється розподіл витрат на різні види організаційних заходів та технічних засобів забезпечення пожежної безпеки. Тобто, йдеться про вирішення задачі оптимального

розподілу ресурсів для забезпечення необхідного рівня пожежної безпеки.

Дана задача відноситься до класу задач стохастичною оптимізації за векторними критеріями.

Система критеріїв має вигляд:

$$J_1 = \{ N_3 \mid t \in T \} \rightarrow \min_{N_{\text{СЕК}}} ;$$

$$J_2 = \{ C_y \mid t \in T \} \rightarrow \min_{N_{\text{СЕК}}, C_{\text{АУПГ}}} .$$

При визначенні критеріїв J_1 і J_2 число загорянь N_3 і матеріальний збиток від пожежі C_y визначалися в деякому інтервалі часу $t \in [0, T]$.

Система обмежень має вигляд:

$$C_{\text{ПРОФ}}(N_{\text{СЕК}}) + C_{\text{ОП}}(N_{\text{АВТ}}) + C_{\text{АУПГ}} = C_{\text{ПБ}}^* ;$$

$$P\{ N_{\text{П}} \mid t \in T \} \leq \alpha_n ;$$

$$N_{\text{ВУЗ}} \geq 10^6 / \mu ,$$

де N_3 – число загорянь;

$N_{\text{СЕК}}$ – кількість секторів на об'єкті;

$N_{\text{АВТ}}$ – кількість основних пожежних автомобілів;
 $N_{\text{ВУЗ}}$ – допустиме число пожежонебезпечних вузлів на один сектор;

μ – інтенсивність загорянь для даного типу секторів;

$C_{\text{ПРОФ}}$ – витрати на організацію і проведення пожежно-профілактичної роботи;

$C_{\text{ОП}}$ – витрати на оперативні підрозділи;

$C_{\text{АУПГ}}$ – витрати на автоматичні установки пожежогасіння;

$N_{\text{П}}$ – кількість людей, які загинули або отримали травми на пожежі.

Звідси випливає, що J_1 є критерієм, який характеризує якість профілактичної роботи; а критерій J_2 – якість роботи оперативних підрозділів об'єктової пожежної охорони та ефективність роботи АУПГ при гасінні пожежі.

У загальному випадку в критеріях оптимізації математичні очікування можуть бути замінені ймовірностями. Природно, що дана заміна ускладнить розв'язок задачі. Таким чином, задача оптимізації СЗПБ об'єктів розв'язується за допомогою імітаційної моделі в два етапи:

Етап 1.

Визначення необхідного рівня пожежної безпеки об'єктів (у вартісному вираженні).

Етап 2.

Розв'язання задачі оптимального розподілу ресурсів за векторним критерієм.

Аналітичний розв'язок задачі знайти дуже важко, тому необхідно організувати пошукову процедуру, яка, в свою чергу, може бути розділена на дві частини:

- пошукову оптимізацію кількісних характеристик СЗПБ (наприклад, за загальною площею приміщень, що захищаються АУПГ) ;

- автоматизацію прийняття якісних рішень (наприклад, змінити проект будівлі) при пошуку оптимального варіанту СЗПБ, що потребують організації ефективної діалогової системи «людина – комп'ютер».

Імітаційне моделювання СЗПБ ПНО

Алгоритм імітаційного моделювання СЗПБ об'єктів включає основні задачі, які розв'язуються комп'ютером у процесі імітації, і послідовність їх розв'язання. Алгоритм складається з декількох груп блоків, які призначені для:

- моделювання пожежної небезпеки об'єкта і розташованих на його території будівель (генератори порушень вимог пожежної безпеки та загоряння);
- імітації процесу ліквідації загоряння (за рахунок використання автоматичних засобів пожежогасіння, роботи об'єктової пожежної охорони);
- моделювання розвитку і гасіння пожежі (визначення необхідного і фактичної кількості вогнегасних засобів);
- прогнозування розмірів наслідків від пожежі (визначення матеріального збитку і небезпеки для людей).

Процес імітації відповідно до запропонованого алгоритму передбачає генерування порушень вимог пожежної безпеки (ПВПБ) в будівлях різного призначення на даному об'єкті. Стохастичний характер появи порушень задається законами розподілу часу появи порушень залежно від їх видів.

Дослідження процесів виникнення зазначених ситуацій на конкретних об'єктах [6] дозволяє зробити висновок, що інтервали часу між моментами появи порушень одного виду близькі до експоненціального закону. Вибір місця появи порушення здійснюється випадковим чином при заданому пріоритеті груп будівель. Накопичення числа ПВПБ за їх видами у відповідному файлі проводиться по кожній будівлі об'єкта.

Генерування переходів ПВПБ в загоряння (пожежі, спалахи тощо) здійснюється по кожному виду порушень. Вивчення можливостей такого переходу дозволяє припустити, що число загорянь визначається числом ПВПБ, що виникли. Оцінкою ймовірності переходу є частота загорянь, що відбуваються внаслідок ПВПБ відповідних видів. Час виникнення займання визначається випадковим чином на заданому інтервалі, що відраховується від попереднього загоряння.

Після фіксування факту загоряння аналізуються можливості його розвитку. Для цього перевіряється наявність первинних та інших засобів пожежогасіння,

надійність їх спрацювання, боєготовність об'єктової пожежної охорони, наявність і надійність систем сигналізації та сповіщення про пожежу. Зазначені перевірки здійснюються на підставі інформації з бази даних та відомостей про надійність СЗПБ.

Результати проведених перевірок дозволяють дати оцінку часу вільного розвитку пожежі в даному будинку, яка залежить від виду наявної сигналізації і часу прибуття пожежної охорони об'єкта.

Питання про необхідність нарощування сил і засобів для гасіння пожежі вирішується шляхом порівняння необхідної і наявної кількості (і видів) вогнегасних засобів та інтенсивності їх подачі.

Розміри матеріального збитку формуються в залежності від часу вільного розвитку пожежі, часу гасіння та характеристик будівлі.

Наприкінці циклу імітації дається оцінка небезпеки дії факторів пожежі на людей. Вона полягає в порівнянні часу появи небезпечних факторів пожежі та розрахункового часу евакуації людей з будівлі з урахуванням випадкової величини, що залежить від наявності ПВПБ на шляхах евакуації в даний момент часу.

Час імітації, що задається, дозволяє моделювати функціонування СЗПБ різних за призначенням об'єктів протягом тривалого часу.

Таким чином, провівши реалізацію процесу імітації на даних моделях, можна визначити середні характеристики пожежі, а саме:

- час її вільного розвитку;
- час її локалізації;
- час її ліквідації при заданих силах і засобах

об'єктової пожежної охорони та гарнізону.

Можна також визначити, як залежать дані середні характеристики (які, в основному, і визначають розміри наслідків від пожежі) від чисельності та технічної оснащеності пожежної охорони об'єкта і гарнізону.

Імітаційна модель може бути побудована для відносно вузьких класів об'єктів. Необхідно враховувати також, що моделі відображають лише деякі сторони явищ і процесів, причому будуються вони на конкретній інформації, що швидко застаріває, тому повинні оновлюватися в міру необхідності.

Система підтримки прийняття рішень для оптимізації СЗПБ ПНО

У зв'язку з вищесказаним пропонується використовувати імітаційні моделі у складі спеціалізованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) для оптимізації СЗПБ ПНО.

СППР, що пропонується, включає до свого складу (рис. 1):

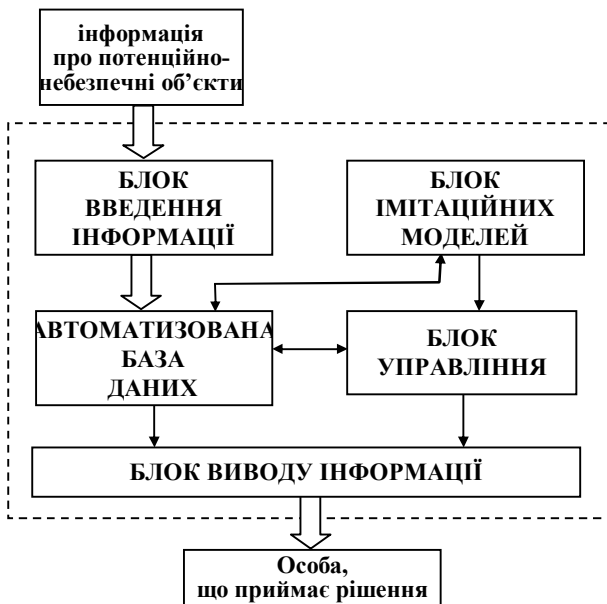


Рис. 1. Функціональна схема системи підтримки прийняття рішень для оптимізації СЗПБ ПНО

- автоматизовану базу даних;
- блок управління;
- діалогову систему.

Блок управління призначений для управління роботою системи в різних режимах:

- в інформаційному режимі – видача відповідної інформації з бази даних та отримання окремих залежностей і показників;
- в аналітичному режимі – розв’язання задач прогнозування пожежної небезпеки об’єкта або відпрацювання окремих варіантів СЗПБ (після формування блоків імітаційних моделей і завдання плану імітаційного експерименту);
- в режимі оптимізації – побудова оптимальних варіантів СЗПБ при заданих обмеженнях і цільовій функції (після формування оптимізаційної процедури).

Висновки

Таким чином, імітаційна система, що пропонується, може бути використана для аналізу різних варіантів СЗПБ об’єктів і вибору оптимальної з точки зору його економічної ефективності рішення. Додатково дана система дозволяє проводити дослідження з визначення окремих залежностей між параметрами СЗПБ об’єктів.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році. – К.: “Чорнобильінтерінформ”, 2007. – 236 с.
2. Брушлинський Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинський. – М.: Стройиздат, 1992. – 347 с.
3. Брушлинський Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы / Н.Н. Брушлинський. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
4. Брушлинський Н.Н. Совершенствование организации и управления пожарной охраной / Н.Н. Брушлинський, А.К. Микеев, Г.С. Бозуков. – М.: Стройиздат, 1986. – 152 с.
5. Брушлинський Н.Н. Математическая модель процесса функционирования противопожарной службы города / Н.Н. Брушлинський, Л.Ю. Тяжелова // Процессы горения и проблемы тушения пожаров: Всесоюз. науч.-техн. конф.: матер. – М., 1973. – С. 320-328.
6. Уваров Ю.В. Использование статистических данных функционирования системы обеспечения пожарной безопасности для оценки противопожарного состояния объекта / Ю.В. Уваров // Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техніка, 1997. – Вып. 12. – С. 128-131.

Надійшла до редколегії 14.04.2014

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Новожилова, Харківський національний університет будівництва і архітектури, Харків.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

А.Б. Васильев

Рассматривается построение математической модели и методики решения задачи оптимизации системы обеспечения пожарной безопасности промышленного предприятия с использованием имитационного моделирования.

Ключевые слова: система обеспечения пожарной безопасности, математическая модель, оптимизация, имитационное моделирование.

APPLICATION OF SIMULATION FOR OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF FIRE SAFETY SYSTEM OF FACILITIES

A.B. Vasilyev

The construction of a mathematical model and method of solving the problem of optimizing fire safety system of industrial enterprise using simulation.

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