

Аналіз роботи запропонованої схеми та програми проводили за допомогою схемного симулятора PROTEUS. Для цього було змодельовано спрощену схему (рис. 5). Проведене моделювання підтвердило функціональність запропонованої схеми та розробленого програмного забезпечення.

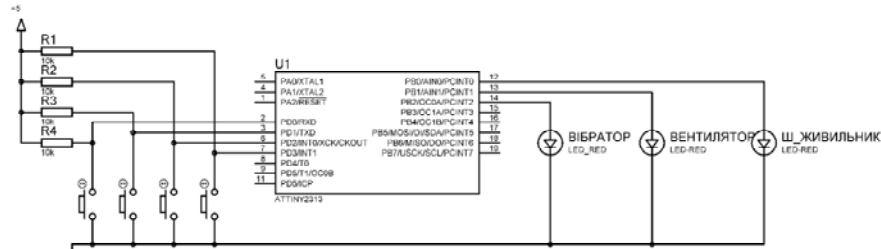


Рис. 5. Схема для моделювання роботи системи у PROTEUS

Запропонована конструкція системи керування фільтрувальною повітроочищувальною системою є дешевою у виготовленні та надійною у роботі. Використання мікроконтролерів забезпечує можливість швидкого перенастроювання системи у разі необхідності. Така система керування є першим кроком до проведення комплексної автоматизації процесів аспірації та повітроочищення на деревообробному підприємстві.

Література

1. Лютий С.М. Циклон в деревообробній промисловості : монографія / С.М. Лютий, Ю.Р. Тисовський, Ю.Р. Дадак, А.В. Ляшенко. – Львів : Ред. журн. "Український пасічник", 2009. – 148 с.
2. Шостак В.В. Аналіз роботи децентралізованої аспіраційної системи для деревообробних верстатів / В.В. Шостак, А.В. Ляшенко, Р.Р. Климаш // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2008. – Вип. 34. – С. 153-158.
3. Климаш Р.Р. Обґрунтування параметрів децентралізованої аспіраційної системи для деревообробних верстатів : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Машини для земляних та дорожніх робіт" / Р.Р. Климаш. – Львів, 2011. – 165 с.
4. Ляшенко А.В. Застосування циклонів на підприємствах деревообробної галузі / А.В. Ляшенко, Л.М. Дорундяк, Ю.Р. Дадак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.14. – С. 122-127.

Ляшенко А.В., Тисовський Л.О., Дорундяк Л.М., Дадак Ю.Р. Автоматическая система управления фильтровочной воздухоочистительной станцией

Отражены основные подходы к аспирации воздуха от технологического оборудования на деревообрабатывающих предприятиях. Обоснованы основные функции системы управления аспирационно-воздухоочистительными системами и системами перекачивания отходов. Предложена схема такой системы и программное обеспечение для ее функционирования.

Ключевые слова: аспирационные системы, циклон, фильтровочная станция, древесная пыль.

Lyashenyk A.V., Tysovs'kyu L.O., Dorundyak L.M., Dadak Yu.R. Automatic control system of the dedusting system

This article describes the main approaches to the aspiration of air from process equipment for woodworking plants. Grounded the basic functions of aspiration systems and pumping of waste. Developed the scheme of the system of control and software for its operation.

Keywords: aspiration, cyclone, filtration plant, wood dust.

УДК 614.843(075.32)

Ад'юнкт І.В. Паснак¹ –

Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

ВПЛИВ КРИТИЧНОГО ЧАСУ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ТЕХНОЛОГІЇ ЇЇ ЛІКВІДАЦІЇ

Скориставшись рівнянням матеріального балансу пожежі, розроблено інтегральну математичну модель для прогнозування критичного часу пожежі в закритому приміщенні за умови досягнення гранично допустимих для людини значень небезпечних факторів пожежі. Отримана модель дає змогу прогнозувати сумарний критичний час пожежі, що є ключовим питанням, наприклад, при розв'язуванні задачі забезпечення евакуації людей у разі виникнення пожежі чи подачі перших стволів на її гасіння. На підставі моделі розглянуто прогнозування критичного часу пожежі для промислового підприємства та обґрунтовано необхідність розроблення нових методів технології ліквідації пожежі на об'єктах промисловості.

Ключові слова: пожежа, критичний час пожежі, концентрація кисню, концентрація токсичних газів, площа пожежі, ліквідація пожежі.

Сучасний стан проблеми. В сучасних умовах розвитку людства пошук та розроблення економічно-оптимальних протипожежних заходів неможливі без науково обґрунтованого прогнозу динаміки небезпечних факторів пожежі.

Щорічно в Україні виникає понад 60 тис. пожеж [8]. Більшість з них трапляється у житловому секторі (80%), однак найбільших збитків та матеріальних втрат завдають пожежі на промислових підприємствах, яких щорічно виникає понад 2 тис. Величезні збитки від цих пожеж (близько 42% від загальної кількості) зумовлюють значним часом вільного розвитку пожежі, адже середньостатистичний час прибуття підрозділів до місця виклику по Україні становить понад 30 хв. (для прикладу, в Німеччині вказаний час становить 12,5 хв., у Словаччині – 15-20 хв.). Сьогодні в Україні функціонує 1154 пожежно-рятувальних підрозділів. Однак ця кількість підрозділів, і, як наслідок, – кількість пожежної техніки та особового складу зовсім не відповідають сучасним вимогам належного захисту об'єктів від пожеж. Також не проводять ліквідації пожежі на початковій стадії її розвитку силами ДПД об'єкта. Для прикладу, в Польщі у Підкарпатському воєводстві функціонує 161 добровільна пожежна команда, що має на озброєнні сучасну протипожежну техніку, спорядження та засоби зв'язку [9]. Тому, для обґрунтування необхідності розроблення нових методів технології ліквідації пожежі на об'єктах промисловості розглянемо її розвиток в приміщенні промислового підприємства.

Згідно з [3], небезпечними чинниками пожежі, котрі мають вплив на людей та матеріальні цінності, є: полум'я та іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння та термічного розкладу, дим, знижена концентрація кисню в повітрі. Також не варто забувати про вторинні прояви небезпечних чинників пожежі, а саме: осколки, частини зруйнованих апаратів та установок, агрегатів та конструкцій; радіоактивні та токсичні речовини і матеріали зі зруйнованих апаратів та установок; електричний струм; небезпечні чинники можливого вибуху та вогнегасні речовини тощо.

Для моделювання пожежі в приміщенні важливим питанням є розрахунок критичного часу пожежі, що є ключовим питанням, наприклад, під час

¹ Наук. керівник: доц. О.Е. Васильєва, канд. техн. наук

розв'язування задачі забезпечення евакуації людей у разі виникнення пожежі чи подачі перших стволів на її гасіння. Розглянемо можливість прогнозування критичного часу пожежі [3] по досягненні гранично допустимих для людини значень небезпечних факторів пожежі.

Розглянемо інтегральну математичну модель пожежі в приміщенні. Згідно з [2], така модель пожежі описує в загальному вигляді процес зміни в часі стану газового середовища в приміщенні, в якому, власне, пожежа виникає та розвивається. Інтегральна модель дає змогу отримати інформацію, тобто здійснити прогнозування середніх значень стану середовища в приміщенні, де виникла пожежа, в будь-який момент її розвитку. У роботі [5] розглянуто прогнозування величини оптичної густини диму під час пожежі в приміщенні з використанням інтегральної моделі та обґрунтовано доцільність її застосування для прогнозування небезпечних чинників пожежі. Тому, для прогнозування критичного часу пожежі в приміщенні, скористаємось інтегральною моделлю.

Мета роботи. Обґрунтувати необхідність розроблення нових методів технології ліквідації пожежі на об'єктах промисловості на основі прогнозування критичного часу пожежі в приміщенні промислового підприємства.

Постановка задачі та її розв'язання. Згідно з [2, 4, 5], описати пожежу в приміщенні можна рівнянням матеріального балансу газового середовища, в лівій частині якого описано зміну маси газового середовища за одиницю часу в інтервалі, котрий дорівнює $d\tau$, а в правій частині – суму потоків газових мас:

$$\frac{d(\rho_c V)}{d\tau} = \sum_{\Pi} G_{\Pi} + \psi - \sum_{\Gamma} G_{\Gamma}, \quad (1)$$

де: ρ_c – середньооб'ємна густина газового середовища в приміщенні, кг/м^3 ; V – об'єм приміщення, м^3 ; $\sum_{\Pi} G_{\Pi}$ – витрата повітря, яке надходить з зов-

нішнього середовища до приміщення в певний момент часу розвитку пожежі, кг/с ; ψ – швидкість вигорання матеріалу в певний момент часу розвитку, кг/с ; $\sum_{\Gamma} G_{\Gamma}$ – витрати газів, котрі видаляються з приміщення через прорізи в пев-

ний момент часу розвитку пожежі, кг/с . Згідно з [3], критичним часом пожежі є час досягнення гранично допустимих для людини значень небезпечних факторів пожежі (табл. 1) в зоні перебування людей.

Табл. 1. Гранично допустимі значення небезпечних факторів пожежі [2]

Небезпечний фактор пожежі	Гранично допустиме значення
Температура, °C	70
Густина, кг/м^3 кисню O_2	0,226
оксиду вуглецю CO	0,00116
вуглекислого газу CO_2	0,11
хлористого водню HCl	$23 \cdot 10^{-6}$
Оптична густина диму, $\text{Непер} \cdot \text{м}^{-1}$	$2,38 \cdot l_{гдв}^*$

Примітка: * $l_{гдв}$ – гранично допустима дальність видимості, м.

З розвитком пожежі змінюється стан середовища, що заповнює приміщення, відповідно, змінюються середні параметри стану – температура, концентрація кисню та токсичних газів, дальність видимості. Зазвичай, на початковій

стадії розвитку пожежі в приміщеннях немає прорізів для надходження свіжого повітря ззовні. Характерною особливістю цієї стадії є односторонній газообмін, тобто виштовхування газів через малі отвори та щілини. Тобто, можна стверджувати, що рівняння (1) набуде вигляду

$$\frac{d(\rho_c V)}{d\tau} = \psi - \sum_{\Gamma} G_{\Gamma}. \quad (2)$$

Якщо взяти до уваги, що приміщення, де виникає пожежа, не є абсолютно герметичним, а, отже, середній тиск середовища в приміщенні p_0 залишається практично сталим та майже дорівнює тиску ззовні приміщення. Отже, з достатньою точністю можна прийняти, що

$$\frac{d\rho_c}{d\tau} \approx 0; \quad \rho_c T_c = T_0 \rho_0, \quad (3)$$

де: ρ_c , T_c – середнє значення густини та температури повітря всередині приміщення на початковій стадії пожежі; ρ_0 , T_0 – густина та температура повітря всередині приміщення перед початком пожежі.

Інтервал часу, протягом якого відбувається односторонній газообмін, є відносно малим (10-15 хв). При більшому часі температура в приміщенні зростає, що призводить, наприклад, до руйнування скління віконних прорізів (400-450 °C) і відбувається двосторонній газообмін [2]. Тому, прийемо, що коефіцієнт повноти згорання η та об'єм приміщення V залишаються незмінними. Припустимо, що ізобарна теплоємність c_p буде дорівнювати ізобарній теплоємності c_{p0} перед початком пожежі ($c_p = c_{p0} = \text{const}$). Також врахуємо частину теплового потоку, яка переходить в огорожу

$$Q_{OG} = \varphi Q_{\Pi} = \varphi \eta \psi Q_{\min}, \quad (4)$$

де: Q_{OG} – сумарний тепловий потік, який переходить в огорожувальні конструкції (стіни, стелю, підлогу), Вт; φ – коефіцієнт теплопоглинання [3]; Q_{Π} – швидкість тепловиділення в зоні полум'я осередку пожежі, Вт; Q_{\min} – найнижча теплота згорання горючої речовини, Дж/кг.

Враховавши сказане, рівняння пожежі для початкової стадії можна записати:

$$V \frac{d\rho_1}{d\tau} = -\psi L_1 \eta - \frac{\rho_1}{\rho_c} G_{\Gamma}, \quad (5)$$

де: ρ_1 – середньооб'ємна парціальна густина кисню, кг/м^3 ; L_1 – стехіометричний коефіцієнт, який визначає кількість кисню, необхідну для згорання 1 кг горючого матеріалу [2].

Рівняння енергії пожежі матиме вигляд:

$$\psi Q_{\min} \eta - c_p T_c G_{\Gamma} - Q_{OG} = 0. \quad (6)$$

Скориставшись рівнянням (6) з урахуванням (3) і (4) знайдемо залежність для визначення розходу виштовхуваних газів в певний момент часу

$$G_{\Gamma} = \frac{\psi Q_{\min} \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0} \rho_c. \quad (7)$$

Враховуючи (7) рівняння (5), можна записати

$$V \frac{d\rho_1}{d\tau} = -\psi L_1 \eta \left[1 + \frac{Q_{\min}(1-\varphi)}{c_p \rho_0 T_0 L_1} \rho_1 \right]. \quad (8)$$

Після інтегрування рівняння (8) та підстановки в залежність початкової ρ_{01} та критичної середньої парціальної густини кисню $\rho_{1кр}$, знайдемо критичний час пожежі за умови досягнення концентрації кисню в приміщенні гранично допустимого значення. Увівши заміну

$$E = \frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1-\varphi) Q_{\min}}, \quad (9)$$

отримаємо залежність для розрахунку критичного часу пожежі за концентрацією кисню

$$\tau_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{c_p \rho_0 T_0 V}{\eta(1-\varphi) Q_{\min} \cdot A} \ln \left[\frac{E + \rho_{01}}{E + \rho_{1кр}} \right] \right\}^{1/n}, \quad (10)$$

де: c_p – ізобарна теплоємність газового середовища в приміщенні ($\approx 10^3$ Дж·кг⁻¹·К⁻¹); $\rho_0 T_0 \approx 3 \cdot 10^2$ кг·м⁻³·К; V – об'єм приміщення (вільний), м³; $\eta \approx 1$ – коефіцієнт повноти згоряння; $\varphi \approx 0,5$ – коефіцієнт тепловтрат [3]; Q_{\min} – теплота згоряння горючої речовини (з додатку 4 [3]); ρ_{01} – початкове значення густини кисню в приміщенні, кг/м³ ($\rho_{01} = 0,27$ кг/м³ [3]); $\rho_{1кр}$ – критична середньооб'ємна парціальна густина кисню, кг/м³ ($\rho_{1кр} = 0,226$ кг/м³ [2]).

Також не варто забувати, що під час пожежі виділяються різноманітні токсичні гази, що становлять небезпеку для людини – вуглекислий газ CO_2 , оксид вуглецю CO , хлористий водень HCl , оксиди азоту NO_x , синильна кислота HCN , акролеїн тощо. Дані про виділення токсичних газів під час горіння різноманітних речовин наведено в [2]. Тому, аналогічно, скориставшись рівнянням матеріального балансу пожежі [1] та урахуванням значення критичної середньої парціальної густини токсичного газу $\rho_{2кр}$, отримано залежність для визначення критичного часу пожежі за умови досягнення концентрації токсичного газу в приміщенні гранично допустимого значення

$$\tau_{кр}^{m.z.} = \left\{ \frac{c_p \rho_0 T_0 V}{\eta(1-\varphi) Q_{\min} \cdot A} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{(1-\varphi) Q_{\min}}{c_p \rho_0 T_0 L_2} \rho_{2кр}} \right] \right\}^{1/n}, \quad (11)$$

де L_2 – стехіометричний коефіцієнт для продукту горіння (кількість продукту горіння, що утворюється при згорянні одиниці маси горючої речовини), кг/кг [2].

Значення коефіцієнта A визначаємо для різноманітних умов розвитку пожежі за такими залежностями:

- за кругової пожежі класу А [2]:

$$A = \frac{\pi}{3} \psi_{num} \cdot v_n^2, \quad (12)$$

- при прямокутній пожежі класу А [2]:

$$A = \frac{1}{2} b_{\Gamma} \psi_{num} \cdot v_n, \quad (13)$$

- для пожежі класу В:

$$A = \frac{2}{3} S_{\Gamma} \psi_{num} \frac{1}{\sqrt{\tau_{cm}}}, \quad (14)$$

де: ψ_{num} – питома масова швидкість вигорання, кг·м⁻²·с⁻¹; v_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м·с⁻¹. У цьому випадку для залежностей (10) і (11) – $n=3$; b_{Γ} – ширина фронту полум'я, м. В цьому випадку для залежностей (10) і (11) $n=2$; S_{Γ} – площа горючої рідини, м²; τ_{cm} – час стабілізації горіння рідини. У цьому випадку для залежностей (10) і (11) $n=1$.

Однак отриманий критичний час пожежі характеризує лише проміжок часу від моменту стабілізації горіння рідини на певній площі до моменту досягнення гранично допустимих для людини значень небезпечних факторів пожежі та не враховує час розливу рідини на певну площу її горіння. Тоді сумарний критичний час пожежі можна визначити за залежністю

$$\tau_{кр}^{пож.} = \tau_{розл.} + \tau_{кр}^{O_2, m.z.}, \quad (15)$$

де $\tau_{розл.}$ – час розливу рідини на площу її горіння S_{Γ} .

Розрахунок значення $\tau_{розл.}$ здійснюємо за методиками [12-14] з урахуванням властивостей рідини, що розливається, та специфіки самого процесу розливу. Встановлення критичного часу пожежі виконуємо на підставі залежностей (10), (11) та (15) з визначенням відповідних площ пожежі. Критичним приймаємо час тривалості пожежі по досягненні хоча б одним з небезпечних факторів пожежі (табл. 1) в зоні перебування людей свого гранично допустимого для людини значення. Залежно від особливостей розвитку пожежі, її параметрів, критичний час пожежі в приміщенні може змінюватися. Як проходить ця зміна, розглянемо на прикладі.

Приклад. Пожежа виникла в приміщенні мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) цеху, площею 138,6 м², промислового підприємства (вишкоремонтного цеху Прикарпатського управління бурових робіт, половина уніфікованої типової секції [6]). Вільний об'єм цеху, враховуючи [6], становить 46621 м³. Пожежне навантаження становлять мастильно-охолоджувальні рідини, які використовують в технологічному процесі виготовлення деталей, а саме: емульсор [1], сульфозфрезол (склад: веретенне мастило – 80 %, нігрол – 18 %, сірка – 2 %) [77], веретенне мастило [1] тощо. Їх кількість залежить від потреб виробництва. Розглянемо питання розвитку пожежі класу В, під час якої горітимуть сульфозфрезол та веретенне мастило. Необхідно встановити значення сумарного критичного часу розвитку пожежі класу В у приміщенні.

Розв'язок. Розглянемо пожежу, що виникає в приміщенні МОР (пожежа класу В) внаслідок розливу сульфозфрезолу на певну площу.

Спочатку розрахуємо площу розливу сульфозфрезолу за певний час (1 с, 5 с, 10 с, 20 с, 30 с, 50 с, 70 с та розливу по всій площі приміщення), скориставшись методиками [12-14]. Вважатимемо, що розлив відбувається внаслідок перекидання бочки та від'єднання корка. Тоді витрата становитиме [12]:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (16)$$

де: μ – коефіцієнт витрати [13]; ω – площа перерізу отвору, m^2 ; g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ; H – напір перед отвором, м. Результати розрахунків наведено у вигляді графічної залежності рис. 1.

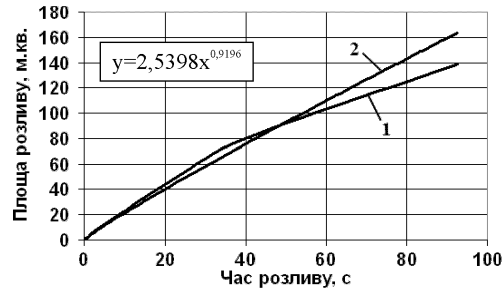


Рис. 1. Залежність площі розливу сульфифрезолу від часу, протягом якого відбувається розлив: 1) залежність площі розливу сульфифрезолу від часу; 2) лінія тренду

Використовуючи програмний пакет Microsoft Excel та наклавши на графічну залежність (рис. 1) лінію тренду, отримуємо рівняння для визначення площі розливу (площу пожежі) сульфифрезолу за певний час

$$S_{розл.} = 2,5398t_{розл.}^{0,9196} \quad (17)$$

Аналогічно отримано рівняння для визначення часу розливу сульфифрезолу на певну площу

$$t_{розл.} = 0,367S_{розл.}^{1,0835} \quad (18)$$

Знайдемо площу розливу сульфифрезолу з бочки за 1 с.

$$S_{розл.} = 2,5398 \cdot 1^{0,9196} = 2,54 \text{ м}^2.$$

Результати розрахунків запишемо до табл. 2.

Знайдемо значення коефіцієнта E за залежністю (9). Вихідні дані для розрахунку візьмемо з додатків [2, 3].

$$E = \frac{10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot (-0,282)}{(1-0,5) \cdot 41870 \cdot 10^3} = -0,00404.$$

На першому етапі розглянемо пожежу внаслідок розливу сульфифрезолу за 1 с. Знайдемо коефіцієнт A за залежністю (13). Приймемо, що час стабілізації горіння дорівнює часу розливу сульфифрезолу

$$A = \frac{2}{3} \cdot 2,54 \cdot 0,03 \cdot \frac{1}{\sqrt{1}} = 0,0508.$$

Використавши значення критичної середньої парціальної густини кисню $\rho_{l_{кр}} = 0,226 \text{ кг/м}^3$ (табл. 1), знайдемо критичний час пожежі внаслідок розливу сульфифрезолу за 1 с за умови досягнення концентрації кисню в приміщенні свого гранично допустимого значення

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 46621}{1(1-0,5) \cdot 41870 \cdot 10^3 \cdot 0,0508} \ln \left[\frac{-0,00404 + 0,27}{-0,00404 + 0,226} \right] \right\}^{1/1} = 2371,1 \text{ с.}$$

Аналогічно визначаємо критичний час пожежі $t_{кр}^{CO_2}$ внаслідок розливу сульфифрезолу в межах від 5 с до 77,4 с. Результати розрахунків записуємо в табл. 2. Згідно з [2], горіння сульфифрезолу супроводжується виділенням вуглекислого газу CO_2 та оксиду вуглецю CO , тому, використавши значення критичної середньої парціальної густини $\rho_{CO_2} = 0,11 \text{ кг/м}^3$ та $\rho_{CO} = 0,00116 \text{ кг/м}^3$, знайдемо критичний час пожежі в цеху за умови досягнення гранично допустимого значення концентрації цих токсичних газів $t_{кр}^{CO_2}$ та $t_{кр}^{CO}$, використавши залежність (11). Результати розрахунків зводимо до табл. 2.

Табл. 2. Визначення сумарного критичного часу пожежі класу В у приміщенні вишкорементного цеху Прикарпатського управління бурових робіт

Час розливу $t_{розл.}$, с	Площа розливу (площа пожежі), m^2	Критичний час пожежі, с			Сумарний критичний час пожежі (15), с
		$t_{кр}^{O_2}$	$t_{кр}^{CO_2}$	$t_{кр}^{CO}$	
1	2,54	2371,1	30236,2	14323,8	2372,1
5	11,16	1206,7	15388,0	7289,8	1211,7
10	21,10	902,6	11510,1	5452,7	912,6
20	39,92	674,7	8603,7	4075,8	694,7
30	57,96	569,1	7257,6	3438,2	599,1
50	92,72	459,3	5856,9	2774,6	509,3
70	126,34	398,8	5085,9	2409,4	468,8
77,4	138,60	382,3	4874,9	2309,4	459,7

Для адекватності оцінки критичного часу пожежі врахуємо також значення оптичної густини диму в приміщенні вишкорементного цеху за зазначених умов, скориставшись методикою [5]. Модель для визначення оптичної густини диму має вигляд:

$$\mu = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{\eta(1-\varphi) Q_{min}} \left[1 - \exp \left(- \frac{\psi_{num} S_T \eta Q_{min} (1-\varphi) \tau}{c_p \rho_0 T_0 V} \right) \right] \quad (19)$$

На момент настання сумарного критичного часу пожежі внаслідок розливу сульфифрезолу за 1 с матимемо

$$\mu = \frac{10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 243}{1(1-0,5) \cdot 41870 \cdot 10^3} \left[1 - \exp \left(- \frac{0,03 \cdot 2,54 \cdot 1 \cdot 41870 \cdot 10^3 (1-0,5)}{10^3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 46621} \cdot 2372,1 \right) \right] = 0,825 \text{ Нп/м.}$$

На момент настання сумарного критичного часу пожежі внаслідок розливу сульфифрезолу по всій площі приміщення МОР оптична густина диму становитиме $\mu = 3,283 \text{ Нп/м}$, а, згідно з [5], гранична видимість в диму $l_{гр}$ становитиме 0,7-0,8 м. Тому, в цьому випадку для евакуації людей та проведення оперативних дій необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання та зору.

Як видно з табл. 2, у всіх випадках критичний час пожежі у приміщенні вишкорементного цеху настає за умови досягнення концентрації кисню в приміщенні свого гранично допустимого значення. Після визначення значень сумарного критичного часу пожежі в цеху на основі (15) будемо графічну залежність (рис. 2), за допомогою якої можна зробити аналіз отриманих результатів прогнозу.

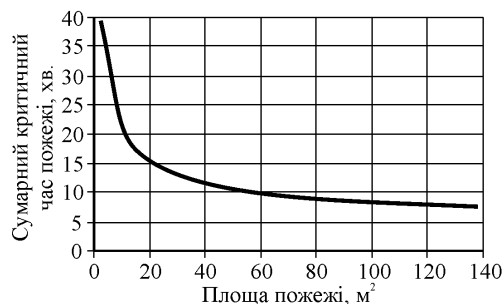


Рис. 2. Вплив площі пожежі класу В на її сумарний критичний час у приміщенні вищоремонтного цеху Прикарпатського управління бурових робіт

Результати аналізу показують, що доцільніше визначати тільки критичний час пожежі за умови досягнення в приміщенні концентрації кисню свого гранично допустимого значення, тобто $\rho O_2=0,226 \text{ кг/м}^3$. Також встановлено, що після розливу сульфозфрезолу по всьому приміщенні МОР на площу $138,6 \text{ м}^2$ критичний час пожежі перебуває в межах 7-8 хв. Це спонукає до пошуку напрямів зменшення часу вільного розвитку пожежі.

З рис. 2. видно, що сумарний критичний час пожежі значно менший, ніж середньостатистичний час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику по Україні. Одним з основних напрямків швидкої ліквідації пожежі є зменшення інтервалу часу до подачі перших стволів на гасіння пожежі за рахунок оперативності прибуття до місця пожежі. З цією метою у ЛДУ БЖД було розроблено та поставлено для використання до ДПД Прикарпатського управління бурових робіт багатофункціональний пожежний причіп [10], рис 3.

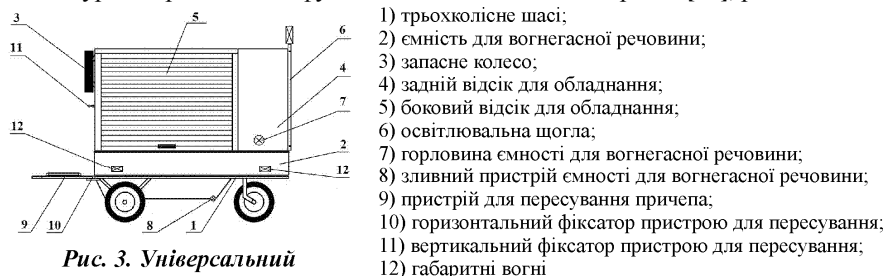


Рис. 3. Універсальний багатофункціональний пожежний причіп:

Робота багатофункціонального причепа полягає в можливості його експлуатації з квадроциклом, мотоциклом та вручну, оскільки його ширина не перевищує ширину керма вказаних транспортних засобів, що дає змогу здійснювати рух по пішохідних тротуарах під час заторів у процесі переміщення. Пожежогасіння може здійснюватися як від зовнішніх джерел води, так і від вбудованої ємності за допомогою пожежно-рятувального обладнання, яким причіп комплектується залежно від специфіки об'єкта. За допомогою освітлювальної щогли в нічний час здійснюється освітлення місця проведення оперативних дій. Внаслідок таких можливостей підвищується маневреність та прохідність причепа, що приводить до зменшення часу вільного розвитку пожежі.

У нашому випадку середній час доїзду причепа від боксів до цеху, в якому виникла пожежа, становить приблизно 2 хв.

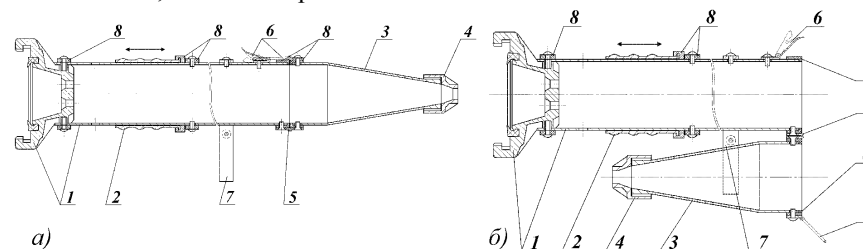


Рис. 4. Ствол комбінованої подачі компактного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності: а) положення для подачі суцільного струменя води; б) положення для подачі повітряно-механічної піни низької кратності: 1) корпус (ствол повітряно-пінного типу СПП); 2) трубчаста заглушка; 3) конусоподібна частина; 4) змінна насадка; 5) рухомий шарнір; 6) кріплення для з'єднання корпусу та конусоподібної частини; 7) підтримуючий хомут; 8) ущільнювачі

Для комплектації багатофункціонального причепа пропонується комбінований водопінний ствол [11], рис. 4, особливістю якого є можливість переходу від подачі суцільного струменя води до подачі повітряно-механічної піни низької кратності та навпаки з забезпеченням кращих параметрів порівняно з існуючими стволами.

Робота ствола комбінованої подачі полягає в можливості швидкого переходу від подачі компактного струменя води до подачі повітряно-механічної піни низької кратності та навпаки. Внаслідок такої можливості досягається зменшення часу гасіння у разі необхідності зміни подачі типу вогнегасної речовини. Цей ствол забезпечує подачу суцільного струменя води на відстань 28-30 м, а повітряно-механічної піни – на відстань 20-25 м.

Для порівняння запропонованої технології ліквідації пожежі розглянемо ліквідацію пожежі у вищоремонтному цеху силами підрозділів оперативно-рятувальної служби МНС України та ДПД об'єкта. Відстань до найближчого пожежно-рятувального підрозділу становить 2930 м. Розглянемо складові часу вільного розвитку пожежі в обох випадках за умови необхідності зміни типу вогнегасної речовини. Час вільного розвитку пожежі буде

$$\tau_{в.р.} = \tau_{дл.} + \tau_{оп.} + \tau_{зал.} + \tau_{зб.} + \tau_{сл.} + \tau_{о.р.} + \sum_{i=1}^n \tau_i^{3M}, \text{ хв.}, \quad (20)$$

де: $\tau_{дл.}$ – проміжок часу від початку виникнення пожежі до повідомлення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ (залежить від багатьох факторів); $\tau_{оп.}$ – час на отримання та опрацювання повідомлення про пожежу (1 хв., тут і далі значення згідно нормативних даних); $\tau_{зал.}$ – час залучення сил та засобів оперативно-рятувальної служби для ліквідації пожежі (3 хв.); $\tau_{зб.}$ – час збирання та виїзду особового складу (1 хв.); $\tau_{сл.}$ – час прямування підрозділу до місця виклику

$$\tau_{сл.} = 60 \frac{L}{V_{сл.}}, \text{ хв.}, \quad (21)$$

де: L – відстань від пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику, км; $V_{сл.}$ – середня швидкість руху пожежних автомобілів (приймається 45 км/год на широких вулицях з твердим покриттям та 25 км/год на складних ділянках); $\tau_{оп.}$ – час оперативного розгортання підрозділів, що прибули до місця виклику (до подачі перших засобів гасіння) (7 хв.); $\tau_n^{зм.}$ – час на заміну пристрою вогнегасної речовини (1-3 хв.).

Приймавши $\tau_{дл.}=1$ хв. та кількість операцій зміни типу вогнегасної речовини 2, матимемо для АЦ-40(130)63Б

$$\tau_{6.p.}^{АЦ} = 1+1+3+1+60 \frac{2,93}{25} + 7 + 2 \cdot 2 = 23,1 \text{ хв.}$$

У випадку ліквідації пожежі за допомогою запропонованого причепа та ствола вдається скоротити кількість складових часу вільного розвитку пожежі – $\tau_{оп.}$, $\tau_{зал.}$, а $\tau_n^{зм.}=0,2$ хв. Тому, у випадку ліквідації пожежі силами ДПД, матимемо

$$\tau_{6.p.}^{ДПД} = \tau_{дл.} + \tau_{зб.} + \tau_{сл.} + \tau_{оп.} + \sum_1^n \tau_n^{зм.}, \text{ хв.} \quad (22)$$

$$\tau_{6.p.}^{ДПД} = 1+1+2+3+2 \cdot 0,2=7,4 \text{ хв.}$$

На підставі отриманих даних визначаємо ефективність зменшення часу вільного розвитку пожежі

$$K_{Е.р.} = \frac{\tau_{6.p.}^{АЦ}}{\tau_{6.p.}^{ДПД}} = \frac{23,1}{7,4} = 3,12.$$

Як бачимо, час вільного розвитку пожежі у випадку її ліквідації силами оперативно-рятувальної служби значно перевищує критичний час пожежі на підприємстві. Водночас, завдяки застосуванню на гасіння пожежі впроваджених нових технічних засобів вдається забезпечити подачу перших стволів до настання критичного часу пожежі.

Висновки:

1. Розроблено інтегральну математичну модель прогнозування часу критичної тривалості пожежі в закритому приміщенні за умови досягнення гранично допустимих для людини значень небезпечних факторів пожежі під час одностороннього газообміну.
2. На основі прогнозування критичного часу пожежі в приміщенні промислового підприємства обґрунтовано необхідність розроблення нових методів технології ліквідації пожежі на об'єктах промисловості.
3. Встановлено, що застосування запропонованого методу пожежогасіння силами ДПД об'єкта з використанням нового багатофункціонального пожежного причепа та комбінованого ствола забезпечує скорочення часу вільного розвитку пожежі з 7,4 хв. до 23,1 хв. (в 3,12 раза) порівняно з залученням АЦ-40(130)63Б оперативно-рятувальної служби МНС України.
4. Встановлено, що після розливу сульфозолу по всьому приміщенні МОР критичний час розвитку пожежі настає через 7,7 хв. Це спонукає для пошуку напрямів зменшення часу вільного розвитку пожежі.

5. Необхідно продовжити наукову роботу в цьому напрямку для отримання залежностей для прогнозування часу критичної тривалості пожежі в закритому приміщенні за двостороннього процесу газообміну.

Література

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. – Изд. в 2 кн. / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М. : Изд-во "Химия", 1990. – 236 с.
2. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебн. пособ. / Ю.А. Кошмаров. – М. : Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
3. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 31 с.
4. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
5. Гуліда Е.М. Прогнозування величини оптичної густини диму при пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда // Пожежна безпека : зб. наук. праць – Львів : Вид-во ЛДУБЖД, 2011. – № 18. – С. 66-70.
6. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні : підручник / М.С. Когут. – Львів : Вид-во ДУ "Львівська політехніка", 2000. – 352 с.
7. Гуліда Э.Н. Теория резания металлов, металлорежущие станки и инструменты / Э.Н. Гуліда. – Львов : Изд-во "Выща шк.", 1976. – 334 с.
8. Стан із пожежами та їх наслідками в Україні за 2011 рік. – К. : Вид-во УкрНДІЦЗ, 2012. – 19 с.
9. Болібрux Б.В. Нормативно-правові аспекти створення та функціонування пожежно-рятувальних підрозділів МНС в населених пунктах України / Б.В. Болібрux, Н.Б. Болібрux // Пожежна безпека – 2011 : матер. X Міжнар. наук.-практ. конф., 17-18 листопада 2011 р. – Харків : Вид-во НУЦЗ України, 2011. – С. 27-28.
10. Пат. 63299 Україна, МПК (2011.01), А62С 27/00. Багатофункціональний пожежний причіп / І.В. Паснак, О.Е. Васильєва, Е.М. Гуліда, П.М. Гашук, А.Г. Ренкас, І.О. Мовчан. № 2011 01338; заявл. 07.02.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
11. Пат. 57620 Україна, МПК (2011.01), А62С 31/00. Ствол комбінованої подачі компактного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності / О.Е. Васильєва, І.В. Паснак. № 2010 08728; заявл. 13.07.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.
12. Лаврівський З.В. Технічна механіка рідин та газів / З.В. Лаврівський, В.І. Мандрус. – Львів : Вид-во "Сполом", 2004. – 200 с.
13. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. – Изд. 4-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1992. – 672 с.
14. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою, затв. Наказом МНС від 03.12.2007 р., № 833.

Паснак І.В. Влияние критического времени пожара в здании промышленного предприятия на технологии ее ликвидации

Воспользовавшись уравнением материального баланса пожара, была разработана интегральная математическая модель для прогнозирования критического времени пожара в закрытом помещении при достижении предельно допустимых для человека значений опасных факторов пожара. Полученная модель позволяет прогнозировать суммарное критическое время пожара, что является ключевым вопросом, например, при решении задачи обеспечения эвакуации людей при возникновении пожара или подачи первых стволов на его тушение. На основании модели рассмотрено прогнозирование критического времени пожара для промышленного предприятия и обоснована необходимость разработки новых методов технологии ликвидации пожара на объектах промышленности.

Ключевые слова: пожар, критическое время пожара, концентрация кислорода, концентрация токсичных газов, площадь пожара, ликвидация пожара.

Pasnak I.V. Influence of critical time of fire in buildings of industrial enterprises on technologies of its liquidation

Integrated mathematical model for prediction of critical time of the fire in building considering a limit value for human hazards of fire was developed by using an equation of material balance of fire. This model allows to predict the total critical fire, a key issue, for example, to solve the problem of evacuation in case of fire or supplying a pump in fire extinguishing. Based on the model prediction of a critical time for fire in industrial enterprise and the necessity of developing new methods of fire extinguishing technologies for industry facilities are considered.

Keywords: fire, critical fire, oxygen concentration, the concentration of toxic gases, area of fire, fire extinguishing.

УДК 62-5

Аснір. Д.П. Ребот¹ – НУ "Львівська політехніка"

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИПКИХ СЕРЕДОВИЩ

Розроблено методику визначення основних фізико-механічних характеристик сипкого середовища. Вона базується на: а) представленні фізичної моделі середовища під час віброоброблення виробів у вигляді нашарування плоских балок; б) побудові адекватної математичної моделі динамічного процесу; в) використанні Ateb-функцій під час аналітичного опису динамічного процесу; г) зіставленні теоретичних та експериментальних результатів.

Актуальність. Вібраційне об'ємне оброблення широко застосовують в різних галузях промисловості. Його використовують на фінішному обробленні виробів для механічного чи механо-хімічного знімання часточок металу з поверхні, зміцнення останніх шляхом наклепу, підвищення корозостійкості та ін., відділення частинок різних розмірів, густини (збагачення руд – вібросепарація – первинне оброблення), а також і для вібросепарації сипких середовищ. У переважній більшості під час дослідження впливу різних чинників на вказані вібропроцеси використовують експериментальні дослідження. Це є довготривалою та дорогозатратною процедурою. До того ж на базі експериментальних досліджень можна зробити узагальнюючі висновки, які стосуються однотипних за структурою та фізико-механічними властивостями матеріалів, незмінним технологічним процесом та ін. Щодо теоретичних досліджень, які стосуються вказаних задач, то вони не набули належного розвитку через складність описання динамічних явищ, які супроводжують процес віброоброблення чи сепарації. Саме математичні моделі цих процесів можуть найбільш повно урахувати весь комплекс зовнішніх та внутрішніх чинників, які впливають на нього. Ці чинники умовно можна поділити на зовнішні та внутрішні. До основних зовнішніх чинників можна віднести: компонування та характеристики віброзбудника, контейнера, його підвіска тощо. До внутрішніх – структура та фізико-механічні властивості середовища, його взаємодія із контейнером та ін. Щодо впливу зовнішніх чинників, та найпростіших моделей середовищ, низку теоретичних та прикладних задач, пов'язаних із віброобробленням, розглянуто, наприклад, у [3-13]. У цих працях, для математичного моделювання динаміки сипкого середо-

вища розвинуто основну ідею роботи [2]. Її суть полягає у такому: в процесі віброоброблення сипке середовище можна моделювати як нашарування плоских балок, що взаємодіють із стінками контейнера. Тут розглянуто різні математичні моделі сипких середовищ [3, 12] (лінійну та нелінійну). Це дало змогу проаналізувати вплив динаміки середовища на технологічний процес за умов, що основні характеристики сипкого середовища є відомими. Проте, у межах запропонованих моделей середовищ, є низка параметрів, значень котрих не наведено у довідниковій літературі, а механізм їх знаходження не описаний. Йдеться передусім про "модуль пружності", степінь не лінійності пружних властивостей середовища. Саме ці параметри є базовими відповідних математичних моделей і вони притаманні всім класам споріднених сипких середовищ. Виходячи із наведеного, задача про методику визначення (у межах тієї чи іншої математичної моделі динамічних процесів) основних фізико-механічних характеристик сипких середовищ є: по-перше, підґрунтям для теоретичного та практичного застосування результатів існуючих досліджень [3-13]; по-друге, базою для побудови моделей динамічних процесів середовищ за, наприклад, вертикальних коливань сипкого середовища. Саме ці питання і є предметом розгляду цієї роботи. Звідси і випливає актуальність поставленої задачі.

Постановка задачі. У [12] показано, що у випадку, коли: 1) сипке середовище моделювати у вигляді нашарування плоских балок; 2) динамічні пружні властивості матеріалу сипкого середовища вдається описати узагальненим нелінійним співвідношенням

$$\sigma = E\varepsilon^{\nu+1}, \tag{1}$$

де: σ – нормальне динамічне напруження, ε – "відносна деформація" шару середовища у випадку його поздовжніх коливань, E – динамічний модуль пружності ν – стала, причому $\nu + 1 = (2m + 1) / (2n + 1)$, $m, n = 0, 1, 2, \dots$, диференціальне рівняння вказаних коливань можна привести до вигляду

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \alpha^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^\nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0. \tag{2}$$

У формулі (2) $u(x, t)$ – "пружне" поздовжнє переміщення шару середовища із координатою x в довільний момент часу t , стала α виражається через невідомі характеристики середовища E, ν та густину середовища у вигляді $\alpha^2 = E(\nu + 1) / \rho$, ρ – маса одиниці довжини умовного шару сипкого середовища.

Примітка 1. У вказаній моделі динамічного процесу середовища вважаємо, що динамічні сили тертя є малими і ними можна для першого наближення розв'язку задачі знехтувати. Такі властивості має, наприклад, сипке середовище із скляних кульок.

Отже, задача полягає у розробленні методики для визначення основних динамічних характеристик сипкого середовища, тобто параметрів E та ν . Надалі вважатимемо, що густина сипкого середовища є незмінно, тобто динамічна та статична густини збігаються і є відомою величиною.

Методика розв'язування задачі. В основу визначення основних динамічних параметрів сипкого середовища, математичною моделлю динамічного процесу якого є диференціальне рівняння (2), за крайових умов

¹ Наук. керівник: проф. З.А. Стоцько, д-р техн. наук