

*Е.М. Гуліда, д.т.н., професор, ЛДУБЖД,
О.М. Коваль, к.т.н., докторант, НУЦЗУ*

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОЖЕЖНИХ СИТУАЦІЙ В
ПРИМІЩЕННЯХ БУДІВЕЛЬ
ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**
(представлено д-ром техн. наук Тарасенком О.А.)

Розглянуто процес моделювання пожежних ситуацій розвитку і поширення пожежі в закритих приміщеннях (цехах) будівель деревообробних підприємств з використанням польового методу з програмним забезпеченням FDS. На підставі результатів аналізу моделювання отримані напрями для прогнозування заходів до зменшення площі поширення пожежі за рахунок впровадження на деревообробних підприємствах оперативних добровільних пожежних підрозділів і впровадження в таких приміщеннях протипожежних конструкцій стін, які значно зменшують швидкість поширення пожежі по приміщенню і знижують збитки від пожежі. Розглянута можливість успішної евакуації працюючих при виникненні пожежі. Приведені рекомендації для розміщення місць збору працюючих в цеху для евакуації при виникненні різних пожежних ситуацій.

Ключові слова: пожежа, процес поширення пожежі, польова модель пожежі, критичний час пожежі, евакуація.

Постановка проблеми. Деревообробна промисловість нашої країни займає одно із ведучих місць серед багатьох інших галузей. Ведучою ланкою цієї галузі є деревообробні підприємства, які переробляють деревину і випускають продукцію для потреб народного господарства та продукцію народного вжитку тощо. Дуже часто на цих підприємствах виникають пожежі, які призводять до значних збитків. Наприклад, за даними УкрНДЦЗ тільки за 2011 рік по Україні на деревообробних підприємствах виникло 93 пожежі, що призвело до 3962 тис. грн прямих збитків, які складають 0,5% від загальних прямих збитків всіх пожеж нашої країни за 2011 рік (у 2011 році було зареєстровано 60790 пожеж). За 2012 рік виникло 76 пожеж, що призвело до прямих збитків в розмірі 5421 тис. грн, а тільки за 11 місяців 2013 року – 82 з прямими збитками 3941 тис. грн. На протипожежний захист деревообробних підприємств витрачають суттєві кошти. Крім цього, проводиться одночасно удосконалення протипожежного законодавства. Але потенціальна пожежна безпека дуже часто все-таки не реалізується. Економіка всіх країн відчуває несприятливу дію чинників, які пов'язані зі зростанням кількості пожеж і тяжкістю їх наслідків.

При виникненні пожежі на деревообробному підприємстві необхідно в першу чергу за період критичного часу пожежі евакуювати

всіх працюючих із приміщення та в другу чергу після приїзду пожежно-рятувальних підрозділів виконувати гасіння пожежі. Відомо, що до початку гасіння пожежі існує так званий час вільного розвитку пожежі $\tau_{в.р}$. Цей час можна визначити за залежністю

$$\tau_{в.р} = \tau_{в.в} + \tau_{сп} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз}, \quad (1)$$

де $\tau_{в.в}$ – час з моменту виникнення до моменту виявлення пожежі (на практиці цей час, згідно із рекомендаціями [1], для будівель, які споряджені системою сповіщення та керуванням евакуацією, знаходиться в межах 3...6 хв.); середнє значення $\tau_{в.в} = 4,5$ хв.; $\tau_{сп}$ – час з моменту виявлення пожежі до моменту сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ 3...4 хв. [2] (середнє значення $\tau_{сп} = 3,5$ хв.); $\tau_{о.о}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу; $\tau_{о.о} = 1$ хв. [3]; $\tau_{з.с}$ – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі; $\tau_{з.с} = 3$ хв. (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993); $\tau_{зб}$ – час збору особового складу; $\tau_{зб} = 1$ хв. [3]; $\tau_{сл}$ – середній час слідування на пожежу; $\tau_{сл} = 13,9$ хв. (після статистичної обробки результатів робіт [4, 5] та даних журналу виїздів підрозділів ДПРЧ-3 і ДПРЧ-4 м. Львова за жовтень 2013 року); $\tau_{роз}$ – час оперативного розгортання; $\tau_{роз} = 7$ хв. [2].

На підставі наведених нормативних і статистичних даних можна за залежністю (1) визначити середнє значення часу вільного розвитку пожежі

$$\tau_{в.р} = 4,5 + 3,5 + 1 + 3 + 1 + 13,9 + 7 = 33,9 \text{ хв.}$$

Аналізуючи отриманий результат, можна зробити висновок, що для приміщень деревообробних підприємств така тривалість вільного розвитку пожежі значна і може призвести до значних матеріальних збитків. Безумовно, площа розповсюдження пожежі залежить від її типу та місця виникнення, а також від виду та величини пожежного навантаження, які впливають на швидкість розповсюдження полум'я. Тобто, швидкість розповсюдження пожежі в закритому приміщенні деревообробного підприємства залежить від пожежної ситуації місця її виникнення. Цими питаннями для деревообробних підприємств займалися в ВНДІПЗ (Росія) та в Академії ГПС МНС Росії (м. Москва). Однак результати цих робіт не дають відповіді на можливий розвиток пожежі в залежності від ситуації її виникнення. Тому дуже складно запропонувати необхідні заходи, які б зменшували наслідки від пожежі, що виникають у закритих приміщеннях (цехах) деревообробних підприємств. Тому виникає проблема у визначенні з використанням математичних моделей впливу пожежних ситуацій (особливо місце виникнення пожежі) в закритих цехах деревообробних підприємств на можливе поширення пожежі за час її вільного розвитку та швидкості її розповсюдження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Початком розгляду розвитку та поширення пожеж на деревообробних підприємствах була робота, яка обговорювалася в 1965 році на 10-му Симпозіуму з процесів горіння при пожежах (м. Піттсбург (США)) за результатами досліджень [6]. Механізм поширення пожежі був представлений у вигляді розповсюдження іскор і головешок, що горять та розлітаються під дією конвективної колонки, яка утворюється над осередком пожежі. Цей механізм поширення пожежі на відкритих складах лісоматеріалів розвинуто в кандидатській дисертації М.С. Артем'єва, яка була захищена в 1981 році в м. Москві (ВІПТШ). За результатами робіт П.П. Девлишева та І.О. Іванова [7, 8] отримано емпіричні залежності для визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі по штабелях на складах пиломатеріалів, тобто при розповсюдженні пожежі по деревині.

Заслужують уваги результати експериментальних досліджень, які були отримані у ВНДПЗ (Росія). Був розроблений метод визначення небезпечних чинників пожежі з одночасним встановленням лінійної швидкості поширення полум'я при пожежі для лісопильних цехів I...V ступенів вогнестійкості, для деревообробних цехів, цехів сушки деревини та виробництва фанери, а також для штабелів відкритих складів лісоматеріалів [9]. Отримані результати були значним вкладом у подальший розвиток методів моделювання пожеж, які виникають на деревообробних підприємствах. Такими методами стали інтегральна модель розрахунку тепломасообміну при пожежі в приміщенні та диференціальна (польова) модель, яка базується на використанні диференціальних рівнянь у часткових похідних, що описують просторово-часовий розподіл температур, швидкостей газового середовища в приміщенні, концентрацій компонентів газового середовища тощо. На підставі цих моделей розроблені пакети прикладних програм, за допомогою яких можливо виконувати з використанням комп'ютера дослідження процесів розповсюдження пожежі в приміщенні. Прикладом таких програм є програма FDS, яка розроблена лабораторією будівельних і пожежних досліджень (BFRL) національного інституту стандартів і технологій США [10].

Іншою такою розробкою є програмний комплекс SOFIE [11, 12]. Цей комплекс використовує математичну модель, яка включає: рівняння нерозривності, три рівняння збереження імпульсу уздовж кожної з координат, рівняння збереження енергії, рівняння перенесення для маси пари палива і функції змішення, а також рівняння $k - \varepsilon$ моделі турбулентності з поправкою на вплив природної конвекції. Процес горіння моделювався за допомогою дифузійно-вихрової моделі Магнуссена-Х'єртагера.

У зв'язку з виконанням розрахунку оцінки безпеки евакуації людей (моделювання обмежується початковою стадією пожежі) для обліку радіаційного теплопереноса використовувалася спрощена χ_R - модель. Згідно із рекомендаціями Міністерства російської федерації у

справах цивільного захисту, надзвичайних ситуацій і ліквідації наслідків стихійних лих та ВНДПЗ (ВНИИПО, Россия) використовувався програмний комплекс SOFIE, наприклад, для розгляду пожеж в атриумах багатопверхових будівель. Результати цих досліджень показали, що найбільша небезпека при прогнозуванні пожежі – це пожежі, які виникають на першому поверсі. В цьому випадку існує можливість розповсюдження диму по всіх поверхах через вільний об'єм атриуму.

Але, навіть при наявності розглянутих результатів досліджень, виникає проблема в тому, що зовсім не розглядалося моделювання пожежних ситуацій в закритих приміщеннях цехів деревообробних підприємств з метою встановлення швидкості розповсюдження пожежі, визначення часу тривалості вільного розвитку пожежі до початку її гасіння та критичного часу пожежі, за який можливо виконати евакуацію працюючих з цеху.

Постановка задачі та її розв'язання. Ставиться мета розглянути і проаналізувати пожежні ситуації в закритих приміщеннях деревообробних підприємств з визначенням швидкості розповсюдження пожежі та її критичного часу. Для розв'язування задач, які поставлені метою роботи, доцільно використовувати систему FDS, яка удосконалена ТОВ «Сітіс» (м. Єкатеринбург, Росія) [13] і яка дозволяє виконувати прогнозування розповсюдження пожежі для різних об'єктів. Ця система побудована на використанні рівнянь, які описують:

– закон збереження маси

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial z} = 0,$$

де ρ – густина середовища (невідомо величина), кг/м^3 ; t – час, с; x , y , z – координати в тривимірному просторі в декартовій системі координат, м; U , V , W – компоненти швидкостей руху газоповітряних сумішей (продуктів горіння та повітря) відповідно в напрямку x , y , z , (невідомі величини), м/с;

– закон збереження маси окремих компонентів суміші газів

$$\begin{aligned} & \frac{\partial X_i}{\partial t} + U \frac{\partial X_i}{\partial x} + V \frac{\partial X_i}{\partial y} + W \frac{\partial X_i}{\partial z} = \\ & = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D_i \frac{\partial X_i}{\partial x} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D_i \frac{\partial X_i}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D_i \frac{\partial X_i}{\partial z} \right) + (m_i)_{xim}, \end{aligned}$$

де $X_i = \rho_i / \rho$ – масова концентрація i -го компонента суміші газів; D_i – коефіцієнт дифузії i -го компонента газу, $\text{м}^2/\text{с}$; $(m_i)_{xim}$ – кількість виділеного i -го продукту горіння за одиницю часу на одиницю об'єму, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;

– закон збереження імпульсу

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + \rho g; \\ \rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + \rho g; \\ \rho \left(\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho g, \end{aligned}$$

де p – тиск, Па; σ_{ij} – тензор в'язких напружень, Па; g – прискорення вільного падіння, м/с²; перший член рівняння описує не стаціонарність потоку, другий – конвекційний перенос, третій та четвертий члени – поверхневі сили (градієнт тиску та молекулярна дифузія) п'ятий – масові сили (гравітація); тензор напружень за гіпотезою Стокса згідно [14]

$$\sigma_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \tau_{ij},$$

де τ_{ij} – символ Кронекера ($i=j \rightarrow \tau_{ij}=1$, $i \neq j \rightarrow \tau_{ij}=0$); μ – коефіцієнт в'язкості суміші газів;

– закон збереження енергії

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial E}{\partial t} + U \frac{\partial E}{\partial x} + V \frac{\partial E}{\partial y} + W \frac{\partial E}{\partial z} \right) &= - \left(\frac{\partial(pU)}{\partial x} + \frac{\partial(pV)}{\partial y} + \frac{\partial(pW)}{\partial z} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x} (\sigma_{xx}U + \sigma_{xy}V + \sigma_{xz}W) &+ \frac{\partial}{\partial y} (\sigma_{xy}U + \sigma_{yy}V + \sigma_{yz}W) + \frac{\partial}{\partial z} (\sigma_{xz}U + \sigma_{yz}V + \sigma_{zz}W) + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q, \end{aligned}$$

де E – питома повна енергія, Вт; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С); T – температура, °С; Q – питома енерговиділення в зоні хімічної реакції;

– теплоперенос при пожежі

$$Q = \alpha \cdot (T_1 - T) + \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T^4),$$

де ε – ступінь чорноти, α – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·°С); φ – кутовий коефіцієнт; $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴) – стала Стефана – Больцмана;

– теплообмін з огороджувальними конструкціями

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°С; c – питома теплоємність матеріалу, Дж/кг·°С; ρ – густина матеріалу, кг/м³;
– густина теплового потоку випромінюванням, Вт/м²

$$q = \alpha \cdot (T - T_w) + \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_w^4),$$

де T_w – температура огорожувальної конструкції, °С;
– рівняння стану газу

$$p = \frac{\rho R T}{M},$$

де R – постійна газова стала, Дж/(моль·°С); M – молярна маса суміші газів, кг/моль;
– відстань R_n , на яку розповсюджується полум'я пожежі

$$R_n = v \cdot \tau,$$

де v – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с; τ – тривалість пожежі, с;
– кількість газів, що виділяються за одиницю часу

$$(m_i)_{xim} = \frac{\eta \psi S_n L_i}{\Delta V},$$

де η – коефіцієнт повноти згорання; ψ – питома швидкість вигорання горючого матеріалу, кг/(м²·с); S_n – площа пожежі, м²; L_i – кількість виділеного i -го компонента газу з 1 кг матеріалу, кг/кг; ΔV – об'єм прилеглих комірок до осередку пожежі, в які проходить виділення, м³;
– питома тепловиділення від зони горіння в прилеглі комірки, в які здійснюється теплообмін

$$(Q)_{xim} = \frac{\eta \psi S_n Q_0}{\rho \Delta V},$$

де Q_0 – найнижча теплота згорання матеріалу, кДж/кг; $\rho \Delta V$ – маса газу в розрахунковій комірці, кг.

Для роботи програми необхідно ввести вихідні дані: Q_0 , кДж/кг; v , м/с; ψ , кг/м²·с; $D_{дим}$, г/кг; D_{O_2} , кг/кг; D_{CO_2} , кг/кг; D_{CO} , кг/кг; матеріали огорожувальних конструкцій (цегла, залізобетон тощо) та значення

їх параметрів, а саме λ , Вт/м⁰С; c , Дж/кг⁰С; ρ , кг/м³.

Крім програми FDS при розгляді моделювання пожежних ситуацій в закритих приміщеннях деревообробних підприємств використовували пакет прикладних програм для побудови ізотерм та ізотермічних поверхонь, тобто температури T_i в °С в будь-якій точці закритого приміщення з урахуванням температури осередку пожежі. При цьому використовували основну залежність [15]

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{в.г.}^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_n^{0,13}}{R^{0,71}},$$

де $T_{o.n.}$ – температура осередку пожежі; G – пожежне навантаження в приміщенні, кг/м²; $\tau_{в.г.}$ – час вільного горіння, хв.; Z – висота, на якій визначається температура, м; S_n – площа пожежі, м²; R – відстань, на якій визначається температура, м; C_T – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу

$$C_T = 0,014 \frac{M^{0,45}}{xв^{0,18} \cdot кг^{0,75}}$$

Для визначення температури $T_{o.n.}$ в °С осередку пожежі використовували залежність [16]

$$T_{o.n.} = \frac{10^3 Q_{н.р.сеп} S_n \tau_{н.г.}}{c_{сеп} M} - 273,$$

де $Q_{н.р.сеп}$ – середнє значення найнижчої робочої теплоти згорання для даного приміщення, в якому розглядається пожежа, МДж/(м²·хв.); M – сумарна маса матеріалів пожежного навантаження, яка знаходиться на площі пожежі, кг; $c_{сеп}$ – середнє значення питомої теплоємності горючого навантаження, кДж/кг·К; $\tau_{н.г.}$ – поточний час вільного горіння пожежного навантаження, хв.

Розглянемо і проаналізуємо прогноз пожежних ситуацій з використанням наведених пакетів прикладних програм в опоряджувально-складальному цеху деревообробного підприємства (м. Самбір Львівської області, вул. В. Чорновола, 36). Загальна характеристика цеху: загальна площа приміщень – 14256 м²; висота цеху до ферм – 6 м; об'єм приміщень до ферм – 85536 м³; довжина цеху з кроком колон 6 м – 192 м; ширина цеху – 72 м; пожежне навантаження – 200 кг/м². Огороджувальні конструкції стін між відділеннями виконані з цегли. Загальна кількість евакуаційних виходів 6, а працюючих в одну зміну 152 особи. Загальний вид цеху зображено на рис. 1, поперечний переріз цеху – на рис. 2, а план компонування цеху – на рис. 3.



Рис. 1. Зовнішній вид опоряджувально-складального цеху деревообробного підприємства (м. Самбір)

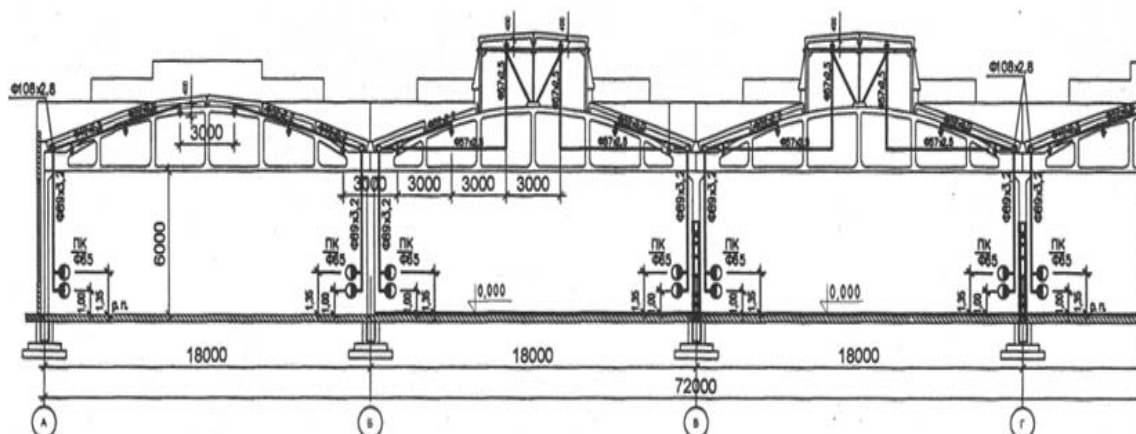


Рис. 2. Вид поперечного перерізу опоряджувально-складального цеху

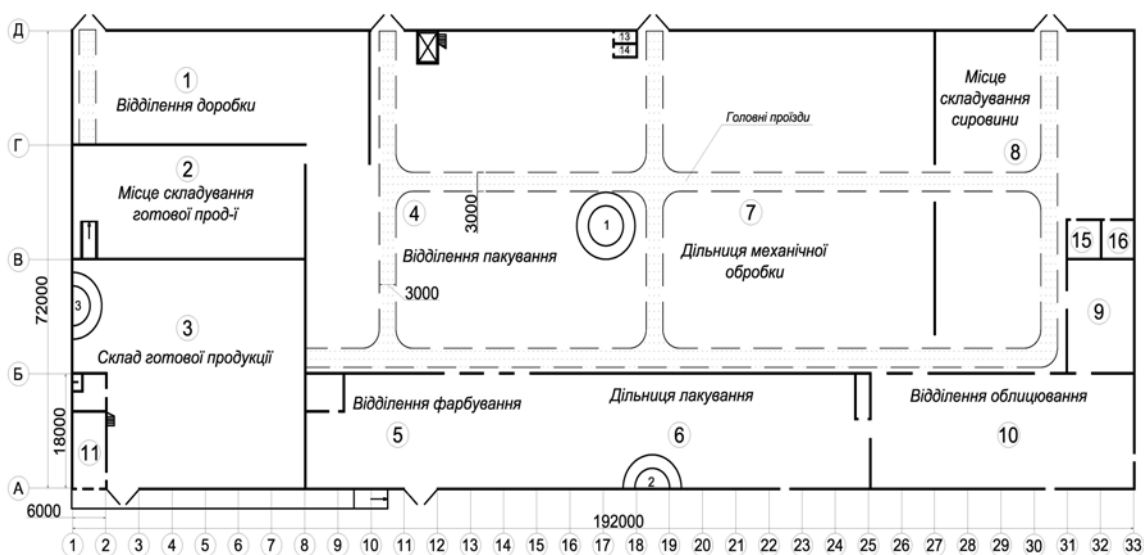


Рис. 3. Компонувальний план опоряджувально-складального цеху

Розглянемо моделювання пожежних ситуацій в приміщеннях цеху деревообробного підприємства (м. Самбір) з метою встановлення швидкості розповсюдження пожежі, визначення часу тривалості віль-

ного розвитку пожежі до початку її гасіння та критичного часу пожежі, за який можливо виконати евакуацію працюючих з цеху. Такими **пожежними ситуаціями** можуть бути:

- **кругова пожежа в центрі цеху** в відділені пакування (осередок займання **1** знаходиться в осях В-Г і між колонами 17-18 – рис.3);
- **кутова пожежа (180°) в відділені лакування** (осередок займання **2** знаходиться в осях А-Б і між колонами 18-19 – рис.3);
- **кутова пожежа (180°) на складі готової продукції** (осередок займання **3** знаходиться в осях Б-В і між колонами 1-2 – рис. 3).

Для визначення критичного часу пожежі враховуємо значення допустимої концентрації токсичних речовин для життєдіяльності людини. Критичне значення густини кисню $\rho_{O_{2к}} = 0,226 \text{ кг/м}^3$, максимально допустиме значення оптичної густини диму, величина якої може бути $\mu \leq 1,2 \text{ Нп/м}$, що забезпечує видимість до 2 м, тобто в межах росту людини, яка при переміщенні може бачити підлогу. Критична для людини температура на проходах до евакуаційних виходів не повинна перевищувати 70°C .

Крім цього, концентрація K_i виділених токсичних продуктів у межах критичного часу пожежі не повинна перевищувати допустимих значень: двоокис вуглецю $[K_{CO_2}] = 90 \text{ г/м}^3$; оксид вуглецю $[K_{CO}] = 2,4 \text{ г/м}^3$.

Розглянемо **першу пожежну ситуацію**, коли прогнозований осередок кругової пожежі виник у центральній частині цеху (рис. 4).

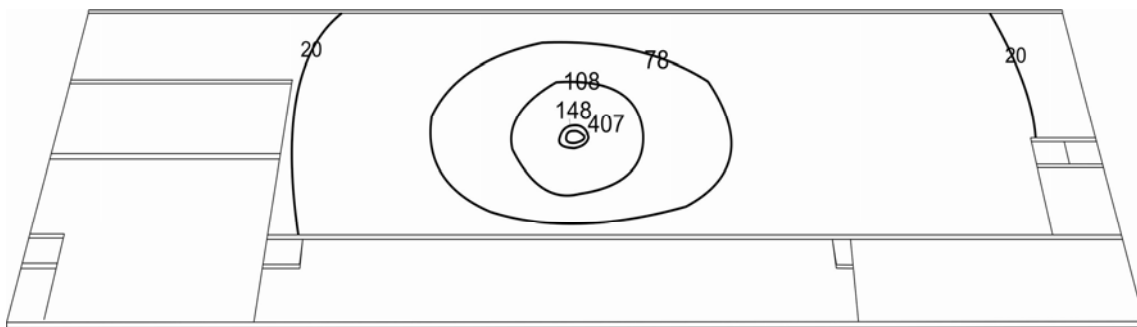


Рис. 4. Ізотерми розповсюдження осередку кругової пожежі на 2 хв., який знаходиться в центральній частині цеху

В поперечному перерізі цеху, який розглядається у вертикальній площині по висоті до ферм, ізотерми на 2-й хв. пожежі розміщуються так, як зображено на рис. 5. З аналізу ізотерм видно, що на висоті до 2 м від підлоги температура середовища не перевищує 58°C .

Результати досліджень показали, що на 6-й хв. пожежі центральна частина цеху знаходиться в пожежі і тільки на торцях у межах колон 1...6 по осях Г-Д та 29...33 по осях В-Д залишаються площі в межах $600...650 \text{ м}^2$ кожна з температурою навколишнього середовища цеху до 70°C .

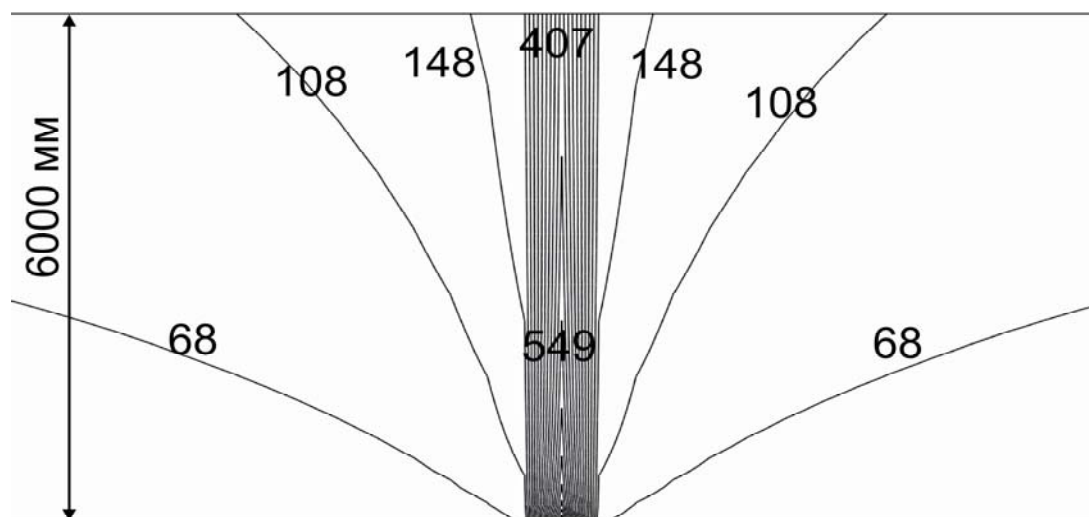


Рис. 5. Розміщення ізотерм у вертикальному перерізі цеху по висоті 6 м (6000 мм) на 2 хв. пожежі

На цих площах розміщено по одному евакуаційному виходу, тобто при сповіщенні про пожежу в центрі цеху, працюючі цеху повинні збиратися для евакуації на цих площах. На 10-й хв. пожежі на складі готової продукції температура середовища не перевищувала 30°C , а у відділеннях складування готової продукції, фарбування та лакування температура середовища не перевищувала 100°C . В той же час у відділенні облицювання температура середовища доходила до 125°C , в коморі шпону – до 138°C . На 15-й хв. від початку пожежі цех був охоплений полум'ям. При пожежній ситуації, коли пожежа розпочалася в центральній частині цеху, швидкість розповсюдження пожежі по довжині цеху $L_{ц}$ буде

$$v = \frac{L_{ц}}{2\tau_{в.р}} = \frac{192}{2 \cdot 15} = 6,4 \text{ м/хв.}$$

Аналізуючи отриманий результат, встановлюємо, що швидкість розповсюдження пожежі дуже велика. Недоліком конструкції цеху, який розглядається, є те, що необхідно було б усі відділення відокремлювати одне від одного огорожувальними конструкціями, які в декілька разів зменшують швидкість теплопередачі і відповідно швидкість розповсюдження пожежі. Крім цього, треба зауважити, що за час 15 хв. не мають змоги прибути до місця виникнення пожежі пожежно-рятувальні підрозділи державної служби цивільного захисту (в самому кращому випадку, коли на об'єкті встановлені пожежні сповіщувачі, час гасіння пожежі може початися тільки після тривалості вільного розвитку пожежі через 20...25 хв.). Тому для такого деревообробного підприємства необхідно мати власну добровільну пожежну службу.

Тепер розглянемо вплив тривалості пожежі на зменшення густини кисню, на виділення токсичних речовин і збільшення оптичної густини диму. Цей вплив пожежі на вказані чинники зображено на рис. 6 і 7.

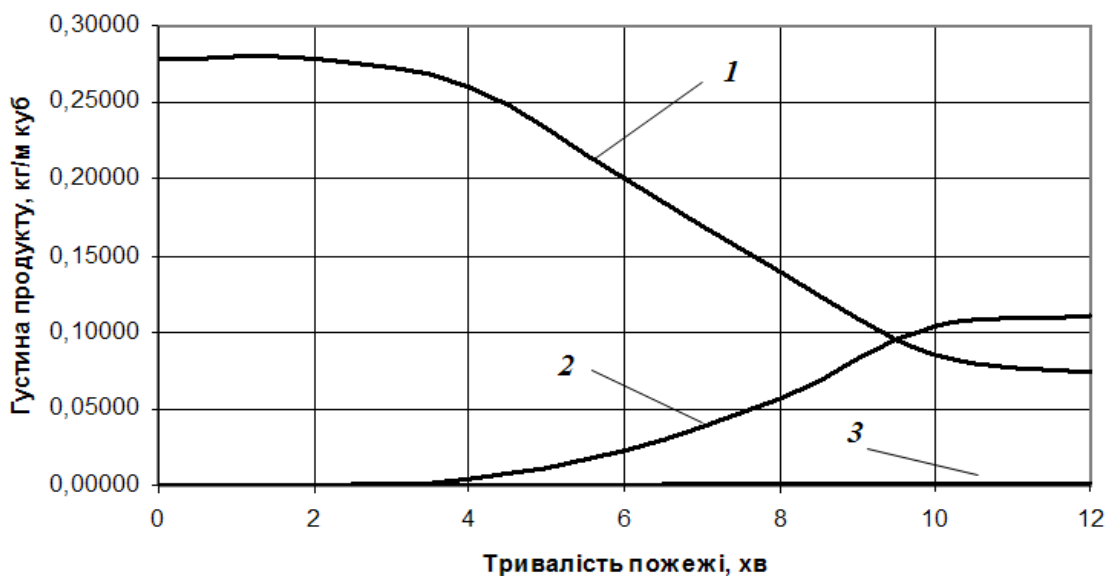


Рис. 6. Вплив тривалості вільного розвитку пожежі на зменшення густини кисню – 1, на виділення двоокису вуглецю – 2 та оксиду вуглецю – 3

Аналізуючи отримані графічні залежності (рис. 6) встановлюємо, що максимально допустиме критичне значення густини O_2 ($\rho_{O_2к} = 0,226 \text{ кг/м}^3$) настає при тривалості вільного розвитку пожежі до $\tau_{в.р} = 5,3$ хв. (залежність 1, рис. 6). Гранично допустиме значення двоокису вуглецю ($[K_{CO_2}] = 90 \text{ г/м}^3$) в приміщенні опоряджувально-складального цеху було визначено при тривалості вільного розвитку до $\tau_{в.р} = 9,4$ хв. (залежність 2, рис. 6), а оксиду вуглецю за цей же час – $K_{CO} = 1,4 \text{ г/м}^3$ (залежність 3, рис. 6).

На підставі аналізу оптичної густини диму в приміщенні опоряджувально-складального цеху в процесі вільного розвитку пожежі можна зауважити, що його допустиме значення настає при $\tau_{в.р} = 7,7$ хв. (рис. 7).

Таким чином, прогнозування виникнення та розповсюдження пожежі в приміщенні опоряджувально-складального цеху за допомогою польового методу математичного моделювання пожеж у приміщеннях з використанням програми FDS дозволив встановити критичний час пожежі. Отримані за допомогою математичної моделі пожежі числові значення чинників, які впливають на тривалість критичного часу пожежі, мають такі значення: 1) критична для людини температура на проходах до евакуаційних виходів, яка не перевищує 70°C , виникає за повних 6 хв. пожежі; 2) критичне значення густини O_2 утворилося в цеху за 5,3 хв.; 3) гранично допустиме значення двоокису вуглецю на евакуаційних проходах цеху утворилося за 9,4 хв., а оксиду вуглецю за цей час було в межах допустимого значення; 4) гранично допустиме

значення оптичної густини диму для нормального переміщення людей вздовж евакуаційних проходів цеху утворилося за 7,7 хв.

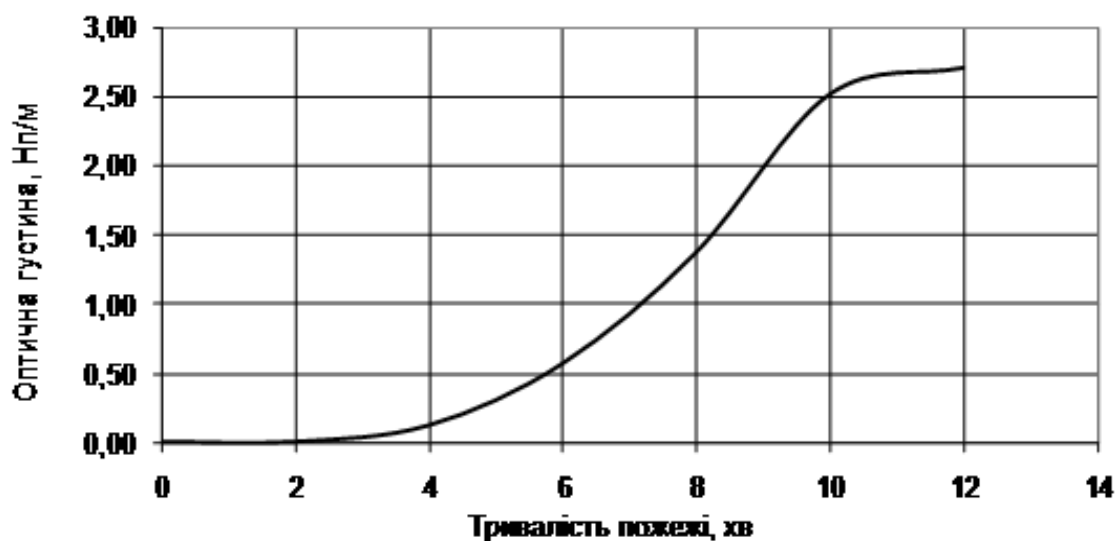


Рис. 7. Вплив тривалості вільного розвитку пожежі на значення оптичної густини диму

На підставі отриманих даних встановлюємо, що критичний час пожежі становить $\tau_k = 5,3$ хв. Успішність проведення евакуації працюючих з цеху встановлюється після визначення імовірності її виконання за залежністю [17]

$$P_{ев.л} = \frac{0,8\tau_k - \tau_e}{\tau_{n.e}},$$

де τ_e – час евакуації, хв.; $\tau_{n.e}$ – інтервал часу від початку пожежі до початку евакуації, хв.; $\tau_{n.e} = 2 \dots 4$ хв. для промислових приміщень цехів, які споряджені системою сповіщення та керуванням евакуацією;

$$\tau_e = \frac{L_e}{kV_e};$$

L_e – шлях евакуації, м; k – кількість евакуаційних виходів з приміщення; V_e – середня швидкість вільного руху людського потоку, м/хв.; згідно із рекомендаціями [17], середня швидкість по горизонтальній поверхні коливається в межах 66...90 м/хв.;

$$L_e = k_{кр} \sqrt{L^2 + B^2};$$

$k_{кр} = 1,4$ – коефіцієнт, який враховує кривину шляху евакуації; L – довжина площадки стікання людського потоку для евакуації, м; B – ши-

рина площадки стікання людського потоку для евакуації, м; k – кількість евакуаційних виходів.

Розміри площадки, на яку стікається людський потік для евакуації, повинні бути більші кількості людського потоку, який буде на ній розміщений, тобто

$$Nq \leq LB,$$

де N – загальна кількість працюючих, яка розміщується на площадці для евакуації; q – густина людського потоку при евакуації в приміщенні з використанням горизонтального шляху ($q = 0,51$ люд./м² [17]).

Для ситуації виникнення та розповсюдження пожежі, яка розглядається, вихідними положеннями при визначенні імовірності успішної евакуації працюючих з опоряджувально-складального цеху є: $\tau_k = 5,3$ хв.; загальну кількість працюючих розділяємо на два потоки $N_1 = N_2 = 76$ чоловік; для кожного потоку по одному евакуаційному виходу $k = 1$; середнє значення довжини шляху евакуації для кожного потоку $L_e = 1,4\sqrt{24^2 + 36^2} = 60$ м; $q = 0,51$ люд./м²; $V_e = 80$ м/хв.; $\tau_{n.e} = 3,5$ хв.

Визначаємо $N_1q = N_2q = 76 \cdot 0,51 = 38,8$ м² < 600 м², що забезпечує нормальні умови для розміщення людей.

Тривалість евакуації

$$\tau_e = \frac{60}{1 \cdot 80} = 0,75 \text{ хв.}$$

У цьому випадку імовірність успішної евакуації працюючих з опоряджувально-складального цеху

$$P_{ев.л} = \frac{0,8 \cdot 5,3 - 0,75}{3,5} \approx 1.$$

Таким чином, за умови, що системи сповіщення про пожежу спрацюють без відмов і буде проведена на високому рівні організаційна робота по евакуації в умовах надзвичайної ситуації (пожежа), то в цьому випадку всі працюючі цеху будуть евакуйовані із зони пожежі в небезпечне місце.

Розглянемо **другу пожежну ситуацію** з прогнозованим осередком **кутової пожежі (180°) у відділенні лакування** (осередок займання 2 знаходиться в осях А-Б і між колонами 18-19 – рис. 3). Результати моделювання пожежі на 6 хв. зображено на рис. 8. Аналізуючи результати моделювання прогнозованої пожежі, можна зробити такі висновки. За 6 хв. пожежа розповсюдилась не тільки по лакувальному відділенню, а і в відділення фарбування та почала через проходи огорожувальних конструкцій цих відділень переходити до відділень облицювання і пакування, тобто на основну площу цеху. На 8 хв. по-

лум'я пожежі розповсюджується на комору шпону і далі на місце складування сировини та дільницю механічної обробки (рис. 9).

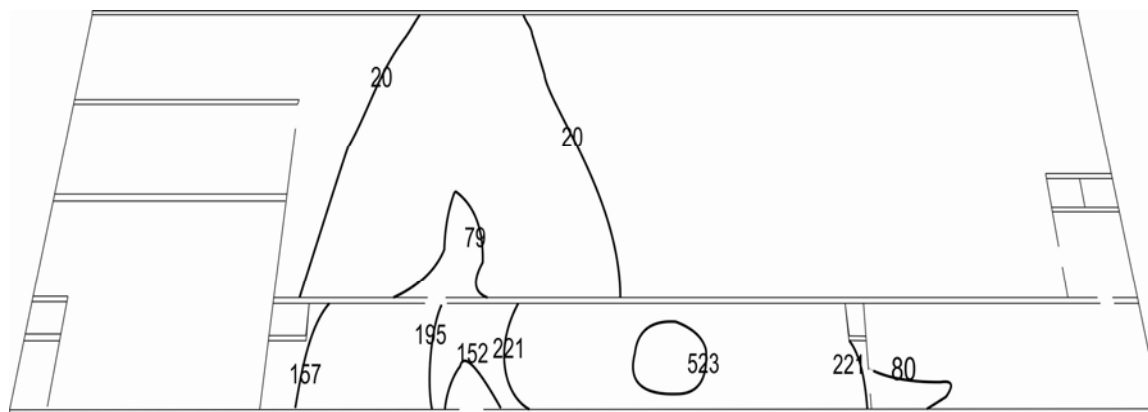


Рис. 9. Ізотерми розповсюдження кутової пожежі (180°) лакувального відділення по лакувальному і фарбувальному відділеннях на 6-й хв.

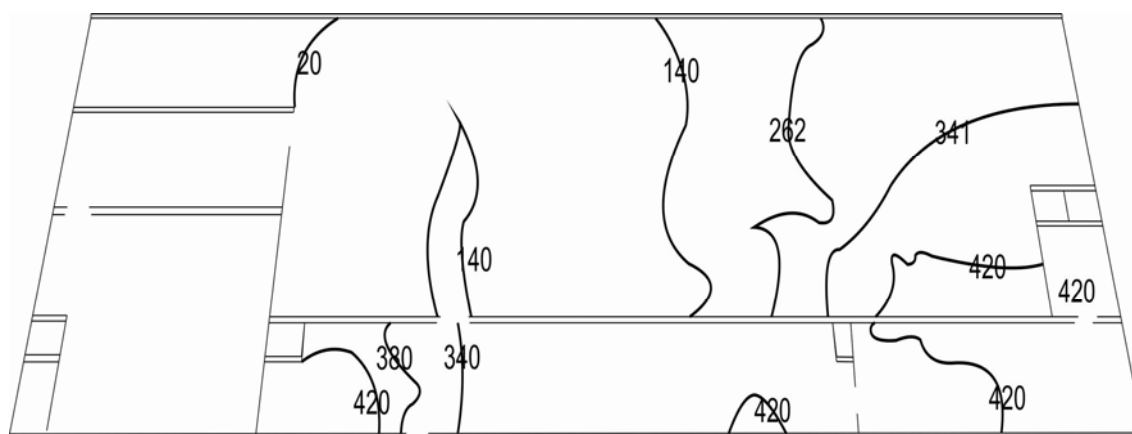


Рис. 10. Ізотерми розповсюдження кутової пожежі (180°) лакувального відділення по площі цеху на 8-й хв.

За 13 хв. пожежа розповсюдилася до складу готової продукції з оточенням і проникненням до місця складування готової продукції. Тільки на 20 хв. пожежею був охоплений весь цех.

За допомогою математичної моделі пожежі були отримані числові значення чинників, які впливають на тривалість критичного часу пожежі: 1) критична для людини температура, яка не перевищує 70°C , виникла за повних 8 хв. пожежі на загальній площі 1836 м^2 в осях Г-Д між колонами 1-8 та в осях В-Д між колонами 8-14 з двома евакуаційними виходами; 2) критичне значення густини O_2 утворилося в цеху на цій же площі за 7 хв.; 3) гранично допустиме значення двоокису вуглецю на вказаних евакуаційних проходах утворилося за 10 хв., а оксиду вуглецю за цей час було в межах допустимого значення; 4) гранично допустиме значення оптичної густини диму для нормального переміщення людей вздовж евакуаційних проходів цеху утворилося за 9 хв.

У другій пожежній ситуації критичний час пожежі становить $\tau_k=7$ хв., тобто він збільшився на 32% у порівнянні з першою пожежною ситуацією, що забезпечує успішну евакуацію працюючих через два ева-

квадратні виходи, які розміщені в межах колон 1-14 зі збором працюючих для евакуації на площі 1836 м² лівої половини цеху, на якій відсутні безпечні чинники пожежі. Збільшення критичного часу пожежі у другій пожежній ситуації можна пояснити тим, що пожежа виникла за огорожувальними конструкціями, які значно зменшують швидкість розповсюдження полум'я. Наприклад, швидкість розповсюдження полум'я по цеху у другій пожежній ситуації склала 4,8 м/хв.

Розглянемо *третю пожежну ситуацію* з прогнозованим осередком *кутової пожежі (180°) на складі готової продукції* (осередок займання 3 знаходиться в осях Б-В і між колонами 1-2 – рис. 3). Результати аналізу моделювання прогнозованої пожежі дозволили зробити такі висновки. На 6-й хв. пожежа розповсюдилась по всьому складу готової продукції і почала переходити до місця складування готової продукції. Тільки на 10-й хв. пожежа з місця складування через прохід в огорожувальній конструкції почала виходити до основної площі цеху. Після цього пожежа розповсюджується від 8 колони до 17 за 8,4 хв. Таким чином, за 18,4 хв. пожежею охоплена ліва половина цеху, а за 33,4 хв. – весь цех. Евакуацію працюючих в цьому випадку треба виконувати з правої сторони цеху з використанням одного евакуаційного виходу між колонами 29-33 та двох допоміжних з відділення облицювання. Критичний час пожежі в цьому випадку обмежується зменшенням густини кисню до критичного значення за 13,5 хв., що повністю забезпечує успішну евакуацію працюючих цеху. У третій пожежній ситуації критичний час пожежі становить $\tau_k=13,5$ хв., тобто він збільшився у 2,5 рази у порівнянні з першою пожежною ситуацією. Підтвердженням збільшення критичного часу пожежі знову є огорожувальні конструкції, які значно зменшують швидкість розповсюдження полум'я.

Висновки. 1. Результати моделювання пожежних ситуацій в закритих приміщеннях деревообробних підприємств з використанням польового методу показали, що найбільша швидкість розповсюдження пожежі виникає у випадку її виникнення в центральній частині приміщення при відсутності огорожуючих протипожежних конструкцій.

2. Результати аналізу часу розповсюдження пожежі в закритому приміщенні деревообробного підприємства при різних пожежних ситуаціях показали, що швидка і своєчасна ліквідація пожежі пожежно-рятувальними підрозділами державної служби ЦЗ практично неможлива, тому що час до початку роботи перших пожежних стволів значно більший ніж час розповсюдження пожежі по всьому приміщенню. Тому необхідно при таких підприємствах організувати добровільні пожежно-рятувальні підрозділи для ліквідації пожежі з відповідними технічними засобами.

3. В приміщеннях деревообробних підприємств необхідно влаштовувати протипожежні огорожуючі конструкції з відповідними проходами і проїздами, що дозволить зменшити швидкість розповсюдження полум'я по цеху в декілька разів.

4. З метою проведення успішної евакуації працюючих з приміщення, в якому виникла пожежа, необхідно його споряджувати пожежними сповісниками та достатньою кількістю евакуаційних виходів. Крім цього, необхідно розробляти евакуаційні плани для працюючих у залежності від можливого виникнення пожежної ситуації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Холщевников В.В. Моделирование людских потоков / В.В. Холщевников // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – С. 139-169.

2. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики. / В.П. Бут, Б.В. Куціций, Б.В. Болібрех – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.

3. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.:УДПО МВС України, 1995. – 14 с.

4. Огляд стану організації пожежогасіння, пожежно-рятувальних робіт, застосування пожежної та спеціальної техніки ПРП МНС України у 2005 році. – К.: Департамент ЦЗ МНС України, 2005. – 31 с.

5. Крайнюк О.І. Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони / О.І. Крайнюк // Науковий вісник УкрНДПБ, 2008, № 2 (18). – С. 180-185.

6. Tarifa C.S. On the flight path and the lifetime of burning patches of wood / C.S. Tarifa, P.P. Notario, F.G. // 10-th Simposium (int.) on Combustion. – Pittsburgh, 1965. – pp. 1021-1037.

7. Девлишев П.П. Исследование кинетики пожара на моделях / П.П. Девлишев // Пожарная наука и техника: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1977. – С. 178-208.

8. Иванов И.А. Определение скорости распространения пламени по штабелям лесобирж / И.А. Иванов // Пожарная профилактика: Информ. сб. – М.: Стройиздат, 1977, вып. 11. – С. 84-92.

9. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

10. Рекомендации по использованию программы FDS с применением программ PyroSim2012, SmokeView и «СИТИС: Фламмер» . – Екатеринбург: «Ситис», 2012. – 170 с.

11. Welch S., Rubini P. SOFIE, Simulations of Fires in Enclosures, User Guide. - Cranfield University, 1996.

12. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях. – М.: МЧС РФ, ВНИИПО, 2001. – 21 с.

13. Рекомендации по использованию программы FDS с применением программ PyroSim2012, SmokeView и «СИТИС: Фламмер» . – Екатеринбург: Строительные информационные технологии и системы ООО «Ситис», 2012. – 170 с.

14. Spurk J.H. Stroemungslerte. 2 Auflage. Springer-Verlag, Berlin, 1989.

15. Гуліда Е.М. Моделювання пожежі в закритому приміщенні / Гуліда Е.М., Меньшикова О.В., Ренкас А.А. // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.6. – С. 307-317.

16. Гуліда Е.М. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда, О.В. Меньшикова // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – Вып.28. – С. 65-73.

17. Мовчан І.О. Визначення ризику евакуації людей із будівель та споруд у випадку пожежі з урахуванням її критичного часу / І.О. Мовчан, Е.М. Гуліда // Вісник ЛДУ БЖД: збірник наукових праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012. – № 6. – С. 157-161.

Э.Н. Гулида, А.М. Коваль

Моделирование пожарных ситуаций в помещениях зданий деревообрабатывающих предприятий

Рассмотрен процесс моделирования пожарных ситуаций развития и распространения пожара в закрытых помещениях (цехах) зданий деревообрабатывающих предприятий с использованием полевого метода с программным обеспечением FDS. На основании результатов анализа моделирования получены направления для прогнозирования мероприятий по уменьшению площади распространения пожара за счет внедрения на деревообрабатывающих предприятиях оперативных добровольных пожарных подразделений и внедрения в таких помещениях ограждающих противопожарных конструкций стен, которые значительно уменьшают скорость распространения пожара по помещению и снижают убытки от пожара. Рассмотрена возможность успешной эвакуации работающих при возникновении пожара и приведены рекомендации для размещения мест сбора работающих в цеху для эвакуации при возникновении разных пожарных ситуаций.

Ключевые слова: пожар, процесс распространения пожара, полевая модель пожара, критическое время пожара, эвакуация.

E.M. Gulida, O.M. Koval

A design of fire situations in apartments building of woodworking enterprises

The process of design of fire situations of development and distribution of fire is considered in the closed apartments (workshops) of building of woodworking enterprises with the use of the field method with FDS software. On the basis of results of analysis directions are got for prognostication of measures to diminishing to the area of distribution of fire due to introduction on the woodworking enterprises of voluntarily fire subdivisions and introduction in such apartments of non-load-bearing fire-prevention constructions which are very important for diminishing of rapid distribution to the fire on an apartment and fire losses. Possibility of successful evacuation of working is considered in case of occurring of fire and recommendations are given for placing of places of collection of working for evacuation in case of occurring of different fire situations.

Keywords: fire, process of distribution of fire, field model of fire, critical time of fire, evacuation.