

де:  $C_o$  – вартість одного м<sup>2</sup> площі об'єкта, яка знищена пожежею, грн/м<sup>2</sup>;  $S_{II}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>;  $C_n$  – вартість однієї хвилини роботи одного пожежно-рятувального відділення у процесі ліквідації пожежі, грн/хв;  $\tau_{3,n}$  – тривалість зайнятості пожежно-рятувального підрозділу для ліквідації пожежі, хв;  $N_g$  – загальна кількість відділень, що брали участь у ліквідації пожежі.

Для визначення площі пожежі  $S_{II}$  скористуємося залежністю з урахуванням, що тривалість вільного розвитку пожежі  $\tau_{6,z} > 10$  хв

$$S_{II} = [25 + (\tau_{6,z} - 10)^2] \frac{V_{II}^2}{\xi^2} \alpha, \quad (3)$$

де  $\tau_{6,z}$  – тривалість вільного розвитку пожежі, хв;

$$\tau_{6,z} = \tau_{6,6} + \tau_{cn} + \tau_{o,o} + \tau_{3,c} + \tau_{36} + \tau_{cl} + \tau_{roz}; \quad (4)$$

де:  $\tau_{6,6}$  – час з моменту виникнення до виявлення пожежі, хв;  $\tau_{cn}$  – час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ, хв;  $\tau_{o,o}$  – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу, хв; ( $\tau_{o,o} = 1$  хв [10]);  $\tau_{3,c}$  – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі, хв; ( $\tau_{3,c} = 3$  хв згідно наказу МВС України №325 від 01.07. 1993);  $\tau_{36}$  – час збирання особового складу, хв; ( $\tau_{36} = 1$  хв [10]);  $\tau_{cl}$  – час слідування на пожежу, хв;

$$\tau_{cl} = \frac{60Lk_n}{V_{cl}}; \quad (5)$$

де:  $L$  – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км;  $k_n$  – коефіцієнт, який враховує непрямолінійність вуличної мережі (у містобудівельній практиці його максимальне значення приймають  $k_n = 1,4$ );  $V_{cl}$  – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год (у денний час  $V_{cl} = 32$  км/год; вночі – до 60 км/год [11]);  $\tau_{roz}$  – час оперативного розгортання, хв; ( $\tau_{roz} = 7$  хв [12]);  $V_{II}$  – швидкість розповсюдження полум'я пожежі в приміщенні, м/хв;  $\xi$  – коефіцієнт, який враховує використання протипожежних перегородок (за відсутності протипожежних перегородок  $\xi = 1$ ; за наявності протипожежних перегородок  $\xi = 1,8$ );  $\alpha$  – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова  $360^\circ \alpha = 3,14$  рад; кутова  $180^\circ \alpha = 1,57$  рад; кутова  $90^\circ \alpha = 0,785$  рад.

Для визначення тривалості зайнятості пожежно-рятувального підрозділу для ліквідації пожежі скористуємося залежністю

$$\tau_{3,n} = \tau_{o,o} + \tau_{3,c} + \tau_{36} + \tau_{cl} + \tau_{roz} + \tau_{лок} + \tau_e + \tau_{лік}, \quad (6)$$

де:  $\tau_{o,o}$ ,  $\tau_{3,c}$ ,  $\tau_{36}$ ,  $\tau_{cl}$ ,  $\tau_{roz}$  – складові, які розглянуто за залежністю (4);  $\tau_{лок}$  – час локалізації пожежі, хв;  $\tau_e$  – час гасіння пожежі, хв;  $\tau_{лік} = 0,25(\tau_{лок} + \tau_e)$  – час на закінчення ліквідації пожежі (остаточне гасіння), хв.

Другою складовою залежності (1) є 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. Значення  $B_o$  можна визначити за залежністю

$$B_o = \left( \sum_{i=1}^n C_i N_i \right) K_{ki}, \quad (7)$$

де:  $C_i$  – вартість і-го засобу протипожежного захисту, грн;  $N_i$  – загальна кількість і-го засобу протипожежного захисту, шт.;  $K_{ki}$  – коефіцієнт, який враховує

капітальні витрати на монтаж засобів протипожежного захисту;  $n$  – загальна кількість засобів протипожежного захисту.

На значення критерію  $Z_o$  за залежністю (1) найбільше впливають такі чинники:  $\tau_{6,6}$ ,  $\tau_{cn}$ ,  $\tau_{cl}$  і наявність у цеху протипожежних перегородок. Наприклад, тривалість з моменту виникнення до виявлення пожежі без використання системи пожежної сигналізації в кращому випадку становить 6-9 хв [5]. У разі використання системи пожежної сигналізації тривалість з моменту виникнення до виявлення пожежі дорівнює часу спрацювання системи з урахуванням її інерційності, а саме 0,25 хв, тобто тривалість виявлення пожежі зменшується у 36 разів. Аналогічно можна також зауважити, що за відсутності пожежного поста з приймально-контрольним пристроєм сповіщення про пожежу в пожежно-рятувальний підрозділ миттєво передати неможливо. Крім того, наявність в цеху протипожежних перегородок або завіс (екранів) значно зменшує швидкість розповсюдження пожежі.

На значення критерію  $B_o$  за залежністю (1) найбільше впливають витрати, які пов'язані з додатковим придбанням засобів протипожежного захисту.

Виходячи з наведених положень для цехів деревообробних підприємств основною системою протипожежного захисту є системи пожежної сигналізації [13]. Системи пожежної сигналізації призначені для раннього виявлення пожежі та подавання сигналу тривоги для вживання необхідних заходів для евакуювання людей, виклику пожежно-рятувальних підрозділів, запуску протидимних систем, здійснення управління протипожежними завісами, відключення або блокування (розблокування) інших інженерних систем та устаткування у разі сигналу "пожежа" тощо. Для управління системами протипожежного захисту потрібно передбачати приміщення пожежного поста, яке розміщується безпосередньо в цеху. У приміщенні пожежного поста влаштовують приймально-контрольний пристрій пожежної сигналізації, який слугує для прийому сигналів про пожежу від пожежних сповіщувачів, індикації місця виникнення пожежі, що охороняється і з якого прийнято сигнал, а також для передачі сигналу тривоги в підрозділі Державної служби з надзвичайних ситуацій.

Система протипожежного захисту цехів деревообробних підприємств повинна бути повністю укомплектована і у своєму складі мати: 1) приймально-контрольний пристрій пожежної сигналізації; 2) комбіновані пожежні сповіщувачі; 3) звукові пожежні оповіщувачі; 4) систему протидимного захисту (систему димо- та тепловидалення з механізмом відкриття); 5) щільні вертикальні завіси з негорючих матеріалів, які опускаються з перекриття на підлогу, але не нижче ніж 2,5 м від підлоги, утворюючи під перекриттям резервуари диму; 6) евакуювальні двері з системою їх автоматичного відкриття.

З урахуванням наведеного складу системи протипожежного захисту та рекомендацій [14] розробимо математичну модель пожежного ризику  $\epsilon_o$  об'єкта

$$\epsilon_o = \epsilon_n P_n \epsilon_{n,kl} \epsilon_{nc} \epsilon_{no} \epsilon_{n,z} \epsilon_{c,z} \epsilon_{e,o} (1 - P_e) \leq [\epsilon_o], \quad (8)$$

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

$$P_n = \frac{\tau_n}{24}; \quad (9)$$

де:  $\tau_n$  – час присутності людей у цеху, год (здебільшого на деревообробних об'єктах роботу виконують у дві зміни, тобто  $\tau_n = 16$  год);  $\varepsilon_{n,к,л}$  – ризик відмови приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації;  $\varepsilon_{n,с}$  – ризик відмови пожежного сповіщувача;  $\varepsilon_{n,о}$  – ризик відмови звукового пожежного сповіщувача;  $\varepsilon_{n,з}$  – ризик відмови системи протидимного захисту;  $\varepsilon_{с,з}$  – ризик відмови системи завіси;  $\varepsilon_{е,д}$  – ризик відмови евакуйовальних дверей зі системою їх автоматичного відкриття;  $P_e$  – імовірність евакуювання із приміщення цеху у разі виникнення пожежі

$$P_e = 1 - (1 - P_{e,л})(1 - P_{e,а}); \quad (10)$$

де:  $P_{e,л}$  – імовірність евакуації людей, які перебувають у приміщенні цеху, по евакуаційних шляхах під час реалізації сценарію пожежі;  $P_{e,а}$  – імовірність евакуації людей через аварійні виходи або за допомогою інших засобів порятунку (у разі відсутності даних  $P_{e,а}$  допускається приймати 0,03 за наявності аварійних виходів або засобів порятунку та 0,001 – за їх відсутності).

Імовірність евакуації людей  $P_{e,л}$  по евакуаційних шляхах у зоні виникнення пожежі визначають за залежністю

$$P_{e,л} = \frac{0,8\tau_k - \tau_e}{\tau_{n,e}}, \quad (11)$$

де:  $\tau_k$  – критичний час пожежі, хв; (критичний час пожежі визначають з урахуванням небезпечних факторів пожежі, але, як показують результати аналізу даних статистики пожеж у цехах деревообробних підприємств, його значення змінюється 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 сповіщення про пожежу  $\tau_{n,e} = 1 \dots 2$  хв для поверху пожежі та  $\tau_{n,e} = 6$  хв для вищих поверхів [5]);  $[\varepsilon_o]$  – допустиме нормативне значення пожежного ризику для об'єкта.

Під час визначення імовірності евакуації людей  $P_{e,л}$  по евакуаційних шляхах у зоні виникнення пожежі за залежністю (11) потрібно враховувати такі положення [5]:

- 1) у разі, коли  $\tau_e < 0,8 \cdot \tau_k < \tau_e + \tau_{n,e}$ , то  $P_{e,л}$  визначають за залежністю (11);
- 2) у разі, коли  $\tau_e + \tau_{n,e} \leq 0,8 \cdot \tau_k$ , то  $P_{e,л} = 0,999$ ;
- 3) у разі, коли  $\tau_e \geq 0,8 \cdot \tau_k$ , то  $P_{e,л} = 0$ .

Час евакуації  $\tau_e$  визначають за залежністю

$$\tau_e = \frac{l_e}{k_e V_{e,d}}, \quad (12)$$

$$\text{де } l_e \text{ – шлях евакуації, м; } \quad l_e = k_{кр} \sqrt{L_{np}^2 + B_{np}^2}; \quad (13)$$

де:  $k_{кр} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривизну 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;

$$V_e = 49,5 - 9,27 \ln[-\lg(0,1 + 1,284k_{em})], \quad (14)$$

де:  $k_{em}$  – коефіцієнт, який враховує емоційний стан людей, що евакууюються; значення цього коефіцієнта становить  $k_{em} = 0-0,7$  (за відсутності емоційного стану  $k_{em} = 0$ ) [16];  $k_v$  – кількість евакуаційних виходів.

Розглянемо значення складових математичної моделі пожежного ризику (8), які ще не визначали. Для цього скористуємося основними положеннями теорії надійності під час визначення імовірності безвідмовної роботи  $R(\tau)$  відповідного елемента системи протипожежного захисту або імовірності його відмови  $F(\tau)$ . Ризик відмови приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації  $\varepsilon_{n,к,л}$ . Виходячи з основних положень теорії надійності імовірність відмови електронної апаратури підпорядковується експоненціальному закону розподілу з густиною розподілу  $f(\tau) = \lambda \exp(-\lambda \tau)$  [17]. У цьому разі отримуємо

$$\varepsilon_{n,к,л} = \int_0^{\tau} \lambda_{n,к,л} e^{-\lambda \tau} d\tau = 1 - e^{-\lambda \tau} = 1 - \exp(-\lambda_{n,к,л} \tau), \quad (15)$$

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

$$\lambda_{n,к,л} = \frac{1}{T_B}; \quad (16)$$

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

$$T_B = 10 \cdot 365 \cdot 24 = 87600 \text{ год; } \lambda_{n,к,л} = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \quad (17)$$

Ризик відмови пожежного сповіщувача  $\varepsilon_{n,с}$ . 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

$$\lambda_{n,с} = 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \quad (18)$$

У цьому випадку ризик відмови пожежного сповіщувача буде таким:

$$\varepsilon_{n,с} = 1 - \exp(-\lambda_{n,с} \tau), \quad (19)$$

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

Водночас значення цього ризику потрібно уточнити введенням поправочного коефіцієнта  $\delta_{n,с}$ , який залежить від встановлення в цеху потрібної кількості пожежних сповіщувачів згідно із рекомендаціями [13]. У підсумку отримаємо:

$$\varepsilon_{n,с} = [1 - \exp(-\lambda_{n,с} \tau)] \delta_{n,с}; \quad (20)$$

$$\delta_{n,с} = \frac{N_{n,с}}{N_{n,с,d}}, \quad (21)$$

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

Своєю чергою, потрібну кількість пожежних сповіщувачів для приміщення цеху можна визначити з урахуванням рекомендацій [13]

$$N_{nc} = \text{round} \left[ \frac{L_q B_q}{S_{nc}} \right], \quad (22)$$

де:  $\text{round}[*]$  – функція, яка заокруглює отриманий результат до більшого цілого числа;  $L_q$  – довжина внутрішнього об'єму приміщення цеху, м;  $B_q$  – ширина внутрішнього об'єму приміщення цеху, м;  $S_{nc}$  – площа, яку контролює один сповіщувач, м<sup>2</sup> (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 7.2.11  $S_{nc} = 49$  м<sup>2</sup>).

Ризик відмови звукового пожежного сповіщувача  $\varepsilon_{no}$ . Згідно із ДСТУ EN 54-3:2003 п. 4.4 час  $T_B$  напрацювання сповіщувача на відмову (час безперервної роботи) дорівнює 100 год. Тоді інтенсивність відмови сповіщувача буде дорівнювати

$$\lambda_{no} = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{100} = 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \quad (23)$$

У цьому випадку ризик відмови звукового пожежного сповіщувача визначаємо з урахуванням наявності в цеху потрібної і дійсної кількості пожежних сповіщувачів та з урахуванням коефіцієнта  $\delta_{no}$ :

$$\varepsilon_{no} = [1 - \exp(-\lambda_{no}\tau)]\delta_{no}; \quad (24)$$

$$\delta_{no} = \frac{N_{no}}{N_{no,d}}, \quad (25)$$

де:  $\tau$  – сумарний час роботи сповіщувача з початку експлуатації, год;  $N_{no}$  – потрібна кількість пожежних сповіщувачів для приміщення цеху, шт.;  $N_{no,d}$  – дійсна кількість пожежних сповіщувачів у цеху, шт.

Значення  $N_{no}$  можна визначити з урахуванням рекомендацій ДСТУ EN 54-3:2003 п. 4.6.2, де зазначено, що площа, яку обслуговує один сповіщувач  $S_{no} = 72$  м<sup>2</sup>. Тоді

$$N_{no} = \text{round} \left[ \frac{L_q B_q}{S_{no}} \right]. \quad (26)$$

Ризик відмови системи протидимного захисту  $\varepsilon_{c3}$ . Імовірність відмови системи протидимного захисту підпорядковується нормальному закону розподілу з густиною розподілу [17]

$$f(\tau) = \frac{1}{S_\tau \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau - m_\tau)^2}{2S_\tau^2}}, \quad (27)$$

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

З урахуванням існуючих даних за часом 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.

У цьому випадку ризик відмови протидимного пристрою визначаємо з урахуванням наявності в цеху потрібної і дійсної кількості протидимних пристроїв та з урахуванням коефіцієнта  $\delta_{c3}$ . Тоді значення ризику можна виразити через функцію Лапласа

$$\varepsilon_{c3} = [0,5 + \Phi(u)]\delta_{c3}, \quad (28)$$

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

$$u = \frac{\tau - m_\tau}{S_\tau}; \quad (29)$$

$$\delta_{c3} = \frac{N_{c3}}{N_{c3,d}}; \quad (30)$$

$$N_{c3} = \text{round} \left[ \frac{L_q B_q}{S_{c3}} \right], \quad (31)$$

де:  $N_{c3}$  – потрібна кількість протидимних пристроїв для приміщення цеху, шт.;  $N_{c3,d}$  – дійсна кількість протидимних пристроїв у цеху, шт.  $S_{c3}$  – площа цеху, яка обслуговується одним димоприймальним пристроєм (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 10.4.2  $S_{c3} = 900$  м<sup>2</sup>).

Для визначення функції Лапласа потрібно спочатку визначити квантиль нормального розподілу за залежністю (29) для відповідного часу  $\tau$ , а потім з використанням довідникової літератури, в якій розміщені таблиці функції Лапласа, вибрати значення  $\Phi(u)$ .

Ризик відмови системи завіси  $\varepsilon_{c3}$ . 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  $\delta_{c3}$ . Значення ризику визначаємо через функцію Лапласа

$$\varepsilon_{c3} = [0,5 + \Phi(u)]\delta_{c3}. \quad (32)$$

Значення квантиля нормального розподілу и визначаємо за залежністю (29) при  $S_\tau = 16,7$  год і  $m_\tau = 50$  год. Значення коефіцієнта  $\delta_{c3}$  визначаємо за залежностями:

$$\delta_{c3} = \frac{N_{c3}}{N_{c3,d}}; \quad (33)$$

$$N_{c3} = \text{round} \left[ \frac{L_q B_q}{S_{c3}} \right], \quad (34)$$

де:  $N_{c3}$  – потрібна кількість систем завіс для приміщення цеху, шт.;  $N_{c3,d}$  – дійсна кількість систем завіс у цеху, шт.  $S_{c3}$  – площа цеху, яка обслуговується однією системою завіс (згідно із ДБН В.2.5-56:2014 п. 10.4.3  $S_{c3} = 1600$  м<sup>2</sup>).

Ризик відмови евакуйовальних дверей із системою їх автоматичного відкриття  $\varepsilon_{e,d}$ . Головною системою евакуйовальних дверей є пристрій для автоматичного їх відкриття, 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  $\lambda_{e,d} = 1,9 \cdot 10^{-6}$  хв<sup>-1</sup>, що дає змогу визначити значення ризику

$$\varepsilon_{e,d} = 1 - \exp(-\lambda_{e,d}\tau). \quad (35)$$

У процесі аудиту об'єкта зі забезпечення його протипожежними засобами потрібно використовувати математичну модель пожежного ризику (8). У разі відсутності будь-якого компонента системи, який потрібно враховувати залежно (8), потрібно замість цієї складової підставити цифру 1.

Якщо у процесі визначення пожежного ризику для об'єкта за залежністю (8) буде встановлено, що отриманий результат не задовольняє допустиме значення пожежного ризику, то в цьому випадку потрібно виконати насамперед аналіз усіх розрахованих коефіцієнтів  $\delta_i$ . На підставі результатів аналізу цих коефіцієнтів потрібно розробити заходи на доукомплектування об'єкта протипожежними засобами з метою наближення значень коефіцієнтів до одиниці, керуючись при цьому прийнятим критерієм (1) для мінімізації збитків у разі виникнення пожежі. При цьому потрібно доукомплектувати такими компонентами, які забезпечували б мінімум витрат за залежністю (7).

Крім цього, у разі вичерпання терміну експлуатації елементів системи значення кожного відповідного ризику буде наближатися до (0,632), що не дасть змоги забезпечити допустиме значення пожежного ризику. Тому під час розроблення заходів на доукомплектування об'єкта протипожежними засобами потрібно також враховувати заміну елементів, термін використання яких закінчується.

Для пояснення викладеного матеріалу розглянемо приклад.

**Приклад.** У деревообробному цеху  $L_y = 144$  м,  $B_y = 72$  м,  $H_y = 6$  м (до ферм) виникла кутова  $90^\circ$  пожежа. Цех працює в дві зміни. Кількість працівників в одну зміну 220 осіб. У цеху встановлено протипожежні перегородки ( $\xi = 1,8$ ), але відсутні: 1) прийнятно-контрольний пристрій пожежної сигналізації; 2) пожежні сповіщувачі; 3) система протидимного захисту; 4) щільні вертикальні завіси з негорючих матеріалів. У приміщенні цеху встановлено 10 звукових пожежних сповіщувачів і 4 евакуйовальних дверей без системи їх автоматичного відкриття. Час з моменту виникнення до виявлення пожежі  $\tau_{в,в} = 4$  хв; час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї у пожежно-рятувальний підрозділ  $\tau_{сп} = 3$  хв; відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта  $L = 1,8$  км;  $V_{сп} = 32$  км/год;  $V_{пл} = 1,3$  м/хв; емоційний стан людей відсутній  $k_{ем} = 0$ ; критичний час пожежі після її виявлення  $\tau_k = 10$  хв; час від виявлення пожежі до початку евакуації  $\tau_{н,е} = 6$  хв;  $C_o = 2500$  грн/м<sup>2</sup>;  $C_n = 67$  грн/хв. Для ліквідації пожежі прибуло 2 пожежні автоцистерни і відповідно 2 відділення ( $N_e = 2$ ).

### Розв'язок

1. Визначаємо тривалість вільного розвитку пожежі за залежністю (4)

$$\tau_{в,з} = 4 + 3 + 1 + 3 + 1 + \frac{60 \cdot 1,8 \cdot 1,4}{32} + 7 = 23,7 \text{ хв.}$$

2. Визначаємо площу пожежі за залежністю (3)

$$S_{пл} = \left[ 25 + (23,7 - 10)^2 \right] \frac{1,3^2}{1,8^2} = 87,2 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо тривалість локалізації, гасіння і ліквідації пожежі [17]

$$S_{лок} = \left[ 2 \frac{V_{пл}}{\xi} (\tau_{в,з} - 10)h - h^2 \right] \alpha = \left[ 2 \frac{1,3}{1,8} (23,7 - 10)5 - 5^2 \right] 0,785 = 58 \text{ м}^2,$$

де  $h = 5$  м – глибина подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі для ручних стволів.

$$\tau_{лок} = \frac{6,39 S_{лок}^{0,893}}{2N_A + N_B^f} K_I K_d = \frac{6,39 \cdot 86,4^{0,893}}{2 \cdot 2 + 2} 1,01 \cdot 1,08 = 43,6 \text{ хв,}$$

де:  $N_A = 2$  – кількість стволів  $A$  на локалізацію і гасіння;  $N_B^f = 2$  – кількість стволів  $B$  на локалізацію і гасіння (ще 2 стволи  $B$  на захист);  $K_I = 1,62 - 3,04 I_n^f = 1,62 - 3,04 \cdot 0,2 = 1,01$  – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання  $I_n^f$  (л/м<sup>2</sup>с) в осередок пожежі вогнегасної речовини;  $K_d = 1,4983 - 0,0262d = 1,4983 - 0,0262 \cdot 16 = 1,08$  – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра насадки  $d$  (мм) ствола.

$$\tau_z = \tau_{лок} \left( \frac{S_{пл}}{S_{лок}} - 1 \right) = 43,6 \left( \frac{87,2}{58} - 1 \right) = 22 \text{ хв; } \tau_{лік} = 0,25(43,6 + 22) = 16,4 \text{ хв.}$$

4. Визначаємо тривалість зайнятості пожежно-рятувального підрозділу для ліквідації пожежі за залежністю (6)

$$\tau_{з,н} = 1 + 3 + 1 + \frac{60 \cdot 1,8 \cdot 1,4}{32} + 7 + 43,6 + 22 + 16,4 = 98,7 \text{ хв.}$$

5. Визначаємо прямі збитки від пожежі за залежністю (2)

$$Z_o = C_o S_{пл} + C_n \tau_{з,н} N_e = 2500 \cdot 87,2 + 67 \cdot 98,7 \cdot 2 = 231225,8 \text{ грн.}$$

6. Визначаємо витрати на наявні в цеху протипожежні засоби за (7)

$$B_o = \left( \sum_{i=1}^n C_i N_i \right) K_{ki} = C_1 N_1 K_{k1} = 100 \cdot 10 \cdot 1,1 = 1100 \text{ грн,}$$

де:  $C_1 = 100$  грн – вартість одного звукового пожежного сповіщувача "Сирена" [19];  $N_1 = 10$  – загальна кількість звукових пожежних сповіщувачів, які встановлено в цеху;  $K_{k1} = 1,1$  – коефіцієнт, який враховує капітальні витрати на монтаж пожежних сповіщувачів.

7. Визначаємо суму прямих збитків від пожежі та витрат на існуючі в цеху протипожежні засоби за залежністю (1)

$$231225,8 + 1100 = 232325,8 \text{ грн.}$$

8. Ризик виникнення пожежі в приміщенні цеху  $\varepsilon_n = 4 \cdot 10^{-2}$ .

9. Визначаємо імовірність присутності людей в приміщенні  $P_n = \frac{16}{24} = 0,67$ .

10. Визначаємо значення ризиків протипожежних засобів, які розміщені в цеху:

$$N_{но} = \frac{144 \cdot 72}{72} = 144; \delta_{но} = \frac{144}{10} \approx 15; \varepsilon_{но} = [1 - \exp(-10^{-2} \cdot 6)] 5 = 0,87,$$

де  $\tau = 6$  год.

11. Визначаємо імовірність евакуації

$$V_e = 49,5 - 9,27 \ln[-\lg(0,1 + 1,284 \cdot 0)] = 49,5 \text{ м/хв.}$$

Евакуювання виконують через двоє дверей, які знаходяться у другій половині цеху

$$l_e = k_{кр} \sqrt{L_{np}^2 + B_{np}^2} = 1,4 \sqrt{72^2 + 4^2} = 101 \text{ м; } \tau_e = \frac{101}{2 \cdot 49,5} = 1,02 \text{ хв,}$$

де  $L_{np} = 72$  м;  $B_{np} = 4$  м – ширина центрального проїзду цеху;  
 $\tau_e + \tau_{n.e} = 1,02 + 6 = 7,02$  хв  $< 0,8\tau_k = 0,8 \cdot 10 = 8$  хв  $\rightarrow$  то  $P_{e.n} = 0,999$ .

Тоді  $P_e = 1 - (1 - 0,999)(1 - 0,03) = 0,999$ .

12. Визначаємо значення пожежного ризику

$$\epsilon_o = 0,04 \cdot 0,67 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (1 - 0,999) = 2,3 \cdot 10^{-5}.$$

Отримане значення пожежного ризику відповідає середньому допустимому, що є недопустимим для цехів деревообробних підприємств. Тому для зменшення його значення до незначного допустимого потрібно впровадити протипожежні заходи: 1) встановити в цеху приймально-контрольний пристрій пожежної сигналізації "Svarog-101" вартістю 2780 грн; 2) комбіновані пожежні сповіщувачі типу СПД-3.5 вартістю 52,49 грн; [20] 3) систему автоматичного відкриття дверей вартістю 3000 грн за комплект [21] для 4 евакуйовальних дверей  $3000 \cdot 4 = 12000$  грн.

Під час виконання наведених заходів у процесі виникнення пожежі виникнуть такі зміни:

1. Зменшиться тривалість вільного розвитку пожежі від 23,7 хв до 18,7 хв за рахунок зменшення на 3 хв часу на виявлення пожежі і на 2 хв на сповіщення про пожежу. Тоді  $\tau_{a.z} = 18,7$  хв.

2. Відповідно, зменшується площа пожежі і площа локалізації:

$$S_{II} = \left[ 25 + (18,7 - 10)^2 \right] \frac{1,3^2}{1,8^2} = 0,785 = 41,2 \text{ м}^2; S_{лок} = \left[ 2 \frac{1,3}{1,8} (18,7 - 10) - 5^2 \right] 0,785 = 29,7 \text{ м}^2.$$

3. Визначаємо тривалість локалізації, гасіння і ліквідації пожежі

$$\tau_{лок} = \frac{6,39 \cdot 29,7^{0,893}}{2 \cdot 2 + 2} = 1,01 \cdot 1,08 = 24 \text{ хв}; \tau_z = 24 \left( \frac{41,2}{29,7} - 1 \right) = 9,3 \text{ хв};$$

$$\tau_{лік} = 0,25(24 + 9,3) = 8,3 \text{ хв}.$$

4. Визначаємо тривалість зайнятості пожежно-рятувального підрозділу для ліквідації пожежі за залежністю

$$\tau_{z.n} = 1 + 3 + 1 + \frac{60 \cdot 1,8 \cdot 1,4}{32} + 7 + 24 + 9,3 + 8,3 = 58,3 \text{ хв}.$$

5. Визначаємо прямі збитки від пожежі

$$Z_o = C_o S_{II} + C_{II} \tau_{z.n} N_6 = 2500 \cdot 41,2 + 67 \cdot 58,3 \cdot 2 = 110812,2 \text{ грн}.$$

6. Визначаємо витрати на існуючі в цеху та придбані протипожежні засоби:  $N_2 = 1$  – приймально-контрольний пристрій пожежної сигналізації; пожежні сповіщувачі;  $N_3 = N_{nc} = \frac{144 \cdot 72}{49} = 212$ ;  $N_4 = 4$  комплекти систем автоматичного відкриття дверей. Тоді

$$B_o = \left( \sum_{i=1}^n C_i N_i \right) K_{ki} = (100 \cdot 10 + 2780 \cdot 1 + 52,49 \cdot 212 + 3000 \cdot 4) \cdot 1 = 29598,67 \text{ грн}.$$

7. Визначаємо суму прямих збитків від пожежі та витрат на протипожежні засоби за залежністю (1)

$$110812,2 + 29598,67 = 140350,87 \text{ грн}.$$

8. Ризик відмови приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації

$$\epsilon_{n.k.l} = 1 - \exp(-\lambda_{n.k.l} \tau) = 1 - \exp(-1,14 \cdot 10^{-5} \cdot 720) = 0,0082.$$

де  $\tau = 720$  год – тривалість роботи пристрою впродовж 30 днів.

9. Ризик відмови пожежного сповіщувача

$$\epsilon_{nc} = [1 - \exp(-\lambda_{nc} \tau)] \delta_{nc} = [1 - \exp(-1,14 \cdot 10^{-5} \cdot 720)] = 0,0082.$$

10. Ризик відмови евакуйовальних дверей

$$\epsilon_{e.o} = 1 - \exp(-\lambda_{e.o} \tau) = 1 - \exp(-1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 60,3) = 0,0001,$$

де  $\lambda_{e.o} = 1,9 \cdot 10^{-6}$  хв<sup>-1</sup>;  $\tau = \tau_{a.z} + \tau_{лок} + \tau_z + \tau_{лік} = 18,7 + 24 + 9,3 + 8,3 = 60,3$  хв.

Усі інші значення ризиків залишаються без змін. На підставі отриманих значень визначаємо пожежний ризик для деревообробного цеху

$$\epsilon_o = 0,04 \cdot 0,67 \cdot 0,0082 \cdot 0,0082 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,0001(1 - 0,999) = 1,55 \cdot 10^{-13} < [\epsilon_o] = 10^{-6}.$$

Таким чином, впровадження в цеху тільки запланованих трьох протипожежних заходів дає змогу зменшити значення пожежного ризику до значення, яке менше допустимого, а також значно зменшити значення критерію, тобто прямих збитків від пожежі та витрат на протипожежні засоби від 232325,8 грн до 140350,87 грн. Такий підхід до визначення потрібної кількості протипожежних засобів у приміщеннях цехів деревообробних підприємств з використанням математичної моделі пожежного ризику є обґрунтованим і пропонуємо для впровадження в деревообробну галузь промисловості.

#### Висновки:

1. Розроблено методологію для визначення потрібної кількості протипожежних засобів у приміщеннях цехів деревообробних підприємств з використанням математичної моделі пожежного ризику.
2. Для оптимізації вибору потрібної кількості протипожежних засобів у приміщеннях цехів розроблено критерій, який складається з прямих збитків від пожежі і витрат пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі, а також витрат на протипожежний захист. Отримання оптимального вибору протипожежних засобів і забезпечення допустимого значення пожежного ризику можливо внаслідок мінімізації цього критерію.
3. На величину пожежного ризику об'єкта насамперед впливають впровадження приймально-контрольного пристрою пожежної сигналізації, пожежних сповіщувачів та засобів для успішної евакуації людей з осередку виникнення пожежі.
4. Розроблена методологія потребує подальшого удосконалення з метою її впровадження і використання на основі інформаційних технологій, що дасть змогу в оперативному режимі вживати всіх потрібних заходів для забезпечення протипожежної безпеки у процесі аудиту об'єкта.

#### Література

1. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К. : Вид-во "Либідь", 2004. – 328 с.
2. Моделирование пожаров и взрывов / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М. : Изд-во "Пожнаука", 2000. – 482 с.
3. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Н.Н. Брушлинский. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1981. – 96 с.

УДК 614.843(075.32)

Докторант О.М. Коваль, канд. техн. наук –  
 НУ цивільного захисту України; проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук –  
 Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ КІЛЬКОСТІ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ЗАСОБІВ У ПРИМІЩЕННЯХ ДЕРЕВООБРОБНИХ ЦЕХІВ

Розроблено математичну модель і методологію для визначення пожежного ризику для приміщень цехів деревообробних підприємств, на підставі яких можливо визначати заходи і потрібні протипожежні засоби з урахуванням допустимого для цеху значення пожежного ризику. Для підтримки математичної моделі пожежного ризику, яку отримано з використанням основних положень теорії надійності, розроблено математичні моделі пожежних ризиків основних протипожежних засобів, якими можуть споряджатися 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 разі виникнення пожежі.

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

**Постановка проблеми.** У сфері пожежної безпеки користуються терміном "пожежний ризик", тобто це є міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єктів захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей. 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 прийняттого. 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  $\varepsilon = 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ ; 3) високий (терпимий) пожежний ризик  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ ; 4) неприйнятний пожежний ризик  $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$ . Своєю чергою, пожежний ризик вказує на відповідну імовірність оперативної реалізації системи протипожежного захисту у разі виникнення пожежі на об'єкті. Тому, враховуючи дійсне значення пожежного ризику, можна у разі виникнення пожежі на об'єкті визначити очікувану величину втрат та здійснюючи управлінські заходи мінімізувати наслідки від неї, а також передбачити ефективні компенсаційні заходи.

Але водночас зовсім не розглянуто питання застосування пожежних ризиків для визначення потрібної кількості протипожежних засобів у цехах деревообробних підприємств з метою мінімізації наслідків у разі виникнення пожежі. Своєю чергою, не використання всіх потрібних протипожежних заходів, як показали результати аудиту деревообробних підприємств та аналізу наданим їм відповідних приписів, здебільшого призводить до значних збитків. Тому виникає проблема у точнішому прогнозуванні для цехів деревообробних підприємств з урахуванням пожежних ризиків потрібних протипожежних заходів з метою мінімізації збитків у разі виникнення пожежі. Вирішення такої проблеми можливе насамперед внаслідок розроблення і можливого використання математичної моделі для обґрунтованого забезпечення системою протипожежного захисту об'єкта з урахуванням пожежних ризиків. Враховуючі той факт, що для

цехів деревообробних підприємств математичні моделі вибору потрібних протипожежних заходів з урахуванням пожежних ризиків відсутні, то вирішення цієї проблеми є актуальним і своєчасним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему аналізу та управління пожежними ризиками останнім часом порушено у багатьох країнах світу. Значний внесок у розвиток цього напрямку науки зробили такі вчені: М.М. Брушлінський, В.В. Холщевніков, Д.О. Самошин, В.В. Бегун та ін. [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.

Свого часу було розроблено математичні моделі з урахуванням пожежного ризику для вдосконалення і підвищення ефективності роботи пожежно-рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж. Наприклад, в Академії ДПС МВС Росії розроблено імітаційну модель "ТИГРИС" [6]. Подібну імітаційну модель також розроблено в Нью-Йоркському Ренд-інституті [7]. Результатом розв'язання цих моделей є показник, який характеризує тільки результативність дій пожежно-рятувальних підрозділів, а саме час обслуговування виклику, і не розглянуто навіть ризики від ліквідації пожежі.

Узагальнюючи наведене, можна констатувати, що на цей час немає моделі для визначення методів і засобів протипожежного захисту на основі допустимого значення пожежного ризику. Тому постало завдання розробити метод оптимізації пожежного ризику до прийняттого значення з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки об'єкта.

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

**Постановка задачі та її розв'язання.** Основною задачею у процесі використання теорії прийняття рішення є вибір оцінки для прийняття відповідного рішення, тобто вибір певного критерію для прийняття цього рішення [8]. Згідно із загальною класифікацією, критеріальні задачі поділяють на класи [9]. Задачі, які пов'язані з визначенням пожежних ризиків для різних об'єктів, можуть бути віднесені до третього класу. В цьому випадку технічна система повинна функціонувати в різних умовах, з яких для кожної якості функціонування характеризується деякими частковими критеріями. Часткові критерії у задачах цього класу мають однакові природу й розмірність. Такими частковими критеріями для об'єкта є прями збитки від пожежі  $Z_o$  і витрати на протипожежний захист  $B_o$ . Для прийняття відповідного оптимального рішення значення суми цих критеріїв повинно бути найменшим, тобто

$$Z_o + B_o \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Розглянемо визначення значень складових залежності (1). Першою складовою є прями збитки від пожежі  $Z_o$ , які залежать безпосередньо від розмірів площі об'єкта  $Z_{o1}$ , яка знищена пожежею, і витрат пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі  $Z_{o2}$ . У цьому випадку отримаємо

$$Z_o = Z_{o1} + Z_{o2} = C_o S_{\Pi} + C_{\Pi} \tau_{зп} N_6, \quad (2)$$

4. Холщевников В.В. Проблемы оценки безопасности людей при пожаре в уникальных зданиях и сооружениях / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность : сб. науч. тр. – 2003. – № 4. – С. 21-27.
5. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин. – 46 с. [Электронный ресурс]. – Доступный с <http://www.akademygprs.ru>.
6. Брушлинский Н.Н. Математическая модель для проектирования системы противопожарной защиты города / Н.Н. Брушлинский, Н.Н. Соболев // Управление большим городом : сб. науч. тр. – М. : НПО АСУ "Москва", 1985. – С. 79-81.
7. Carter G. Simulation model of fire department operation: design and preliminary results / G. Carter, I. Chaiken, E. Ignall // IEEE Transportation System Science and Cybernetics. – 1970. – № 40. – Pp. 282-293.
8. Мушик Э. Методы принятия технических решений : пер. с нем. / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Изд-во "Мир", 1990. – 208 с.
9. Кіндрацький Б.І. Рациональные проектирования машинобудівних конструкцій / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим. – Львів : Вид-во КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 279 с.
10. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К. : Вид-во УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
11. Мовчан І.О. Вибір критеріїв для прийняття рішень в системі пожежогасіння / І.О. Мовчан, М.І. Васильєв // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во Львівського ДУ БЖД. – 2013. – № 8. – С. 146-154.
12. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики / В.П. Бут, Б.В. Куціщій, Б.В. Болібрух. – Львів : Вид-во СПОЛОМ, 2003. – 133 с.
13. ДБН В.2.5-56:2015 Системи протипожежного захисту. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. – 185 с.
14. Гуліда Е.М. Методика визначення соціального пожежного ризику в приміщеннях навчальних закладів / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан, Т.М. Кіт // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.11. – С. 139-149.
15. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Приложение к приказу МЧС РФ от 30.06.2009 № 382). – М. : Изд-во МЧС РФ, 2009. – 10 с.
16. Холщевников В.В. Моделирование людских потоков / В.В. Холщевников // Моделирование пожаров и взрывов. – М. : Ассоциация "Пожнаука", 2000. – С. 139-169.
17. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем : пер. с англ. / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М. : Изд-во "Мир", 1984. – 318 с.
18. Hulida E. Mathematical model of the optimization of fire extinguishing time length in the woodworking enterprises' workshops / E. Hulida, O. Koval // Econtechmod. – Lublin; Rzeszow. – 2015. – Vol. 4, № 1. – Pp. 39-43.
19. Системи захисту та безпеки. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.gss.lviv.ua>.
20. Сповіщувачі пожежні комбіновані. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.Kolecs.lviv.ua>.
21. Автоматика для ворот. [Електронний ресурс]. – Доступний с <http://www.alta-pr.all.biz>.

**Коваль А.М., Гуліда Э.Н. Математическая модель определения необходимого количества противопожарных средств в помещениях цехов деревообрабатывающих предприятий**

Разработаны математическая модель и методология для определения пожарного риска для помещений цехов деревообрабатывающих предприятий, на основании которых возможно определять мероприятия и необходимые противопожарные средства 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 очень важно для обеспечения возможности быстрого реагирования в случае возникновения пожара.

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

**Koval O.M., Hulida Ye.M. A Mathematical Model for Determining the Required Number of Firefighting Equipment in the Premises of Shops of Woodworking Companies**

The mathematical model and the methodology for determining the fire risk premises for shops at wood processing enterprises are made. On its basis it is possible to determine the necessary measures and fire fighting resources in view of the permissible 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, are built. 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 that 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.

УДК 684.4.04

Директор С.М. Кульман, канд. техн. наук –  
НПФ "Компанія ІНТЕРДИЗАЙН"

**ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ МІЦНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ДЕРЕВИНИ**

На основі методів формальної кінетики запропоновано феноменологічну модель міцності композиційних матеріалів на основі деревини. Показано, що багато моделей формальної кінетики створені на основі рівняння Арреніуса. На підставі результатів попередніх досліджень міцності та довговічності з'ясовано, що принцип суперпозиції, у першому наближенні, може бути застосовано під час створення феноменологічної моделі, яка враховує вплив температури і вологості, та їх взаємодію на межу міцності та модуль пружності. Доведено, що саме нелінійні ефекти у реакції твердих тіл на зовнішній дії призводять до особливостей їхнього деформування і руйнування.

**Ключові слова:** межа міцності, модуль пружності, довговічність, рівняння Арреніуса.

**Актуальність роботи, короткий опис питання.** Методи та моделі прогнозування тривалої міцності дають змогу за допомогою обчислювального експерименту отримувати результати, близькі до експериментальних тільки у разі, якщо вони враховують найбільш важливі фактори, що впливають на граничний стан матеріалу під час його експлуатації. Під час тривалої експлуатації композиційні матеріали на основі деревини постійно піддаються термо-волого-силовим навантаженням. Ці зовнішні впливи найчастіше пов'язані як із зовнішнім навантаженням, так і з річними та добовими циклічними змінами температури та вологості навколишнього середовища.

Феноменологічна модель бере за основу поведінку модельованих об'єктів, як результат дії деякого процесу, суть якого загалом приблизно зрозуміла, але у деталях поки ще не з'ясована. При цьому в модель вводять деякі "постійні", що описують специфіку поведінки об'єкта, з конкретизацією цього об'єкта, але без конкретизації точного сенсу самих "постійних". Феноменологічні моделі дуже часто є зручним прогностичним інструментом, оскільки, з одного боку, кількісно пророкують розвиток подій, а з іншого, не потребують точно-го знання структури та інших особливостей модельованих об'єктів.