

*Е. М. Гуліда, В. В. Шарий**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

ВПЛИВ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ПЕРЕГОРОДОК НА ШВИДКІСТЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОЖЕЖІ В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

Постановка проблеми. Одними з найбільш небезпечних є пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів, оскільки вони займають великі площі зі значним пожежним навантаженням. Актуальним напрямом забезпечення системи пожежної безпеки на виробничо-складських об'єктах в закритих приміщеннях є усунення умов швидкого розвитку пожежі та мінімізація її наслідків шляхом застосування протипожежних завіс. Але на сучасному етапі цей спосіб протипожежного захисту практично не використовується в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. В більшості випадків в цих випадках використовують протипожежні перегородки. Тому дослідження питання обмеження розвитку пожеж з використанням протипожежних перегородок та мінімізація наслідків від пожежі є актуальним питанням сьогодення.

Мета роботи. Дослідити процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів шляхом застосування протипожежних перегородок для обмеження швидкості розповсюдження пожежі.

Постановка задач та їх розв'язання. Для забезпечення протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів необхідно першочергово розв'язати такі задачі:

- 1) дослідити процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів без використання протипожежних перегородок;
- 2) дослідити вплив застосування протипожежних перегородок на швидкість розвитку пожежі.

Для **першої задачі** розглянемо два можливі режими розвитку пожежі в приміщенні: 1) з достатньою кількістю повітря (кисню), тобто пожежа регулюється пожежним навантаженням; 2) з недостатньою кількістю повітря (кисню), тобто пожежа регулюється вентиляцією.

Для **другої задачі** необхідно вибрати матеріал і відповідно конструкцію протипожежної перегородки. Результати експериментальних досліджень [11] показали, що для виготовлення протипожежних перегородок можуть бути використані вермикуліто-силікатні плити, які використовують для різних будівельних конструкцій. Аналіз конструкцій закритих виробничо-складських приміщень показав, що ці приміщення будуються в більшості випадків з сіткою колон 9x12 м.

Висновки та конкретні пропозиції:

1. В закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів із загальною площею понад 5000 м² в процесі пожежі діє лише перший режим пожежі з наявністю достатньої кількості кисню (повітря) і пожежа регулюється лише пожежним навантаженням.

2. Використання протипожежних перегородок між ділянками приміщень виробничо-складських об'єктів зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенню приблизно в 3 рази.

3. Необхідно продовжити наукову роботу в цьому напрямку для отримання в більших обсягах адекватних результатів процесу розвитку та поширення пожежі в приміщеннях виробничо-складських об'єктів.

Ключові слова: протипожежна перегородка, виробничо-складський об'єкт, пожежа, протипожежний захист об'єму приміщення.

*Е. М. Hulida, V. V. Sharyi**Lviv State University of Life Safety*

INFLUENCE OF FIRE PARTITIONS FOR SPEED FIRE DISTRIBUTION IN CLOSED PREMISES OF PRODUCTION AND STORAGE FACILITIES

Introduction. Fires in closed premises of production and storage facilities are the most dangerous, because they hold large areas with a significant fire load. The current direction of providing a fire safety system at production and storage facilities in closed premises is to eliminate the conditions of the rapid development of fire and minimizing its effect through the use of fire

curtains. This method of fire protection is practically not used in closed premises of production and storage facilities at the present stage. In most cases, fire partitions are used in such situations. Therefore, a topic issue today is the research of limiting the development of fires with the use of fire partitions and minimizing fire effects.

Purpose. Investigate the process of spreading the fire in closed premises of production and storage facilities by using fire partitions to limit the speed of fire spread.

Problem statement and solution. The following tasks must be solved to provide fire protection of production and storage facilities:

1. to investigate the process of fire spread in closed premises of production and storage facilities without the use of fire partitions;
2. to investigate the impact of fire partitions use on fire rate.

Two possible modes of development fire in the premises are considered to solve **the first problem**: 1) with the presence of sufficient air (oxygen), with fire occurred in regulated fire load; 2) with insufficient air (oxygen), with fire occurred in regulated ventilation.

It is necessary to choose the material and fire partition design accordingly to solve **the second problem**. The results of experimental studies [11] showed that fire partitions vermiculite-silicate plates can be used for various building structures manufacturing. Closed production and storage facilities structure analysis showed that these premises are constructed in most cases with a grid of columns 9X12 m.

Conclusions and proposals:

1) There is only the first mode of fire with sufficient oxygen (air) in closed premises of production and storage facilities with a total area of more than 5000 m² in the process of fire. The fire that occurred is regulated only by the fire load.

2) The use of fire partitions between sections of the premises of production and storage facilities reduces the probability of fire spreading in the premises by about 3 times.

3) It is necessary to continue research work in this direction to obtain more significant results of the process of development and spread of fire in the premises of production and storage facilities.

Keywords: fire partition, production, and storage facility, fire, fire protection of the premises.

Постановка проблеми. Статистика свідчить, що на території виробничих об'єктів України в 2019 році виникло 588 пожеж. Як приклад швидкого розповсюдження пожежі можна навести пожежу, яка виникла 2 лютого на вул. Червоноткацька, 69, у м. Києві у складській будівлі для зберігання готової продукції ПП «Будпостач» на площі близько 600 м². Вогонь швидко поширювався на суміжні офісні та складські будівлі. Пожежу ліквідовано 3 лютого 2019 року на площі 10 тис. 500 м² [1]. Сучасні виробничо-складські об'єкти у більшості є пожежонебезпечними. Значна площа, велике пожежне навантаження, застосування технологій із наявністю високих температур сприяють швидкому розвитку пожежі за короткий проміжок часу на значну площу. Актуальним напрямом забезпечення системи пожежної безпеки на виробничо-складських об'єктах в закритих приміщеннях є усунення умов швидкого розвитку пожежі та мінімізація її наслідків шляхом застосування протипожежних завіс. Але на сучасному етапі цей спосіб протипожежного захисту практично не використовується в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. Переважно в цих випадках використовують протипожежні перегородки. Тому обмеження розвитку пожеж з використанням протипожежних перегородок та мінімізація наслідків від пожежі на сьогодні є дуже актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обмежувати розвиток пожежі можна поділом будівлі на захищені протипожежними перегород-

ками об'єми приміщень. Протипожежні перегородки за своїми ключовими параметрами – втратою цілісності і втратою теплоізолювальної здатності, поділяються на два типи: 1 – мінімальний клас вогнестійкості EI 45; 2 – мінімальний клас вогнестійкості EI 15 [2]. На даний час різними виробниками серійно виробляються протипожежні перегородки з класом вогнестійкості EI 90 [3]. Виробники надають інформацію про застосування протипожежних перегородок, однак, виключно для адміністративних, торгово-розважальних закладів, офісних і культурно-видовищних установ [4].

Дослідженню протипожежних перегородок присвячена робота А.В. Ляпіна [5]. Однак в ній приділяється увага лише характеристикам сучасних протипожежних конструкцій з описом їх конструктивних особливостей. Заслуговує на увагу робота [6], в якій автор розглядає імовірність переходу пожежі з однієї ділянки на іншу з наявністю протипожежних перегородок. Недоліком роботи є те, що імовірності переходу пожежі через протипожежні перегородки не визначалися, а приймалися автором в певних межах.

Результати аналізу останніх досліджень і публікацій показали, що питання, які пов'язані з використанням протипожежних перегородок для закритих приміщень виробничо-складських об'єктів, зовсім не розглядалися та відсутні будь-які рекомендації. Тому дослідження, які присвячені використанню протипожежних перегородок для закритих приміщень виробничо-складських об'єктів, є актуальною задачею.

Мета роботи. Дослідити процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів шляхом застосування протипожежних перегородок для обмеження швидкості розповсюдження пожежі.

Постановка задач та їх розв'язання. Для забезпечення протипожежного захисту виробничо-складських об'єктів необхідно першочергово розв'язати такі задачі:

1) дослідити процес розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів без використання протипожежних перегородок;

2) дослідити вплив застосування протипожежних перегородок на швидкість розвитку пожежі.

Для розв'язування **першої задачі** розглянемо два можливі режими розвитку пожежі в приміщенні: 1) з наявністю достатньої кількості повітря (кисню), тобто пожежа, регулюється пожежним навантаженням; 2) з недостатньою кількістю повітря (кисню), яка виникла, регулюється вентиляцією.

Розглянемо режими розвитку пожежі в закритому приміщенні виробничо-складських об'єктів:

1) **перший режим розвитку пожежі**, для якого значення площі пожежі визначаємо за залежностями:

– при тривалості вільного горіння $\tau \leq 10$ хв (600 с)

$$S_{II} = 0,25\alpha v_n^2 \tau^2, \text{ м}^2; \quad (1)$$

– при тривалості вільного горіння $\tau > 10$ хв (600 с)

$$S_{II} = \alpha v_n^2 (\tau - 600)^2 + 0,25\alpha v_n^2 (600)^2 = \alpha v_n^2 (\tau^2 - 1200\tau + 450000), \text{ м}^2 \quad (2)$$

де τ – тривалість вільного горіння при пожежі, с; v_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с; α – кут, який враховує форму пожежі, рад (кругова пожежа – $\alpha = 3,14$ рад; кутова пожежа 180° – $\alpha = 1,57$ рад; кутова пожежа 90° – $\alpha = 0,785$ рад).

– сумарна теплова енергія Q , яка виділяється в зоні полум'я пожежі

$$Q = \eta \psi_n S_{II} Q_{\min}, \text{ Вт} \quad (3)$$

де η – коефіцієнт повноти згорання (при розрахунках його значення приймають в межах $\eta = 0,9 \dots 0,95$); ψ_n – питома масова швидкість вигорання, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$; Q_{\min} – найнижча теплота згорання, кДж/кг ; значення Q_{\min} , v_n і ψ_n наведені в табл. 1, згідно із даними роботи [7].

Таблиця 1

Значення чинників для залежностей (1) – (3)

№ з/п	Назва горючого навантаження	Найнижча теплота згорання Q_{\min} , кДж/кг	Лінійна швидкість розповсюдження полум'я v_n , м/с	Питома масова швидкість вигорання ψ_n , $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$
1	2	3	4	5
1	Приміщення будівлі I-II ст. вогнестійкості	14002	0,022	0,021
2	Приміщення будівлі I-II ст. вогнестійкості, яке облицьоване панелями ДВП	18100	0,0405	0,0143
3	Приміщення будівлі III-IV ст. вогнестійкості	14002	0,042	0,0129
4	Приміщення механічного цеху	14000	0,0163	0,0152
5	Приміщення будівлі III ст. вогнестійкості	18100	0,0405	0,0143
6	Приміщення будівлі I ст. вогнестійкості	14002	0,042	0,0129
7	Приміщення заготівельного цеху	14000	0,0163	0,0152
8	Приміщення закритого складу	15400	0,04	0,02

– температура $T_{o,n}$ осередка пожежі [8]

$$T_{o,n} = \frac{Q_{\min} \psi_n \tau_{n,e}}{c_p G} - 273, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

де Q_{\min} – значення найнижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження для приміщення, в якому розглядається пожежа, кДж/кг ; c_p – теплоємність для цього приміщення, $\text{кДж/кг} \cdot \text{K}$ [9]; $\tau_{n,e}$ – тривалість до повного горіння, при якому осередок пожежі досягає максимальної температури, с ($\tau_{n,e} = 600 \dots 720$ с [9]); значення c_p наведені в табл. 2; G – пожежне навантаження, кг/м^2 ;

Таблиця 2

Значення питомої теплоємності

№ з/п	Назва горючого навантаження	Питома теплоємність c_p , $\text{кДж/кг} \cdot \text{K}$
1	Деревина	2,8
2	Меблі, побутові вироби, тканини	2,4
3	Обладнання (верстати), мастила, фарба	2,0
4	Меблі, папір	2,7
5	Меблі, лінолеум ПВХ	2,5
6	Книжки, журнали на стелажах	1,8
7	Дерево, тканини, фарба	2,5
8	Паливно-мастильні матеріали	2,1
9	Різні промислові товари	1,8
10	Електротехнічні прилади та матеріали	2,2
11	Лікарські препарати, етиловий спирт, гліцерин	2,4
12	Деревина, картон, полістирол (гара)	2,3
13	Гума, бензин, штучна шкіра, емаль	2,1

В закритому приміщенні при пожежі **перший режим** поступово переходить в **другий**, а після досягнення такої температури в приміщенні, за якої руйнуються шибки вікон, процес газообміну стає двостороннім і пожежа переходить до **першого режиму**. Початкова густина кисню в приміщенні $\rho_{01} = 0,27$ кг/м³, за якої може виникнути перший режим пожежі і припинитися при критичній густині кисню $\rho_{1к} = 0,19$ кг/м³, тобто при такому значенні густини кисню процес горіння може припинитися. Тому розглянемо другий режим розвитку пожежі:

2) **другий режим розвитку пожежі**, для якого необхідно визначити час пожежі, коли шибки вікон прогріються до температури 300...350 °С, що приведе їх до руйнування:

– внутрішній об'єм приміщення

$$V = B \cdot L \cdot H, \text{ м}^3 \quad (5)$$

де B – ширина приміщення, м; L – довжина приміщення, м; H – висота приміщення, м;

– критичний час підтримки вогнища пожежі через наявність необхідної концентрації кисню в приміщенні, згідно із даними роботи [7].

$$\tau_{кр} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \phi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1 - \phi) Q_{\min}} + \rho_{01} \right] \right\}^{\frac{1}{n}}, \text{ с} \quad (6)$$

де c_p – теплоємність газового середовища в приміщенні, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; $\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2$ кг·м⁻³·К; $\eta \approx 1$ – коефіцієнт повноти згорання; $\phi \approx 0,5$ – коефіцієнт тепловтрат; Q_{\min} – найнижча теплота згорання речовини, яка знаходиться в осередку пожежі, Дж/кг; ψ_n – питома швидкість вигорання, кг·м⁻²·с⁻¹; V – вільний об'єм приміщення, м³; v_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с; $L_1 = - (1,15...1,3)$ кг/кг – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необхідна для згорання 1 кг матеріалу, що горить при пожежі; $n = 3$ – для кругової пожежі.

На підставі значення $\tau_{кр}$ визначасмо:

– температурний режим в об'ємі приміщення в процесі пожежі [10]

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{кр}^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_{II}^{0,13}}{R^{0,71}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

де $T_{o.n.}$ – температура осередку пожежі, °С; G – пожежне навантаження в приміщенні, кг/м²; $\tau^{e.z.}$ – тривалість вільного горіння, хв; Z – висота, на якій визначається температура, м; S^{II} – площа пожежі, м²; R – відстань, на якій визначається температура, м; $C^T = 0,014$ – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу, згідно із даними роботи [10].

Коли $T_i \geq 300...350$ °С, руйнуються шибки вікон приміщення і пожежа переходить до першого режиму.

Після цього переходимо для розв'язування **другої задачі**, а саме до дослідження впливу застосування протипожежних перегородок на швидкість розвитку пожежі.

На першому етапі для розв'язування **другої задачі** необхідно вибрати матеріал і відповідну конструкцію протипожежної перегородки. Результати експериментальних досліджень [11] показали, що для виготовлення протипожежних перегородок можуть бути використані вермикуліто-силікатні плити, які застосовують для різних будівельних конструкцій. Аналіз конструкцій закритих виробничо-складських приміщень показав, що ці приміщення будуються в більшості випадків з сіткою колон 9x12 м. Прикладом такого закритого виробничо-складського приміщення може бути складське приміщення логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» с. Малехів, Пустомитівського району Львівської області (рис. 1).

Для зберігання товарів на складі використовують дільниці розміром 9x12 м, які повинні бути ізолювані одна від одної. Особливо така ізоляція дільниць необхідна при виникненні пожежі для зменшення швидкості розповсюдження пожежі. Ізоляцію дільниць проводимо шляхом встановлення протипожежних перегородок 3 (рис. 1) з використанням вермикуліто-силікатних плит товщиною 40 мм з теплоізоляційною здатністю RI 180, тобто втрата вогнестійкості за ознакою теплоізоляційної здатності, як показали результати експерименту [11], становить 180...185 хв.

На другому етапі для розв'язування **другої задачі** необхідно отримати залежності для визначення імовірності зміни швидкості розповсюдження пожежі між дільницями складу без використання протипожежних перегородок і з використанням цих перегородок.

За основу для розгляду швидкості розповсюдження пожежі приймаємо універсальний закон розподілу Вейбулла, для якого імовірність $P(x)$ безвідмовного спрацювання об'єкта можна визначити за залежністю

$$P(x) = \exp \left[- \left(\frac{x}{X} \right)^b \right] \quad (8)$$

де x – тривалість спрацювання об'єкта, упродовж якої визначають для нього $P(x)$; X – параметр масштабу; b – параметр форми (якщо $b = 1$, то розподіл Вейбулла перетворюється в експоненціальний з параметром інтенсивності відмов $\lambda(x) = 1/X = \text{const}$; якщо $b = 2$, то розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов $\lambda(x)$; якщо $b > 2,5$, то розподіл Вейбулла стає близьким до нормального розподілу).

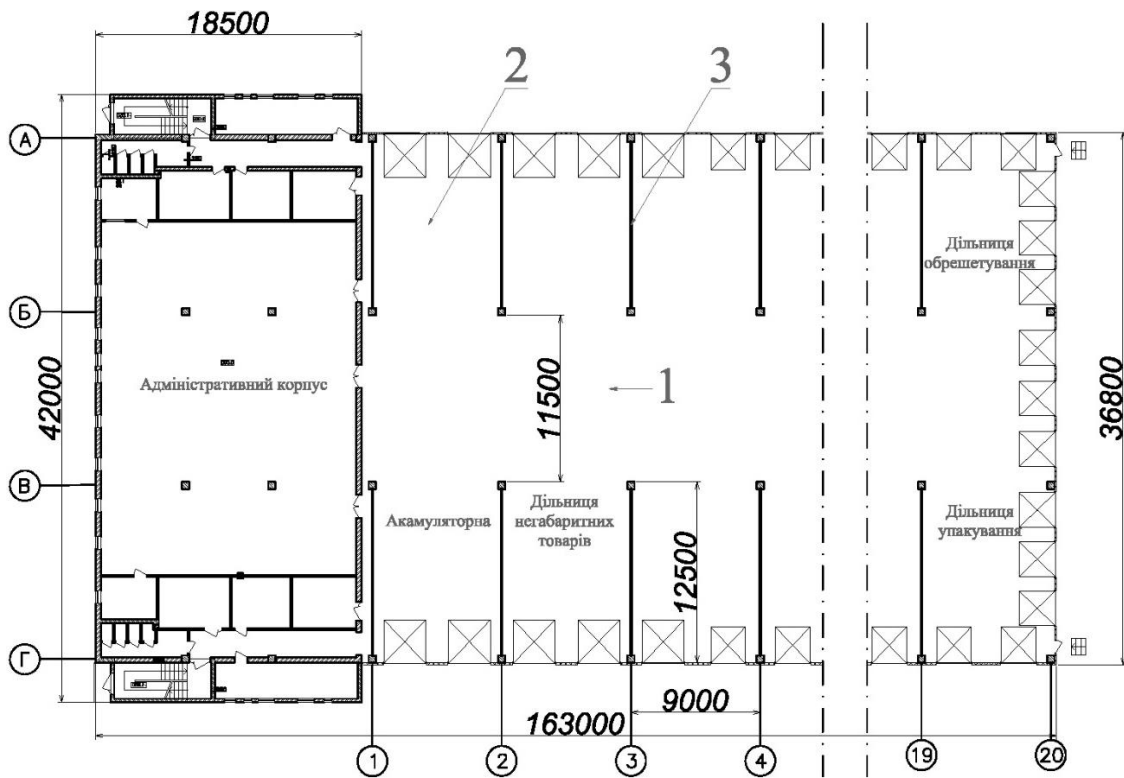


Рисунок 1 – Складське приміщення логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» с. Малехів, Пустомитівського району Львівської області:
1 – центральний проїзд; 2 – дільниця зберігання товарів; 3 – протипожежна перегородка

Наведені залежності (1)...(8) дають змогу проаналізувати процес розвитку та поширення пожежі в складському приміщенні логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» (рис.1).

Приклад. В закритому складському приміщенні логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» з внутрішнім розміром $B \times L \times H = 36 \times 144 \times 6$ м на дільниці А...Б – 3...4 виникла *кругова пожежа*. На складі зберігається продукція для наступного транспортування і передачі її отримувачам. Основним видом цієї продукції є картонні упаковки (80%), кераміка, пластмасові вироби, деревина та металеві вироби.

Основні параметри приміщення складу: пожежне навантаження $G = 80$ кг/м²; $Q_{\min} = 15400$ кДж/кг; $v_d = 0,04$ м/с; $\psi_n = 0,02$ кг/м²·с; $c_p = 2,3$ кДж/кг·К

Розв'язок.

1. Визначаємо внутрішній об'єм приміщення складу

$$V = B \times L \times H = 36 \cdot 144 \cdot 6 = 31104 \text{ м}^3.$$

2. Визначаємо критичний час підтримки вогнища пожежі завдяки наявності необхідної концентрації кисню в приміщенні за залежністю (6)

$$\tau_{кр} = \left\{ \frac{3 \cdot 2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot 31104}{3,14 \cdot 1 \cdot (1 - 0,5) \cdot 15400 \cdot 0,02 \cdot 0,04^2} \ln \left[\frac{\frac{2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot (-1,15)}{(1 - 0,5) \cdot 15400} + 0,27}{\frac{2,3 \cdot 3 \cdot 10^2 \cdot (-1,15)}{(1 - 0,5) \cdot 15400} + 0,19} \right] \right\} \frac{1}{3} = 376 \text{ с.}$$

Отримане значення критичного часу підтримки вогнища пожежі вказує на те, що через $\tau_{кр} = 376$ с, тобто через 6,3 хв, закінчується перший режим пожежі. Але для підтвердження цього висновку необхідно з урахуванням цього часу визначити температуру, яка буде діяти на шибки вікон складу, що розміщені по його периметру.

3. За залежністю (1) визначаємо площу пожежі при $\tau = \tau_{кр}$

$$S_{II} = 0,25 \alpha v_d^2 \tau^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,04^2 \cdot 376^2 = 177,5 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо температуру осередку пожежі за залежністю (4)

$$T_{o,n} = \frac{15400 \cdot 0,02 \cdot 600}{2,3 \cdot 80} - 273 = 731 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5. Визначаємо температуру біля шибки вікон, тобто на відстані $R = 6$ м від центра осередку пожежі на висоті $Z = 3$ м

$$T_i = 731 \cdot \frac{0,014 \cdot 80^{0,75} \cdot 6,3^{0,18} \cdot 3^{1,5} \cdot 177,5^{0,13}}{6^{0,71}} = 730^{\circ}C.$$

Визначене значення температури вказує на те, що шибки вікон вже на 4 хв пожежі будуть зруйновані і повернуться перший режим пожежі. Таким чином можна стверджувати, що на складі з об'ємом приміщення 31104 м³ в процесі пожежі діє тільки перший режим пожежі з наявністю достатньої кількості кисню і пожежа, яка виникла, регулюється тільки пожежним навантаженням.

Результати аналізу процесу розвитку та поширення пожежі в приміщенні будівлі складського логістичного комплексу ТзОВ «Нова пошта» показали, що швидкість розповсюдження пожежі дуже велика і для її зменшення необхідно дільниці складу розділяти протипожежними перегородками (рис. 1).

Використання протипожежних перегородок зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу. Розглянемо це питання з використанням основних положень теорії імовірності.

6. Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу без використання протипожежних перегородок. В цьому випадку межа вогнестійкості незахищених конструкцій становить RI 10-15 [11]. Виходячи з цього положення, параметр масштабу приймаємо як середнє значення RI, тобто $X = 13$ хв, а тривалість пожежі тільки до критичної температури $\tau_{кр} = 6,3$ хв. Для уточнення параметра форми b скористаємося методом статистичного моделювання. В цьому випадку проведемо 10 числових експериментів, тобто $N = 10$.

Для кожного експерименту будемо використовувати випадкове число для чинника $P_i(x)$, які розподілено в інтервалі $[0, 1]$, визначати x_i за залежністю $x_i = 13\sqrt{-\ln P_i(x)}$ та для статистичної оцінки імовірності того, що тривалість безвідмовної роботи x_i не перевищить значення X , використаємо залежність $P(x_i) = 1 - \frac{i}{N+1}$. Результати розрахунків заносимо до табл. 3.

Таблиця 3

Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла

№	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$P_i(x)$	0,10	0,09	0,73	0,25	0,33	0,37	0,54	0,20	0,48	0,06
2	x_i	19,7	20,2	7,3	15,3	13,7	12,9	10,2	16,5	11,1	21,8
3	Впорядкований ряд x_i	7,3	10,2	11,1	12,9	13,7	15,3	16,5	19,7	20,2	21,8
4	$P(x_i)$ за залежністю $P(x_i) = f(i, N)$	0,91	0,82	0,73	0,64	0,55	0,46	0,36	0,27	0,18	0,09
5	$\lg x_i$	0,86	1,01	1,05	1,11	1,14	1,18	1,22	1,29	1,31	1,34
6	$\lg(-\lg P(x_i))$	-1,39	-1,06	-0,86	-0,71	-0,59	-0,47	-0,35	-0,25	-0,13	0,02

За результатами статистичного моделювання розподілу Вейбулла (5 і 6 строчки табл. 3) будемо залежність $\lg(-\lg P(x_i))$ від $\lg x_i$ (крива 1, рис. 2) з накладанням на неї лінії тренда (крива 2, рис. 2) і отриманням рівняння $y = 2,8876x - 3,9059$, за допомогою якого визначаємо дійсне значення параметра форми $b = 2,8876$.

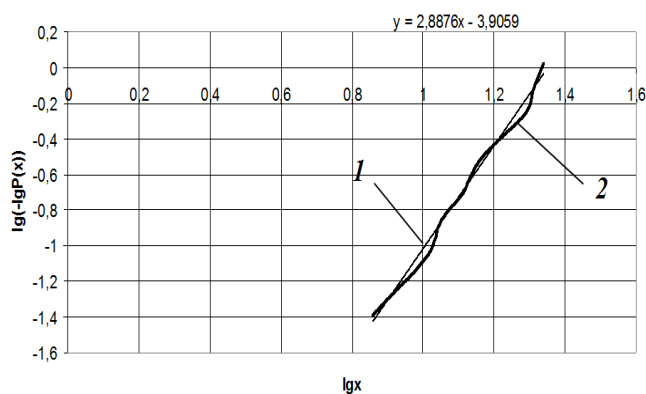


Рисунок 2 – Графічне відображення статистичного моделювання розподілу Вейбулла для уточнення параметра форми b

Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу без використання протипожежних перегородок з використанням нормального закону розподілу ($b > 2,5$) за залежністю

$$P(x) = 0,5 + \Phi(u_p),$$

де $\Phi(u_p)$ – функція Лапласа (ця функція є непарною, тобто $\Phi(-u_p) = -\Phi(u_p)$); u_p – квантиль нормального розподілу.

Для визначення функції Лапласа необхідно спочатку визначити квантиль u_p нормального розподілу для відповідного значення x а потім з використанням довідника, в якому розміщені таблиці функції Лапласа, вибрати значення $\Phi(u_p)$.

$$u_p = \frac{x - X}{S_x},$$

де S_x – середнє квадратичне відхилення напрацьованого чинника x ; для нашого випадку $S_x = 2,16$

Визначаємо квантиль нормального розподілу

$$u_p = \frac{6,3 - 13}{2,16} = -3,1.$$

В цьому випадку $\Phi(u_p) = -0,498$. Тоді $P_1(x) = 0,5 - 0,498 = 0,002$. Таке значення імовірності розповсюдження пожежі вказує на те, що швидкість її розповсюдження не зменшується.

7. Визначаємо імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні складу з використанням протипожежних перегородок. В цьому випадку $x = 6,3$ хв, $X = 180$ хв, $S_x = 68,9$ хв. Тоді квантиль нормального розподілу буде

$$u_p = \frac{6,3 - 180}{68,9} = -2,52.$$

Враховуючи значення квантиля нормального розподілу з використанням функції Лапласа, отримуємо $P_2(x) = 0,5 - 0,494 = 0,006$. В цьому випадку імовірність зменшення швидкості розповсюдження пожежі з використанням протипожежних перегородок зростає. Виходячи зі значень імовірностей можна констатувати, що швидкість розповсюдження пожежі з використанням протипожежних перегородок зменшується приблизно в $P_2(x)/P_1(x) = 0,006/0,002 = 3$ рази.

8. Сумарна теплова енергія Q , яка виділяється в зоні полум'я пожежі

$$Q = 0,9 \cdot 0,02 \cdot 177,5 \cdot 15400 = 49203 \text{ кВт.}$$

Висновки

1. В закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів із загальною площею більше 5000 м² в процесі пожежі діє тільки перший режим пожежі з наявністю достатньої кількості кисню (повітря) і пожежа, яка виникла, регулюється лише пожежним навантаженням.

2. Використання протипожежних перегородок між дільницями приміщень виробничо-складських об'єктів зменшує імовірність розповсюдження пожежі по приміщенні приблизно в 3 рази.

3. Необхідно продовжити наукову роботу в цьому напрямку для отримання в більших обсягах адекватних результатів процесу розвитку та поширення пожежі в приміщеннях виробничо-складських об'єктів.

Список літератури:

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році: Статистика пожеж 2019 рік. – URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-dsns.pdf.

2. ДБН-В.1.1.-7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2016-10-31]. Вид. офіц. Київ, 2016. 39 с. (Інформація та документація).

3. Протипожежні перегородки з класом вогнестійкості EI 90. – URL: <http://tandex.com.ua/574-pozharozaschitnye-partitons-excellent.html>.

4. Перегородки, сфера застосування, адміністративні приміщення. – URL: <https://stopfire.com.ua/home-2/ognestojkie-peregorodki.html>.

5. Ляпін А.В. Сучасні вогне – і димо перешкоди – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-ogne-i-dymozaschitnye-regrady/viewer>.

6. Коваль О. М. Процес розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств. Пожежна безпека. 2013. № 22. С. 121–127.

7. Koshmarov Yu.A. Forecasting of dangerous fire factors in the room. Moscow Academy of the State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2000. 118 p.

8. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні. Проблемы пожарной безопасности. 2010. № 28. С. 65–73.

9. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. Академия ГПС МЧС России. 2005. 336 с.

10. Гуліда Е.М., Меньшикова О.В., Ренкас А.А. Моделювання пожежі в закритому приміщенні. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2012. № 22.6. С. 307–317.

11. Гуліда Е.М., Лоїк В.Б., Шерстинюк Н.Л., Дмитрук Ю.С. Експериментальна оцінка вогнезахисного ефекту вермикуліто-силікатних плит для будівельних несних металевих конструкцій. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. Вип. 25.5. С. 169-173.

References:

1. Report on the main results of the State Service of Ukraine for Emergencies in 2019: Fire Statistics 2019. - URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-dsns.pdf.

2. ДБН-В.1.1.-7-2016. Fire safety of construction sites. [Valid from 2016-10-31]. View. ofits. Kyiv, 2016. 39 p. (Information and documentation).

3. Fire partitions with fire resistance class EI 90. - URL: <http://tandex.com.ua/574-pozharozaschitnye-partitons-excellent.html>.

4. Partitions, scope, administrative premises. - URL: <https://stopfire.com.ua/home-2/ognestojkie-peregorodki.html>.

5. Lyapin A.V. Modern fire - and smoke obstacles - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-ogne-i-dymozaschitnye-regrady/viewer>.

6. Koval OM The process of development and spread of fire in the premises of buildings of woodworking enterprises. Fire safety. 2013. № 22. P. 121–127.

7. Koshmarov Yu.A. Forecasting of dangerous fire factors in the room. Moscow Academy of the State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2000. 118 p.

8. Gulida E.M., Menshikova O.V. Method of statistical modeling of indoor fire. Fire safety problems. 2010. № 28. P. 65–73.

9. Puzach SV Methods for calculating heat and mass transfer in case of indoor fire and their application

in solving practical problems of fire and explosion safety. GPS Academy of the Ministry of Emergencies of Russia. 2005. 336 p.

10. Gulida EM, Menshikova OV, Renkas AA Indoor fire simulation. Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine. 2012 № 22.6. P. 307–317.

11. Gulida E.M., Loik V.B., Sherstinyuk N.L., Dmitruk Y.S. Experimental evaluation of the fire-retardant effect of vermiculite-silicate slabs for building load-bearing metal structures. Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine. 2015. Vip. 25.5. P. 169-173.

*** Науково-методична стаття**