

*О.М. Коваль, канд. техн. наук  
(Національний університет цивільного захисту України)*

### **ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКОСТІ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ЗАСОБІВ В ПРИМІЩЕННЯХ ЦЕХІВ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Розроблена оптимізаційна математична модель і методологія для визначення необхідної кількості протипожежних засобів для приміщень цехів деревообробних підприємств з урахуванням допустимого для цеху значення пожежного ризику. Для підтримки математичної моделі пожежного ризику, яка отримана з використанням основних положень теорії надійності, розроблені математичні моделі пожежних ризиків основних протипожежних засобів, якими можуть споряджуватися приміщення цехів. Розроблена методологія дає змогу прогнозувати значення пожежних ризиків для реалізації пожежної безпеки об'єктів захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей, що є дуже важливим для забезпечення можливості швидкого реагування у випадку виникнення пожежі.

**Ключові слова:** пожежа, пожежний ризик, збитки від пожежі, витрати на протипожежний захист, математична модель.

*А.М. Коваль*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА ПРОТИВОПОЖАРНЫХ СРЕДСТВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЦЕХОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Разработана оптимизационная математическая модель и методология для определения необходимого количества противопожарных средств для помещений цехов деревообрабатывающих предприятий с учетом допустимого для цеха значения пожарного риска. Для поддержки математической модели пожарного риска, полученной с использованием основных положений теории надежности, разработаны математические модели пожарных рисков основных противопожарных средств, которыми могут оснащаться помещения цехов. Разработанная методология позволяет прогнозировать значение пожарных рисков для реализации пожарной безопасности объектов защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей, что является очень важным для обеспечения возможности быстрого реагирования в случае возникновения пожара.

**Ключевые слова:** пожар, пожарный риск, ущерб от пожара, расходы на противопожарную защиту, математическая модель.

*О.М. Koval*

### **OPTIMIZING THE NUMBER OF FIRE-FIGHTING EQUIPMENT INDOOR PLANTS WOODWORKING ENTERPRISE**

Developed a mathematical model and optimization methodology for determining the required number of fire-fighting equipment for the workshop premises woodworking enterprises, taking into account the allowable values for the plant fire risk. To support the mathematical model of fire risk obtained using the main provisions of the reliability theory, mathematical models of fire risks basic fire-fighting equipment, which can be equipped with facilities departments. The developed methodology allows predicting the value of fire risk for the implementation of fire safety facilities of protection and its effects on people and property, which is very important to allow for quick response in case of fire.

**Keywords:** fire, fire risk, fire damage, the cost of fire protection, the mathematical model.

**Постановка проблеми.** Гарантування пожежної безпеки об'єктів захисту складається з визначення, аналізу та оцінювання пожежного ризику, що дає змогу розробляти і впроваджувати відповідні заходи для зменшення його значення до допустимого. Згідно із рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я [1] і Постанови Кабінету міністрів України від 29 лютого 2012 р. № 306 пожежні ризики класифікують так: 1) незначний пожежний ризик  $\varepsilon \leq 10^{-6}$ ; 2) середній  $\varepsilon = 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-5}$ ; 3) високий (терпимий) пожежний ризик  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^{-4}$ ; 4) неприйнятний пожежний ризик  $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$ . В свою чергу пожежний ризик вказує на відповідну імовірність оперативної реалізації системи протипожежного захисту у випадку виникнення пожежі на об'єкті. Тому, враховуючи дійсне значення пожежного ризику, можна у випадку виникнення пожежі на об'єкті визначити очікувану величину втрат та здійснюючи управлінські заходи мінімізувати наслідки від неї, а також передбачити ефективні компенсаційні заходи.

В той же час зовсім не розглядалися питання застосування пожежних ризиків для визначення необхідної кількості протипожежних засобів в цехах деревообробних підприємств з метою мінімізації наслідків у випадку виникнення пожежі. Тому виникає проблема у більш точному прогнозуванні для цехів деревообробних підприємств з урахуванням пожежних ризиків необхідних протипожежних заходів з метою мінімізації збитків у випадку виникнення пожежі. Розв'язування такої проблеми можливе в першу чергу завдяки розробленню і можливому використанню математичної моделі для обґрунтованого забезпечення системою протипожежного захисту об'єкта з урахуванням пожежних ризиків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізом та управлінням пожежними ризиками останнім часом займаються в багатьох країнах світу. Значний вклад в розвиток цього напрямку науки внесло багато вчених, у числі яких М.М. Брушлінський, В.В. Холщевніков, Д.О. Самошин, В.В. Бегун та інші [1-5]. Результати аналізу цих робіт показали, що в них відсутні дані для визначення пожежного ризику промислових об'єктів з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки.

Заслужують на увагу результати роботи [6], в якій розглядають вплив на пожежний ризик елементів сповіщення про виникнення пожежі; системи, які працюють на природному газі; електричні мережі; вентиляційні системи; електронна апаратура, яка експлуатується в житловому будинку; устаткування житлового фонду, на роботу якого впливає людський фактор. Розроблений метод прогнозування пожежного ризику дає змогу на підставі його аналізу робити висновок про можливість або неможливість виникнення пожежі на об'єкті. Але в цій роботі не розглядалося питання стосовно визначення необхідної кількості протипожежних засобів для об'єкта з метою оперативного реагування у випадку можливого виникнення пожежі.

Узагальнюючи наведене можна констатувати, що на сьогодні відсутня модель для визначення методів і засобів протипожежного захисту на основі допустимого значення пожежного ризику. Тому ставиться задача розробити метод оптимізації пожежного ризику до прийнятної значення з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки об'єкта.

**Мета роботи.** Розробити оптимізаційну математичну модель визначення методів і засобів протипожежного захисту для об'єкта з урахуванням допустимого значення пожежного ризику.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Для математичної постановки оптимізаційної задачі необхідно в першу чергу визначити функцію мети. За функцію мети приймаємо чинник, значення якого необхідно мінімізувати, а саме

$$\varepsilon_o \Rightarrow \min \leq [\varepsilon_o], \quad (1)$$

де  $\varepsilon_o$  – значення пожежного ризику об'єкта;  $[\varepsilon_o]$  – допустиме нормативне значення пожежного ризику об'єкта.

**Математичне забезпечення функції мети.** Згідно з існуючими положеннями та рекомендаціями про пожежний ризик [7], його значення можна визначити за залежністю

$$\varepsilon_o = \varepsilon_n P_{л} \varepsilon_{n.k.n} \varepsilon_{n.c} \varepsilon_{n.o} \varepsilon_{n.z} \varepsilon_{c.z} \varepsilon_{e.o} (1 - P_e), \quad (2)$$

де  $\varepsilon_n$  – ризик виникнення пожежі в приміщенні цеху (розраховується на підставі статистичних даних для розглядуваного приміщення; у випадку відсутності статистичних даних допускається приймати  $\varepsilon_n = 4 \cdot 10^{-2}$  [15]);  $P_l$  – імовірність присутності людей в приміщенні

$$P_l = \frac{\tau_l}{24}; \quad (3)$$

$\tau_l$  – час присутності людей в цеху, год (в більшості випадків на деревообробних об'єктах робота виконуються в дві зміни, тобто  $\tau_l = 16$  год);  $\varepsilon_{n.k.n}$  – ризик відмови приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації;  $\varepsilon_{n.c}$  – ризик відмови пожежного сповіщувача;  $\varepsilon_{n.o}$  – ризик відмови звукового пожежного оповіщувача;  $\varepsilon_{n.z}$  – ризик відмови системи протидимного захисту;  $\varepsilon_{c.z}$  – ризик відмови системи завіси;  $\varepsilon_{e.d}$  – ризик відмови евакуйовальних дверей з системою їх автоматичного відкриття;  $P_e$  – імовірність евакуювання людей із приміщення цеху у випадку виникнення пожежі.

**Розглянемо значення не визначених складових залежності (2).**

*Ризик відмови приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації  $\varepsilon_{n.k.n}$ .* Виходячи з основних положень теорії надійності, імовірність відмови електронної апаратури підпорядковується експоненціальному закону розподілу з густиною розподілу  $f(\tau) = \lambda \exp(-\lambda\tau)$  [8]. В цьому випадку отримуємо

$$\varepsilon_{n.k.n} = \int_0^{\tau} \lambda_{n.k.n} e^{-\lambda\tau} d\tau = 1 - e^{-\lambda\tau} = 1 - \exp(-\lambda_{n.k.n} \tau), \quad (4)$$

де  $\tau$  – час роботи приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації з початку експлуатації, год;  $\lambda_{n.k.n}$  – інтенсивність його відмов, год<sup>-1</sup>;

$$\lambda_{n.k.n} = \frac{1}{T_B}; \quad (5)$$

$T_B$  – час напрацювання приймально-контрольного пристрою на відмову (згідно з ДСТУ EN 54-2:2003 час безперервної роботи до відмови становить 10 років), год, тобто

$$T_B = 10 \cdot 365 \cdot 24 = 87600 \text{ год};$$

$$\lambda_{n.k.n} = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \quad (6)$$

*Ризик відмови пожежного сповіщувача  $\varepsilon_{n.c}$ .* Згідно із ДСТУ EN 54-5:2003 час  $T_B$  напрацювання сповіщувача на відмову (час безперервної роботи) дорівнює 10 рокам. Тоді інтенсивність відмови сповіщувача буде дорівнювати

$$\lambda_{n.c} = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \quad (7)$$

В цьому випадку ризик відмови пожежного сповіщувача буде

$$\varepsilon_{n.c} = 1 - \exp(-\lambda_{n.c} \tau), \quad (8)$$

де  $\tau$  – сумарний час очікування пожежного сповіщувача до початку подачі сигналу про пожежу, год.

В той же час значення цього ризику необхідно уточнити введенням поправкового коефіцієнта  $\delta_{n.c}$ , який залежить від встановлення в цеху потрібної кількості пожежних сповіщувачів, згідно із рекомендаціями [13]. В кінцевому результаті отримаємо

$$\varepsilon_{n.c} = [1 - \exp(-\lambda_{n.c} \tau)] \delta_{n.c}; \quad (9)$$

$$\delta_{n.c} = \frac{N_{n.c}}{N_{n.c.d}}, \quad (10)$$

де  $N_{n.c}$  – потрібна кількість пожежних сповіщувачів для приміщення цеху, шт.;  $N_{n.c.d}$  – дійсна кількість пожежних сповіщувачів в цеху, шт.

В свою чергу потрібну кількість пожежних сповіщувачів для приміщення цеху можна визначити з урахуванням рекомендацій [13].

$$N_{n.c} = \frac{L_y B_y}{S_{n.c}}, \text{ (заокругл. до ціл. числа в більшу сторону)} \quad (11)$$

де  $L_y$  – довжина приміщення цеху, м;  $B_y$  – ширина приміщення цеху, м;  $S_{n.c}$  – площа, яку контролює один сповіщувач, м<sup>2</sup> (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 7.2.11  $S_{n.c} = 49$  м<sup>2</sup>).

Ризик відмови звукового пожежного оповіщувача  $\varepsilon_{n.o}$ . Згідно із ДСТУ EN 54-3:2003 п. 4.4 час напрацювання оповіщувача на відмову  $T_B = 100$  год. Тоді інтенсивність відмови оповіщувача буде дорівнювати

$$\lambda_{n.o} = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{100} = 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \quad (12)$$

В цьому випадку ризик відмови звукового пожежного оповіщувача визначаємо з урахуванням наявності в цеху потрібної і дійсної кількості пожежних оповіщувачів та з урахуванням коефіцієнта  $\delta_{n.o}$

$$\varepsilon_{n.o} = [1 - \exp(-\lambda_{n.o} \tau)] \delta_{n.o}; \quad (13)$$

$$\delta_{n.o} = \frac{N_{n.o}}{N_{n.o.d}}, \quad (14)$$

де  $\tau$  – сумарний час роботи оповіщувача з початку експлуатації, год;  $N_{n.o}$  – потрібна кількість пожежних оповіщувачів для приміщення цеху, шт.;  $N_{n.o.d}$  – дійсна кількість пожежних оповіщувачів в цеху, шт.

Значення  $N_{n.o}$  можна визначити з урахуванням рекомендацій ДСТУ EN 54-3:2003 п. 4.6.2, де вказується, що площа, яку обслуговує один оповіщувач  $S_{n.o} = 72$  м<sup>2</sup>. Тоді

$$N_{n.o} = \frac{L_y B_y}{S_{n.o}} \text{ (заокругл. до ціл. числа в більшу сторону)}. \quad (15)$$

Ризик відмови системи протидимного захисту  $\varepsilon_{n.z}$ . Імовірність відмови системи протидимного захисту підпорядковується нормальному закону розподілу з густиною розподілу [8]

$$f(\tau) = \frac{1}{S_\tau \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau - m_\tau)^2}{2S_\tau^2}}, \quad (16)$$

де  $S_\tau$  – середнє квадратичне відхилення напрацювання  $\tau$ ;  $m_\tau$  – математичне сподівання напрацювання  $\tau$ .

З урахуванням існуючих даних по часу напрацювання протипожежних засобів до відмови приймаємо для системи протидимного захисту  $T_B = 100$  год. Виходячи з цього значення середнє квадратичного відхилення буде  $S_\tau = 16,7$  год, а математичне сподівання –  $m_\tau = 50$  год.

В цьому випадку ризик відмови протидимного пристрою визначаємо з урахуванням наявності в цеху потрібної і дійсної кількості протидимних пристроїв та з урахуванням коефіцієнта  $\delta_{n.z}$ . Тоді значення ризику можна виразити через функцію Лапласа

$$\varepsilon_{n.z} = [0,5 + \Phi(u)] \delta_{n.z}, \quad (17)$$

де  $\Phi(u)$  – функція Лапласа, яка є непарною;  $\Phi(-u) = -\Phi(u)$ ;  $u$  – квантиль нормального розподілу

$$u = \frac{\tau - m_\tau}{S_\tau}; \quad (18)$$

$$\delta_{n.z} = \frac{N_{n.z}}{N_{n.z.d}}; \quad (19)$$

$$N_{n.z} = \frac{L_y B_y}{S_{n.z}} \text{ (заокругл. до ціл. числа в більшу сторону)}. \quad (20)$$

де  $N_{n.z}$  – потрібна кількість протидимних пристроїв для приміщення цеху, шт.;  $N_{n.z.d}$  – дійсна кількість протидимних пристроїв в цеху, шт.  $S_{n.z}$  – площа цеху, яка обслуговується одним димоприймальним пристроєм (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 10.4.2,  $S_{n.z} = 900$  м<sup>2</sup>).

Для визначення функції Лапласа необхідно спочатку визначити квантиль нормального розподілу за залежністю (18) для відповідного часу  $\tau$ , а потім з використанням довідникової літератури, в якій розміщені таблиці функції Лапласа, вибрати значення  $\Phi(u)$ .

*Ризик відмови системи завіси  $\varepsilon_{c.3}$ .* Враховуючи, що щільні вертикальні завіси з негорючих матеріалів, які опускаються з перекриття на підлогу, відносять до механічних пристроїв, то імовірність їх відмови підпорядковується нормальному закону розподілу. В цьому випадку ризик відмови системи завіс визначаємо з урахуванням наявності в цеху потрібної і дійсної їх кількості та з урахуванням коефіцієнта  $\delta_{c.3}$ . Якщо в цеху встановлені пожежні відсіки, то систему завіс не влаштовують і  $\varepsilon_{c.3} = 1$ . Значення ризику визначаємо через функцію Лапласа

$$\varepsilon_{c.3} = [0,5 + \Phi(u)] \delta_{c.3}. \quad (21)$$

Значення квантиля нормального розподілу  $u$  визначаємо за залежністю (29) при  $S_\tau = 16,7$  год і  $m_\tau = 50$  год. Значення коефіцієнта  $\delta_{c.3}$  визначаємо за залежностями

$$\delta_{c.3} = \frac{N_{c.3}}{N_{c.3.d}}; \quad (22)$$

$$N_{c.3} = \frac{L_u B_u}{S_{c.3}} \text{ (заокругл. до ціл. числа в більшу сторону),} \quad (23)$$

де  $N_{c.3}$  – потрібна кількість систем завіс для приміщення цеху, шт.;  $N_{c.3.d}$  – дійсна кількість систем завіс в цеху, шт.  $S_{c.3}$  – площа цеху, яка обслуговується однією системою завіс (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 10.4.3,  $S_{c.3} = 1600 \text{ м}^2$ ).

*Ризик відмови евакуйовальних дверей з системою їх автоматичного відкриття  $\varepsilon_{e.d}$ .* Головною системою евакуйовальних дверей є пристрій для автоматичного їх відкривання, який спрацьовує від сигналу системи пожежних сповіщувачів. Згідно із паспортом на цей пристрій гарантійний термін безвідмовної роботи становить один рік, тобто  $T_B = 8760$  год = 525600 хв. Тоді  $\lambda_{e.d} = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ хв}^{-1}$ , що дає змогу визначити значення ризику

$$\varepsilon_{e.d} = 1 - \exp(-\lambda_{e.d} \tau). \quad (24)$$

*Імовірність евакуювання людей* із приміщення цеху у випадку виникнення пожежі  $P_e$ . Згідно із рекомендаціями [5] імовірність евакуювання людей із приміщення цеху можна визначити за залежністю

$$P_e = 1 - (1 - P_{e.n})(1 - P_{e.a}); \quad (25)$$

де  $P_{e.n}$  – імовірність евакуації людей, які знаходяться в приміщенні цеху, по евакуаційних шляхах при реалізації сценарію пожежі;  $P_{e.a}$  – імовірність евакуації людей через аварійні виходи або за допомогою інших засобів рятування (за відсутності даних  $P_{e.a}$  допускається приймати 0,03 за наявності аварійних виходів або засобів рятування та 0,001 – за їх відсутності).

Імовірність евакуації людей  $P_{e.n}$  по евакуаційних шляхах в зоні виникнення пожежі визначають за залежністю

$$P_{e.n} = \frac{0,8 \tau_\kappa - \tau_e}{\tau_{n.e}}, \quad (26)$$

де  $\tau_\kappa$  – критичний час пожежі, хв; (критичний час пожежі визначають з урахуванням небезпечних факторів пожежі, але, як показують результати аналізу даних статистики пожеж в цехах деревообробних підприємств, його значення коливається в межах 5...10 хв);  $\tau_e$  – час евакуації, хв;  $\tau_{n.e}$  – час від початку пожежі до початку евакуації, хв (за наявності в приміщенні цеху системи протипожежного захисту та оповіщення про пожежу  $\tau_{n.e} = 1...2$  хв для поверху пожежі та  $\tau_{n.e} = 6...9$  хв за відсутності в приміщенні цеху системи протипожежного захисту та оповіщення про пожежу [5]).

При визначенні імовірності евакуації людей  $P_{e.n}$  по евакуаційних шляхах в зоні виникнення пожежі за залежністю (26) необхідно враховувати такі положення [5, 7]:

- 1) у випадку, коли  $\tau_e < 0,8 \cdot \tau_\kappa < \tau_e + \tau_{n.e}$ , то  $P_{e.n}$  визначають за залежністю (26);
- 2) у випадку, коли  $\tau_e + \tau_{n.e} \leq 0,8 \cdot \tau_\kappa$ , то  $P_{e.n} = 0,999$ ;
- 3) у випадку, коли  $\tau_e \geq 0,8 \cdot \tau_\kappa$ , то  $P_{e.n} = 0$ .

Час евакуації  $\tau_e$  визначають за залежністю

$$\tau_e = \frac{l_e}{k_e V_{e.d}}, \quad (27)$$

де  $l_e$  – шлях евакуації, м;

$$l_e = k_{кр} \sqrt{L_{np}^2 + B_{np}^2}; \quad (28)$$

$k_{кр} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривину шляху евакуації в зоні виникнення пожежі;  $L_{np}$  – довжина проходу цеху в зоні виникнення пожежі, м;  $B_{np}$  – ширина проходу, м;  $V_{e.d}$  – дійсна середня швидкість евакуації, м/хв;

$$V_e = 49,5 - 9,27 \ln[-\lg(0,1 + 1,284 k_{em})]; \quad (29)$$

$k_{em}$  – коефіцієнт, який враховує емоційний стан людей, що евакуюються; значення цього коефіцієнту знаходиться в межах  $k_{em} = 0 \dots 0,7$  (за відсутності емоційного стану  $k_{em} = 0$ ) [9];  $k_e$  – кількість евакуаційних виходів.

Основною задачею в процесі використання теорії прийняття рішення є вибір оцінки для прийняття відповідного рішення, тобто **вибір певного критерію** для прийняття цього рішення [10]. Таким критерієм для оптимізаційної моделі визначення методів і засобів протипожежного захисту для об'єкта з урахуванням допустимого значення пожежного ризику можуть бути сумарні втрати від збитків внаслідок пожежі  $Z_o$  і витрат на протипожежний захист  $B_o$  об'єкта [11]

$$B = Z_o + B_o \Rightarrow \min. \quad (30)$$

Збитки об'єкта від пожежі будуть [11]

$$Z_o = C_o V_l^2 \alpha (\tau_{в.г}^2 - 20\tau_{в.г} + 0,25\tau_{лок}^2 + 125) + C_n \tau_{з.л} N_g, \quad (31)$$

де:  $C_o$  – середня вартість одного квадратного метра площі об'єкта, яка знищена пожежею, грн/м<sup>2</sup>;  $V_l$  – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/хв;  $\alpha$  – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова (360°)  $\alpha = 3,14$  рад; кутова (180°)  $\alpha = 1,57$  рад; кутова (90°)  $\alpha = 0,785$  рад;  $\tau_{в.г}$  – прогнозований час вільного горіння, хв

$$\tau_{в.г} = \tau_{в.в} + \tau_{сн} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз}; \quad (32)$$

$\tau_{в.в}$  – час з моменту виникнення до виявлення пожежі, хв (тривалість з моменту виникнення до виявлення пожежі без використання системи протипожежної сигналізації 6...9 хв; при наявності системи протипожежної сигналізації 1...2 хв [5]);  $\tau_{сн}$  – час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ, хв (за відсутності системи протипожежного захисту  $\tau_{сн} = 3 \dots 5$  хв; за наявності системи протипожежного захисту  $\tau_{сн} = 1 \dots 2$  хв [5]);  $\tau_{о.о}$  – час на опрацювання сповіщення про пожежу, хв ( $\tau_{о.о} = 1$  хв [12]);  $\tau_{з.с}$  – час на залучення сил та засобів гарнізону до гасіння пожежі, хв ( $\tau_{з.с} = 3$  хв, згідно з наказом МВС України №325 від 01.07. 1993);  $\tau_{зб}$  – час збору особового складу, хв ( $\tau_{зб} = 1$  хв [12]);  $\tau_{сл}$  – час слідування на пожежу, хв

$$\tau_{сл} = \frac{60Lk_n}{V_{сл}}; \quad (33)$$

$L$  – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км;  $k_n$  – коефіцієнт, який враховує не прямолінійність вуличної мережі (в містобудівній практиці його максимальне значення приймають  $k_n = 1,4$ );  $V_{сл}$  – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год (в денний час  $V_{сл} = 32$  км/год; вночі – до 60 км/год [13]);  $\tau_{роз}$  – час оперативного розгортання, хв; ( $\tau_{роз} = 7$  хв [14]);  $\tau_{лок}$  – прогнозований час локалізації пожежі, хв [13]

$$\tau_{лок} = \frac{6,39 S_{лок}^{0,893}}{2N_A + N_B^I} K_I K_d, \quad (34)$$

де  $S_{лок}$  – площа локалізації, м<sup>2</sup> (для кругової і кутової пожежі  $S_{лок} = \alpha h [10V_l + 2V_l (\tau_{в.г} - 10) - h]$ ; для ручних стволів [15]  $h = 5$  м – глибина подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі);  $K_I = 1,62 - 3,04 I_n^I$  – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання  $I_n^I$  (л/м<sup>2</sup>с) в осередок пожежі вогнегасної речовини (рекомендоване значення для ручних стволів  $I_n^I = 0,2$  л/м<sup>2</sup>с);

$K_d = 1,4983 - 0,0262d$  – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра насадки  $d$  (мм) ствола (рекомендоване значення діаметра насадки для ручних стволів  $N_B d = 13$  мм; для стволів  $N_A d = 19$  мм; у випадку використання стволів  $A$  і  $B$  приймають середнє значення  $d = 16$  мм);  $C_n$  – середня вартість однієї хвилини роботи пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) в процесі ліквідації пожежі, грн/хв;  $\tau_{3,n}$  – прогнозований час зайнятості ПРП для ліквідації пожежі, хв

$$\tau_{3,n} = \tau_{o.o} + \tau_{3.c} + \tau_{3\delta} + \tau_{cl} + \tau_{роз} + \tau_{лок} + \tau_2 + \tau_{лік}, \quad (35)$$

$\tau_2$  – час гасіння пожежі, хв;  $\tau_{лік}$  – час на закінчення ліквідації пожежі (остаточне гасіння), хв

$$\tau_2 = \tau_{лок} \left( \frac{S_{II}}{S_{лок}} - 1 \right); \tau_{лік} = 0,25(\tau_{лок} + \tau_2); \quad (36)$$

$S_{II}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>

$$S_{II} = V_{л}^2 \alpha (\tau_{\delta,z}^2 - 20\tau_{\delta,z} + 0,25\tau_{лок}^2 + 125); \quad (37)$$

$N_g$  – загальна кількість відділень, яка брала участь в ліквідації пожежі.

Витрати на протипожежний захист  $B_o$ , які залежать від кількості та вартості засобів на протипожежний захист, що впливають на значення пожежного ризику для об'єкта, можна визначити за залежністю

$$B_o = \left( \sum_{i=1}^n C_i N_i \right) K_{ki}, \quad (38)$$

де  $C_i$  – вартість  $i$ -го засобу протипожежного захисту, грн;  $N_i$  – загальна кількість  $i$ -го засобу протипожежного захисту, шт.;  $K_{ki}$  – коефіцієнт, який враховує капітальні витрати на монтаж засобів протипожежного захисту;  $n$  – загальна кількість засобів протипожежного захисту.

**Розроблення оптимізаційної математичної моделі** визначення методів і засобів протипожежного захисту для об'єкта з урахуванням допустимого значення пожежного ризику.

#### Функція мети

$$\varepsilon_o \Rightarrow \min \leq [\varepsilon_o] \quad (39)$$

#### за критерієм

$$B = Z_o + B_o \Rightarrow \min \quad (40)$$

#### за обмеженнями

$$a_1 \leq \delta_{n.c} \leq b_1; \quad (41)$$

$$a_2 \leq \delta_{n.o} \leq b_2; \quad (42)$$

$$a_3 \leq \delta_{n.z} \leq b_3; \quad (43)$$

$$a_4 \leq \delta_{c.z} \leq b_4; \quad (44)$$

$$p \geq [p], \quad (45)$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – мінімальні значення обмежень;  $b_1, b_2, \dots, b_4$  – максимальні значення обмежень;  $p$  – імовірність потрапляння досліджуваної  $i$ -ої точки в область допустимих розв'язків ( $p = k / N$ , де  $k$  – кількість циклів роботи програми, при яких досліджувальні точки потрапили в область допустимих розв'язків;  $N$  – загальна кількість циклів роботи програми);  $[p]$  – допустиме значення імовірності, від значення якого залежить кількість досліджень для прийняття оптимального значення.

Значення обмежень  $a_1, a_2, a_3, a_4$  можна приймати однаковими і такими, що дорівнюють одиниці. Такий підхід до прийняття такого значення можна обґрунтувати тим, що мінімальне значення цих коефіцієнтів в обмеженнях (41)...(44) буде в тому випадку, коли встановлена в цеху кількість протипожежних засобів відповідає нормативним вимогам. За аналогією приймаємо максимальне значення обмежень  $b_1, b_2, b_3, b_4$  такими, що дорівнюють 15.

Для розв'язування оптимізаційної моделі скористаємося методом Монте-Карло. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями (41)...(44), оточують  $m$ -мірним паралелепіпедом, в якому проводимо дослідження. Поставлену задачу найкраще розв'язувати з використанням комп'ютера. За допомогою давача комп'ютера утворюють послідовність псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$  в інтервалі 0...1. Для перетворення псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$ , які рівномірно розподілені в інтервалі 0...1, до значень  $\delta_i$  використовуємо залежності виду, наприклад, для  $\delta_{n.c.i}$

$$\delta_{n.c.i} = a_1 + \mu_{1i}(b_1 - a_1),$$

де:  $\mu_{1i}$  – псевдовипадкове число для визначення чинника  $\delta_{n.c.i}$  на певному  $i$ -тому циклі розрахунку.

В процесі розрахунку на кожному циклі роботи програми визначаються значення  $\varepsilon_o$  за залежністю (2) та критеріїв  $Z_o$  і  $B_o$ , які перевіряються зі значеннями попереднього циклу. Ці процедури виконуються до тих пір, поки буде виконана умова (45). Після завершення роботи програми на друк видаються такі дані:  $\varepsilon_o$ ,  $\tau_{в.з}$ ,  $S_{II}$  до і після впровадження протипожежних засобів;  $V_{сл}$ ,  $\tau_{сл}$ ,  $\tau_{лок}$ ,  $\tau_{з}$ ,  $\tau_{лік}$ ,  $p$ ; типи протипожежних засобів їх вартість і кількість та загальні додаткові витрати на їх придбання.

Для реалізації оптимізаційної моделі був розроблений для комп'ютера пакет прикладних програм мовою C++ для роботи в середовищі Windows XP. Час роботи комп'ютера становив 6-8 с для 5 тисяч випробувань ( $N_i$  – циклів) при імовірності потрапляння досліджуваної  $i$ -ої точки в область допустимих розв'язків  $p = 0,94 \dots 0,96$ .

### Висновки

1. Розроблена математична модель оптимізації вибору кількості протипожежних засобів для приміщень цехів деревообробних підприємств з урахуванням допустимого значення пожежного ризику, яка дає змогу в процесі проведення аудиту об'єкта оперативно визначати недоліки у влаштуванні приміщень цехів протипожежними засобами.

2. При визначенні оптимальної кількості протипожежних засобів для приміщень цехів деревообробних підприємств були прийняті часткові критерії, які мають однакову природу й однакову розмірність, а саме прями збитки від пожежі  $Z_o$  і витрати на протипожежний захист  $B_o$ , що дають змогу достатньо точно обґрунтовувати вибір протипожежних засобів.

3. На тривалість вільного розвитку пожежі в першу чергу впливають пожежні сповіщувачі, які працюють разом з прийнятно-контрольним пристроєм пожежної сигналізації. Впровадження пожежних сповіщувачів дає змогу зменшити тривалість вільного розвитку пожежі на 26...30% і площу пожежі в 1,8...2,1 раза.

4. Розроблена методологія може удосконалюватися при її впровадженні і використанні в Державній службі надзвичайних ситуацій на основі розроблених інформаційних технологій.

### Список літератури

1. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності: / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К., 2004. – 328 с.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – 482с.
3. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский. – М.: Стройиздат, 1981. – 96 с.
4. Холщевников В.В. Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 4. – С. 21-27.
5. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин – 46 с – Режим доступа: [http // www.akademygps.ru](http://www.akademygps.ru).
6. Гуліда Е.М. Прогнозування виникнення пожеж в житловому секторі на підставі аналізу техногенного ризику / Е.М. Гуліда, О.І. Башинський, І.О. Мовчан // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012. - №20. – С. 150-154.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 г. № 382). – М.: МЧС России, 2009. – 9 с.
8. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем (перевод с английского) / Диллон Б., Сингх Ч. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
9. Холщевников В.В. Моделирование людских потоков / В.В. Холщевников // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. – С. 139-169.
10. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер // Перевод с нем. – М.: Мир, 1990. – 208 с.



11. Коваль О.М. Визначення критерія прийняття рішення для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж на деревообробних підприємствах / О.М. Коваль // Вісник НЛТУ України. – Львів: НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.4. – С. 345-352.
12. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.:УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
13. Мовчан І.О. Вибір критеріїв для прийняття рішень в системі пожежогасіння / І.О. Мовчан, М.І. Васильєв // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності № 8. – Львів: ЛДУ БЖД, 2013. – С. 146-154.
14. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики. / В.П. Бут, Б.В. Куціщій, Б.В. Болібрух – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.
15. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

#### References:

1. Byehun V.V. Bezpeka zhyttyediyal'nosti / V.V. Byehun, I.M. Naumenko. – К., 2004. – 328 s.
2. Modelyrovanye pozharov y vztygov / Pod obshch. red. N.N. Brushlyns'koho y A.Ya. Korol'chenko. – М.: Pozhnauka, 2000. – 482s.
3. Brushlyns'kiy N.N. Modelyrovanye operativnoy deyatelnosti pozharoy sluzhby / N.N. Brushlyns'kiy. – М.: Stroyizdat, 1981. – 96 s.
4. Kholshchevnykov V.V. Problemy otsenki bezopasnosti lyudey pry pozhare v unikal'nykh zdaniyakh y sooruzheniyakh / V.V. Kholshchevnykov // Pozharovztyvobezopasnost'. – 2003. – # 4. – S. 21-27.
5. Samoshyn D.A. Raschet pozharnykh ryskov dlya obshchestvennykh, zhylykh y admynystrativnykh zdaniy / D.A. Samoshyn – 46 s – Rezhym dostupu: [http // www.akademygps.ru](http://www.akademygps.ru).
6. Hulida E.M. Prohnozuvannya vynyknennya pozhezh v zhytlovomu sektori na pidstavi analizu tekhnogennoho ryzyku / E.M. Hulida, O.I. Bashyns'kiy, I.O. Movchan // Pozhezhna bezpeka: Zbirnyk naukovykh prats'. – L'viv: LDU BZhD, 2012. - #20. – S. 150-154.
7. Metodyka opredeleniya raschetnykh velychyn pozharoho ryska v zdaniyakh, sooruzheniyakh y stroeniyakh razlychnykh klassov funktsional'noy pozharoy opasnosti (Prylozhenye k prykazu MChS Rossyy ot 30.06.2009 h. # 382). – М.: MChS Rossyy, 2009. – 9 s.
8. Dyllon B. Ynzhenernyye metody obespecheniya nadezhnosti sistem (perevod s anghlyyskoho) / Dyllon B., Synkh Ch. – М.: Myr, 1984. – 318 s.
9. Kholshchevnykov V.V. Modelyrovanye lyudskykh potokov / V.V. Kholshchevnykov // Modelyrovanye pozharov y vztygov. – М.: Assotsyatsiya «Pozhnauka», 2000. – S. 139-169.
10. Mushyk Э. Metody prynyatiya tekhnicheskyykh resheniy / Э. Mushyk, P. Myuller // Pe-revod s nem. – М.: Myr, 1990. – 208 s.
11. Koval' O.M. Vyznachennya kryteriya pryynyattya rishennya dlya optymizatsiyi protsesiv lokalizatsiyi ta hasinnya pozhezh na derevoobrobnykh pidpryyemstvakh / O.M. Koval' // Visnyk NLTU Ukrayiny. – L'viv: NLTU Ukrayiny, 2015. – Vyp. 25.4. – S. 345-352.
12. Normatyvy po pozhezhno-stroyoviy pidhotovtsi. – К.:UDPO MVS Ukrayiny, 1995. – 14s.
13. Movchan I.O. Vybir kryteriyiv dlya pryynyattya rishen' v systemi pozhezhohasinnya / I.O. Movchan, M.I. Vasylyev // Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti # 8. – L'viv: LDU BZhD, 2013. – S. 146-154.
14. But V.P. Praktychnyy posibnyk z pozhezhnoyi taktyky. / V.P. But, B.V. Kutsishchyy, B.V. Bolibruxh – L'viv: SPOLOM, 2003. – 133 s.
15. Yvannykov V.P. Spravochnyk rukovodytelya tushenyaya pozhara / V.P. Yvannykov, P.P. Klyus. – М.: Stroyizdat, 1987. – 288 s.

