

УДК 514.18

О.М. СОБОЛЬ, С.Я. КРАВЦІВ
Національний університет цивільного захисту України**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ІНТЕГРАЛЬНИМ ПОЖЕЖНИМ
РИЗИКОМ ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ**

В даній роботі наведено існуючий підхід до визначення основних інтегральних пожежних ризиків. Виявлено основні фактори, що впливають на рівень ризику для людини загинути від пожежі за одиницю часу, та побудовано математичну модель управління даним інтегральним пожежним ризиком. Досліджено особливості розробленої математичної моделі.

Ключові слова: математична модель, інтегральний пожежний ризик, управління ризиком.

А.Н. СОБОЛЬ, С.Я. КРАВЦИВ
Национальный университет гражданской защиты Украины**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫМ ПОЖАРНЫМ РИСКОМ И ЕЕ
ОСОБЕННОСТИ**

В данной работе приведен существующий подход к определению основных интегральных пожарных рисков. Выявлены факторы, влияющие на уровень риска для человека погибнуть от пожара за единицу времени, и построена математическая модель управления данным интегральным пожарным риском. Исследованы особенности разработанной математической модели.

Ключевые слова: математическая модель, интегральный пожарный риск, управление риском.

О.М. SOBOL, S. Ya. KRAVTSIV
National university of civil protection of Ukraine**MATHEMATICAL MODEL OF MANAGEMENT OF INTEGRAL FIRE RISK AND ITS FEATURES**

In this paper the existing approach to definition of main integral fire risks was given. The factors influenced on the level of risk for a person to die from a fire per unit of time were revealed. The mathematical model of management of this integral fire risk was built. The features of the mathematical model were researched.

Keywords: mathematical model, integral fire risk, risk management.

Постановка проблеми

Перш за все, розглянемо такі поняття, як "пожежний ризик" та "управління пожежним ризиком". Так, у монографії академіка М.М. Брушлинського [1] зазначено, що пожежний ризик – це кількісна характеристика можливості реалізації пожежної небезпеки (та її наслідків), що вимірюється, як правило, у відповідних одиницях. Управління пожежним ризиком являє собою розробку та реалізацію комплексу заходів (інженерно-технічного, економічного, соціального та іншого характеру), які дозволять зменшити значення даного пожежного ризику до припустимого (прийнятного) рівня. Що стосується інтегральних ризиків, то вони характеризують комплекс небезпек, які загрожують таким великим і складним об'єктам захисту, як міста, регіони, країни, тобто враховують всі локальні ризики, що притаманні даним системам.

Як правило, алгоритми управління ризиками мають такі складові:

- виявлення небезпек, що загрожують об'єкту захисту;
- обчислення ризиків, які характеризують виявлені небезпеки;
- управління ризиками;
- досягнення безпеки об'єкта захисту.

На теперішній час відбувається процес реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій [2], мета якого – забезпечення належного рівня безпеки життєдіяльності населення, його захисту від надзвичайних ситуацій, пожеж та інших небезпечних подій. Результатом проведення реформ має бути забезпечення належного рівня безпеки життєдіяльності населення, захисту суб'єктів господарювання і територій від загрози виникнення надзвичайних ситуацій, створення ефективної сучасної європейської системи запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та профілактики пожеж, удосконалення системи реагування на пожежі, надзвичайні ситуації та інші небезпечні події, зменшення збитків національної економіки та населення у разі виникнення пожеж, надзвичайних ситуацій, небезпечних гідрометеорологічних явищ, створення оптимальної системи управління єдиною державною системою цивільного захисту та підвищення ефективності її функціонування. При цьому важлива роль відводиться застосуванню саме ризик-орієнтованого підходу для обґрунтування заходів у сфері цивільного захисту.

Разом з тим, існує актуальна науково-практична проблема, яка полягає у розробці теоретичних основ управління техногенними, зокрема пожежними, ризиками, оскільки у сучасній літературі практично відсутні наукові дослідження, в яких чітко визначалися б важелі, які впливають на рівень того чи іншого ризику, та були побудовані моделі управління відповідними ризиками.

Однією із задач, розв'язання якої сприятиме вирішенню зазначеної проблеми, є побудова математичної моделі та методів управління інтегральним пожежним ризиком, що дозволить здійснити обґрунтування заходів стосовно нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [1] наведено існуючі підходи до визначення основних інтегральних пожежних ризиків, а саме: ризику для людини зіткнутися з пожежею (його небезпечними факторами) за одиницю часу; ризику для людини загинути при пожежі (виявитися його жертвою); ризику для людини загинути від пожежі за одиницю часу. Аналіз інтегральних пожежних ризиків, що характерні для різних регіонів України, проведено у роботі [3], а роботу [4] присвячено закордонному досвіду регулювання рівня прийняттного ризику. Дослідження існуючих підходів до удосконалення функціонування підсистеми реагування на пожежі наведено у [5].

Формулювання мети дослідження

В даній роботі необхідно розробити математичну модель управління інтегральним пожежним ризиком та дослідити її особливості з метою подальшого нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідно до [1] основними інтегральними пожежними ризиками є:

– ризик для людини зіткнутися з пожежею (його небезпечними факторами) за одиницю часу, R_1 :

$$R_1 = \frac{N_{пож}}{Q_{насел} \cdot T}; \quad (1)$$

де $N_{пож}$ – кількість пожеж, що зафіксовані у відповідному регіоні протягом періоду T ;

$Q_{насел}$ – кількість населення, що мешкає у відповідному регіоні;

– ризик R_2 для людини загинути при пожежі (виявитися його жертвою):

$$R_2 = \frac{M_{заг}}{N_{пож}}; \quad (2)$$

де $M_{заг}$ – кількість загиблих внаслідок пожеж у відповідному регіоні протягом періоду T ;

– ризик R_3 для людини загинути від пожежі за одиницю часу:

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 = \frac{M_{заг}}{Q_{насел} \cdot T}. \quad (3)$$

З точки зору нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні викликає інтерес саме ризик R_3 , оскільки він пов'язаний із наслідками пожеж, тобто у певній мірі є індикатором якості реагування пожежно-рятувальних підрозділів.

Було зроблено припущення, що ризик R_3 залежить від таких факторів, як $N_{пож}$ – кількість пожеж, що зафіксовані у відповідному регіоні; $M_{заг}$ – кількість загиблих внаслідок пожеж у відповідному регіоні; $\tau_{сл}$ – час слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виникнення надзвичайної ситуації (пожежі); $\tau_{лок}$ – час локалізації пожежі; $\tau_{лікв}$ – час ліквідації пожежі.

Для визначення причинно-наслідкових зв'язків між досліджуваними факторами було побудовано кореляційну матрицю (табл. 1), яка надає можливість визначити зв'язок між інтегральним пожежним ризиком та виявленими факторами. Очевидно, що коефіцієнти 0,551 та 0,517 показують достатньо тісний зв'язок між рівнем інтегрального пожежного ризику та факторами $\tau_{сл}$, $\tau_{лок}$. Таким чином, одними із важелів впливу на інтегральний пожежний ризик R_3 є час слідування пожежно-рятувальних підрозділів до

місяця виникнення надзвичайної ситуації (пожежі) та час локалізації пожежі, які залежать від місць розташування та ресурсного забезпечення пожежно-рятувальних підрозділів.

Таблиця 1

Кореляційна матриця основних факторів

	R_3	$N_{пож}$	$M_{заг}$	$\tau_{сл}$	$\tau_{лок}$	$\tau_{лікв}$
R_3	1,000	-0,396	1,000	0,551	0,517	-0,403
$N_{пож}$	-0,396	1,000	-0,396	-0,673	-0,591	0,641
$M_{заг}$	1,000	-0,396	1,000	0,551	0,517	-0,403
$\tau_{сл}$	0,551	-0,673	0,551	1,000	0,789	-0,197
$\tau_{лок}$	0,517	-0,591	0,517	0,789	1,000	-0,603
$\tau_{лікв}$	-0,403	0,641	-0,403	-0,197	-0,603	1,000

Таким чином, виникає наступна задача. Нехай задано область S_0 у вигляді багатокутника у глобальній системі координат. Область S_0 має об'єкти заборони L_ξ , $\xi = 1, \dots, L$, в яких неприпустимо розміщувати пожежно-рятувальні підрозділи. Необхідно мінімізувати ризик для людини загинути від пожежі за одиницю часу в області S_0 за рахунок визначення додаткової кількості пожежно-рятувальних підрозділів P_i , $i = 1, \dots, N$ (дані райони являють собою багатокутники зі змінними метричними характеристиками), при цьому мають виконуватись такі обмеження:

- мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів;
- належність районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів області S_0 ;
- мінімум площі перетину районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів з областями заборони L_ξ , $\xi = 1, \dots, L$;
- належність об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) та потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) S_d , $d = 1, \dots, D$, області перетину M_d районів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів, що забезпечують реагування на надзвичайну ситуацію (пожежу) на ОПН або ПНО відповідно до номеру виклику;
- час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до найвіддаленішої точки району виїзду P_i , $i = 1, \dots, N$, має не перевищувати заданого T^* ;
- розміщення пожежно-рятувальних підрозділів здійснюється з урахуванням існуючих P_q , $q = 1, \dots, N_q$;
- розміщення пожежно-рятувальних підрозділів здійснюється з урахуванням обмежених ресурсів.

Слід зазначити, що дана задача є актуальною і відповідає Стратегії реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій [2].

Математична модель управління ризиком для людини загинути від пожежі за одиницю часу має такий вигляд:

$$\min_{u \in W} R_3(N_{пож}, M_{заг}, \tau_{сл}, \tau_{лок}, \tau_{лікв}, u); u = \{m_i; v_i\}; i = 1, \dots, N; \tag{4}$$

де W :

$$\omega(m_i, m_j, v_i, v_j) \rightarrow \min; \tag{5}$$

$$i = 1, \dots, N; j = i + 1, \dots, N;$$

$$\omega(m_i, m_{cS_0}, v_i, v_{cS_0}) \rightarrow \min; \tag{6}$$

$$i = 1, \dots, N; S_0 \cup cS_0 = R^2;$$

$$\omega(m_i, m_\xi, v_i, v_\xi) \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$i = 1, \dots, N; \xi = 1, \dots, L;$$

$$S_d \in \bigcap_{k=1}^{M_d} P_k'; d = 1, \dots, D; P_k' \in \{P_i'\}, i = 1, \dots, N; \quad (8)$$

$$\tau_{cl}(P_i) \leq T^*; i = 1, \dots, N; \quad (9)$$

$$\omega(m_i, m_q, v_i, v_q) \rightarrow \min; \quad (10)$$

$$i = 1, \dots, N; q = 1, \dots, N_q;$$

$$Q_{pec}(N) \leq Q_{pec}^*. \quad (11)$$

В моделі (4)÷(11) вираз (4) являє собою цільову функцію задачі, при цьому m_i – метричні характеристики об'єктів P_i , $i = 1, \dots, N$ (наприклад, координати вершин багатокутників в локальній системі координат), v_i - параметри розміщення об'єктів P_i (положення локальної системи координат i -ого об'єкта в глобальній системі координат); вираз (5) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів P_i та P_j ; вираз (6) – умова мінімуму перетину об'єктів P_i з доповненням області S_0 до евклідового простору R^2 ; вираз (7) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів P_i з областями заборони L_ξ , $\xi = 1, \dots, L$; вираз (8) – умова належності об'єктів S_d , $d = 1, \dots, D$, які являють собою точки в S_0 , області перетину об'єктів P_k' , що належать множині об'єктів P_i ; вираз (9) – умова щодо припустимого часу прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику; вираз (10) – умова мінімуму взаємного перетину об'єктів P_i та P_q ; вираз (11) – умова, що ресурси на додаткове введення пожежно-рятувальних підрозділів не перевищують виділених Q_{pec}^* .

Треба відзначити, що обмеження моделі (5)÷(7), (10) представлені за допомогою ω -функції покриття, яка введена у роботах Ю.Г. Стояна та С.В. Яковлева [6].

Під пожежно-рятувальними підрозділами будемо розуміти підрозділи не тільки державної пожежної охорони, але й місцевої та добровільної. Таким чином, використовується ризик-орієнтований підхід до визначення параметрів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні.

Розглянемо особливості моделі (4)÷(11):

- задача управління ризиком для людини загинути від пожежі за одиницю часу відноситься до задач нелінійного програмування;
- область припустимих розв'язків визначається, у загальному випадку, системою нелінійних рівностей та нерівностей і є обмеженою та незв'язною;
- загальна кількість наборів рівностей та нерівностей, за допомогою яких здійснюється формалізація обмежень задачі, дорівнює $C_N^2 + N(L + N_q + 2) + D + 1$;
- дана задача може бути розв'язаною без урахування обмеження (11);
- якщо не враховувати наявні пожежно-рятувальні підрозділи, то в моделі не враховується обмеження (10).

Таким чином, розроблена математична модель управління ризиком для людини загинути від пожежі за одиницю часу дозволить у подальшому розробити обґрунтований метод розв'язання задачі (4)÷(11).

Висновки

В даній роботі розглянуто існуючі підходи до обчислення основних інтегральних пожежних ризиків, а саме: ризику для людини зіткнутися з пожежею (його небезпечними факторами) за одиницю часу; ризику для людини загинути при пожежі (виявитися його жертвою); ризику для людини загинути від пожежі за одиницю часу. З точки зору нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні викликає інтерес ризик для людини загинути від пожежі за одиницю часу, оскільки він пов'язаний із наслідками пожеж. Виявлено фактори, що впливають на зазначений інтегральний

пожежний ризик, та сформульовано постановку задачі нормування ресурсів підсистеми реагування на надзвичайні ситуації (пожежі) на регіональному рівні з використанням ризик-орієнтованого підходу. Розроблено математичну модель управління ризиком для людини загинути від пожежі за одиницю часу та досліджено її особливості. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методу, алгоритмічного та програмного забезпечення розв'язання поставленої задачі.

Список використаної літератури

1. Основы теории пожарных рисков и ее приложения [Текст]: монографія / [Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.А. Клепко и др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.01.2017 р. №61-р «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-p>.
3. Kravtsiv S.Ya. The analysis of integral risks of the territory of Ukraine / S.Ya. Kravtsiv, O.M. Sobol, A.V. Maksimov // Проблеми надзвичайних ситуацій: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 53-60. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol23/Kravtsiv.pdf>.
4. Кравців С.Я. Аналіз закордонного досвіду державного регулювання рівня прийнятного ризику / С.Я. Кравців, О.М. Соболев // Вісник НУЦЗ України. – Харків: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 2 (5) – С. 297-302. – Режим доступу: [http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/PublicAdministration/vol5/Visnyk_NUCZU_41_2016_2\(5\).pdf](http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/PublicAdministration/vol5/Visnyk_NUCZU_41_2016_2(5).pdf).
5. Соболев О.М. Аналіз існуючих підходів до удосконалення функціонування підсистеми реагування на пожежі / О.М. Соболев, С.Я. Кравців // Організаційно-управлінські, економічні, психолого-педагогічні аспекти забезпечення діяльності Єдиної державної системи цивільного захисту: Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад'юнктів та здобувачів (11 березня 2016 р.). – Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. – С. 31-32.
6. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – К.: Наукова думка, 1986. – 268 с.