

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЕВАКУАЦІЇ З ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ

**Н. Ференц, к. т. н.**

*ORCID ID: 0000-0003-3139-0921*

**С. Вовк, к. т. н.**

*ORCID ID: 0000-0001-5278-3754*

**І. Керод, магістр**

*ORCID ID: 0000-0002-9237-8427*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

**В. Артеменко, к. т. н.**

*ORCID ID: 0000-0001-5857-7409*

*Львівський національний університет природокористування*

<https://doi.org/10.31734/architecture2022.23.076>

### **Ференц Н., Вовк С., Керод І., Артеменко В. Дослідження можливості евакуації з виробничого цеху паперової фабрики**

Відображено, що найбільш небезпечним, із точки зору загибелі людей, є початковий етап пожежі. Його тривалість залежить від: кількості, виду, структури, вологості, орієнтації у просторі пожежної навантаги, потужності джерела запалювання, об'єму приміщення, стану вентиляції. Цей період становить від 5 до 30 хвилин. Використано математичну модель індивідуально-потокowego руху людей для розрахунку часу евакуації з виробничих цехів паперової фабрики.

Складено сценарій пожежі в будівлі виробничого цеху паперової фабрики, за якого очікуються найгірші наслідки для людей, які в ньому перебувають, розроблено математичну модель, яка відповідає цьому сценарію, змодельовано динаміку розвитку пожежі. Використано програмне середовище FDS для розрахунку часу блокування евакуаційних виходів небезпечними чинниками пожежі.

Створено модель зміни видимості, температури, концентрації чадного газу, концентрації вуглекислого газу та концентрації кисню та з'ясовано час блокування евакуаційних виходів. Побудовано розрахункові схеми евакуації людей з позначок +7.200, +4.200, +1.200 та +0.000 до виходів назовні виробничого будинку паперової фабрики. Розраховано, що максимальний час евакуації з усіх виробничих приміщень становитиме 190 с. Обчислено, що блокування евакуаційних виходів через втрату видимості, підвищену температуру, підвищену концентрацію CO, підвищену концентрацію CO<sub>2</sub>, низьку концентрацію O<sub>2</sub> при пожежі в цеху переробки паперу через 190 с не відбувається.

Установлено, що найбільш небезпечним фактором пожежі в цеху переробки паперу, де питоме пожежне навантаження перевищує 500 МДж/м<sup>2</sup>, є втрата видимості, яка настає через 331 с. Це дає підстави для обґрунтування застосування більш ефективних систем димовилучення в цеху переробки паперу. Доведено, що дотримання чинних правил пожежної безпеки під час проектування евакуаційних шляхів і виходів на об'єктах паперово-целюлозної промисловості дає змогу забезпечити своєчасну евакуацію працівників у безпечні місця.

**Ключові слова:** небезпечні чинники пожежі, моделювання, видимість, блокування евакуаційних виходів, інтегральна модель, целюлозно-паперова промисловість.

### **Ferents N., Vovk S., Kerod I., Artemenko V. Research of the possibility of evacuation from the production workshop of the paper factory**

It is shown that the initial stage of the fire is the most dangerous from the point of view of the death of people. Its duration depends on: quantity, type, structure, humidity, orientation in space of the fire load, the power of the ignition source, the volume of the room, the state of ventilation, this period lasts from 5 to 30 minutes. A mathematical model of the individual flow movement of people was used to calculate the evacuation time from the paper factory's production shops. A scenario of a fire in the building of a paper mill's production department was drawn up, in which the worst consequences for the people in it are expected, a mathematical model corresponding to this scenario was developed, and a simulation of the dynamics of fire development was carried out. The FDS software environment was used to calculate the time of blocking evacuation exits by dangerous fire factors. A model of changes in visibility, temperature, carbon monoxide concentration, carbon dioxide concentration, and oxygen concentration was created and the time of blocking the evacuation exits was determined. Calculated evacuation schemes of people from the +7,200, +4,200, +1,200 and +0,000 marks to the exits of the production building of the paper factory were built.

It is estimated that the maximum evacuation time from all production premises will be 190 seconds. It is calculated that the blocking of evacuation exits due to loss of visibility, increased temperature, increased concentration of CO, increased concentration of CO<sub>2</sub>, low concentration of O<sub>2</sub> during a fire in a paper processing plant does not occur after 190 seconds. It was established that the most dangerous factor in a fire in a paper processing plant, where the specific fire load exceeds 500 MJ/m<sup>2</sup>, is the loss of visibility, which occurs after 331sec. This provides grounds for justifying the use of more effective smoke extraction systems in the paper processing plant. It has been proven that compliance with current fire safety rules during the design of escape routes and exits at the facilities of the paper and pulp industry makes it possible to ensure the timely evacuation of workers to safe places.

**Key words:** dangerous factors of fire, modeling, visibility, blocking evacuation exits, integral model, pulp and paper industry.

**Постановка проблеми.** Тенденція зростання кількості техногенних надзвичайних ситуацій у виробничій сфері змушує розглядати їх як значну загрозу безпеці окремих людей, суспільству та довкіллю, а також стабільності розвитку економіки країни.

Основними причинами небезпечних аварій на виробництві є порушення вимог безпеки керівниками робіт, спеціалістами та персоналом, відхилення від установлених технологій і регламентів, конструктивні недоліки та несправності обладнання, машин, неправильні інженерні рішення, відсутність надійних систем запобігання і локалізації аварій та пожеж, приладів контролю і засобів захисту. Особливо небезпечні виробництва з наявністю великої кількості пожежонебезпечних речовин і матеріалів, зокрема підприємства з виробництва паперу. Важливим заходом є забезпечення пожежної безпеки на виробництві, створення умов для безпеки працівників, успішної евакуації їх в умовах пожежі.

Розвиток пожеж у цехах підприємств целюлозно-паперової промисловості характерний підвищеним впливом небезпечних факторів пожежі на працівників унаслідок швидкого поширення горіння площею, а також високим ступенем задимлення та температури. Часто такі цехи характерні значними розмірами і при розрахунку тривалості евакуації з таких будівель визначення параметрів небезпечних чинників пожежі є важливим завданням.

**Матеріал і методи досліджень.** У роботі використовували методику розрахунку часу евакуації згідно з ДСТУ 8828-2019 [1] та математичну інтегральну модель газообміну в будівлі під час пожежі, яку зrealізовано наближеними числовими методами у комп'ютерній програмі *FDS (Fire Dynamics Simulator)* [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідники встановили [3–5], що значна частина людей гине на початковому етапі пожежі.

Початковий етап розвитку пожежі – це період від початку виникнення горіння до переходу пожежі в об'ємну фазу [6]. Його тривалість залежить від таких факторів, як: кількість, вид, структура, вологість, орієнтація в просторі пожежної навантаги, потужність джерела запалювання, об'єм приміщення, стан вентиляції. Тривалість початкового етапу пожежі становить від 5 до 30 хв.

На початковому етапі розвитку пожежі у приміщенні виникають фактори, що небезпечні для життя людини. Згідно з даними [7], небезпечним фактором пожежі вважають прояв пожежі, який призводить чи може призвести до опіків, отруєння леткими продуктами згорання або піролізу, травмування чи загибелі людей і до заподіяння матеріальних, соціальних та екологічних збитків.

Небезпечними факторами пожежі, згідно з [1], є: полум'я та іскри, підвищена температура довкілля, токсичні продукти горіння і термічного розкладу, дим, знижена концентрація кисню.

Учені [8] зазначають, що спільна дія факторів пожежі підсилює їх вплив на організм людини (синергетичний ефект). Зокрема, токсичність оксиду вуглецю CO збільшується за наявності диму, за зменшення концентрації кисню і підвищення температури та вологості середовища, а токсичність NO<sub>2</sub> зростає при зменшенні концентрації кисню і збільшенні температури. Синергетичний ефект спостерігається за спільної дії ціаністого водню (HCN) і оксиду вуглецю (CO). Особливий вплив на людину має дим – на частинках незгорілого вуглецю розміром від 0,05 до 5,0 мкм конденсуються токсичні гази. Тому вплив диму на людину також має синергетичний ефект.

У працях [9; 10] досліджено процеси димотворення під час пожежі в закритих приміщеннях, зокрема визначені значення оптичної густини диму в закритому приміщенні залежно від дії різних факторів пожежі, а також розглянуто вплив різних матеріалів на динаміку оптичної густини диму під час пожежі в закритому при-

міщені. Однак не вказано, який із факторів пожежі визначальний в оцінці тривалості евакуації.

**Постановка завдання.** Наше завдання – дослідження небезпечних факторів пожежі для оцінки можливості евакуації з виробничого цеху паперової фабрики.

**Виклад основного матеріалу.** Максимальна довжина виробничої будівлі паперової фабрики – 222,550 м, максимальна ширина – 108 м. Приміщення розміщені на рівнях +0,000, +1,200, +4,200, +5,700, +7,200. Розрахунок евакуації проводився для найбільшого за площею приміщення цеху переробки паперу. Основною сировиною для виробництва паперу є макулатура. Переробка вторинної сировини становить 135 тонн на добу, а питоме пожежне навантаження в цеху переробки паперу перевищує  $500 \text{ МДж/м}^2$ . Початкові параметри середовища: температура –  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , відносна вологість – 50 %, тиск атмосферний – 101325 Па, вміст кисню в повітрі – 0,245 кг/кг.

Час евакуації з виробничих цехів паперової фабрики розраховували згідно з [2], за математичною моделлю індивідуально-потокowego руху людей. Таку модель покладено в основу прикладних комп'ютерних програм: *Pathfinder*, *FDS+Evac*, *Fenix+*, *Citis Evatec*, *SIMULEX*. Указані програми оснащені вбудованими анімаційними графічними редакторами, що дають змогу імпортувати проектну документацію, створювати 3D-моделі приміщень, розташовувати і налаштовувати індивідуальні параметри кожної людини, яка евакуується [11–14].

У роботі складено сценарій пожежі, за якого очікуються найгірші наслідки для людей, що перебувають у цеху переробки паперу, розроблено математичну модель, яка відповідає цьому сценарію, змодельовано динаміку розвитку поже-

жі. Для розрахунку часу блокування евакуаційних виходів небезпечними факторами пожежі використовували програмне середовище FDS [1].

Розрахункову тривалість евакуації людей із виробничих приміщень і будинків установлено за тривалістю руху людських потоків через евакуаційні виходи від найвіддаленіших місць розташування людей [14; 15]. У праці побудовано розрахункові схеми евакуації людей з позначок +7,200, +4,200, +1,200 та +0,000 до виходів назовні виробничого будинку паперової фабрики. Розраховано, що максимальний час евакуації з усіх виробничих приміщень становитиме 190 с.

Як приклад показано розрахунок фактичного часу евакуації з позначки +7,200.

Час початку евакуації становитиме  $t_{\text{пе}} = 5 + 0,01 \cdot F = 5 + 0,01 \cdot 4324 \approx 49 \text{ с}$ , де  $F$  – площа приміщення.

Розрахункова схема евакуації людей з позначки +7,200 через сходи на позначку +4,200 до моменту злиття із потоком людей, які евакууються із позначки +4,200, наведена на рис. 1.

Отже, від моменту початку евакуації людей з позначки +7,200 до моменту злиття із потоком людей, що евакууються з позначки +4,200, мине  $0,452 \text{ хв} = 28 \text{ с}$ .

Аналогічно побудовані розрахункові схеми евакуації людей з позначок +4,200, +1,200 та +0,000 до виходів назовні виробничого будинку паперової фабрики.

Людські потоки, що почали евакуюватися з позначки +7,200, після злиття з потоками, які евакууються з позначки +4,200, та потоками, які евакууються з позначки +1,200, вийдуть назовні будівлі через  $0,452 + 1,420 + 0,484 = 2,356 \text{ хв} = 141 \text{ с}$ . З урахуванням максимального часу початку евакуації максимальний час евакуації з усіх приміщень становитиме  $49 \text{ с} + 141 \text{ с} = 190 \text{ с}$ .

Проаналізовано небезпечні фактори пожежі, яка виникає в цеху переробки паперу.

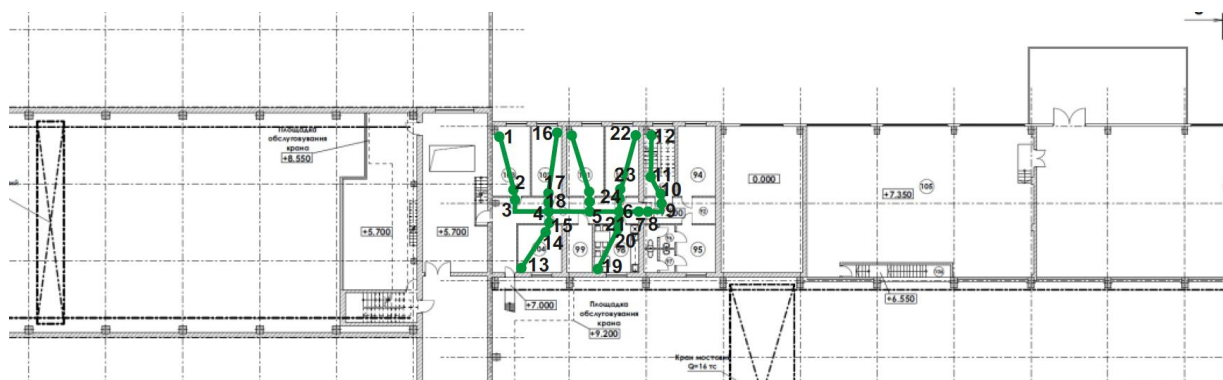


Рис. 1. Розрахункова схема евакуації людей з позначки +7,200 через сходи на позначку +4,200

**Результати розрахунку часу евакуації людей з позначки +7,200 через сходи на позначку +4,200**

Початок ділянки	Кінець ділянки	Довжина	Ширина	Тип ділянки	Кількість осіб	Площа гориз. проєк. людини	Щільність людського потоку	Швидкість потоку	Розрахункова інтенсивність	Фактична інтенсивність	Час руху на ділянці	Сумарний час руху ділянкою
1	2	7	1	1	2	0,125	0,036	100,00	3,57	3,57	0,070	0,070
2	3	0	1	4	2	0,125		100,00	3,57	3,57	0,000	0,070
3	4	3	1,5	1	2	0,125		100,00	2,38	2,38	0,030	0,100
4	5	3	1,5	1	6	0,125		89,68	6,55	6,55	0,033	0,133
5	6	3	1,5	1	8	0,125		76,85	8,63	8,63	0,039	0,172
6	7	2,5	1,5	1	14	0,125		55,06	12,80	12,80	0,045	0,218
7	8	0	1,4	4	14	0,125		58,69	13,71	13,71	0,000	0,218
8	9	4	1,5	1	14	0,125		55,06	12,80	12,80	0,073	0,291
9	10	0	1,4	4	14	0,125		58,69	13,71	13,71	0,000	0,291
10	11	2	1,5	1	14	0,125		55,06	12,80	12,80	0,036	0,327
11	12	9	1,5	2	14	0,125		72,18	12,80	12,80	0,125	0,452

Результати розрахунків наведені в таблиці.

За виникнення пожежі у виробничих приміщеннях і будинках найбільшу загрозу для життя і здоров'я людини становлять токсичні продукти горіння. Адже в таких приміщеннях знаходиться значна пожежна навантага у вигляді синтетичних матеріалів, які є основними джерелами токсичних продуктів горіння. Так, при горінні пінополіуретану утворюється ціанистий водень, вініласту – хлористий водень (HCl) та оксид вуглецю (CO), лінолеуму – сірководень і сірчистий газ тощо. Найчастіше при пожежах спостерігається високий вміст у повітрі чадного газу (CO). У підвалах, шахтах, складах його вміст може становити від 0,15 до 1,5 %, а у приміщеннях – 0,1...0,6 %.

Найчастіше під час пожежі люди отруюються чадним газом (CO), який небезпечний тим, що у 200–300 разів інтенсивніше реагує з гемоглобіном крові, ніж кисень. Унаслідок цього у людини виникає кисневе голодування, гіпоксія, порушення координації рухів, депресія, поведінка стає неадекватною – вона втрачає бажання уникнути загрози та не вживає заходів щодо власного рятування. Можливі припинення дихання, смерть. Підвищену небезпеку чадного газу можна пояснити не тільки його високою токсичністю, а й відносно великою концентрацією в продуктах горіння. Гранично допустиме значення токсич-

ного газоподібного продукту згоряння – CO – становить  $1,16 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> [1].

На рис. 2 розраховано тривалість блокування шляхів евакуації в цеху переробки паперу небезпечним фактором пожежі – підвищеною концентрацією CO – через 190 с.

Як бачимо з рис. 2, блокування евакуаційних виходів через підвищену концентрацію CO при пожежі в цеху переробки паперу через 190 с не відбувається.

Найчастіше під час горіння паперу спостерігається високий вміст у повітрі вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Цей газ може призвести до смерті через декілька хвилин за відносно великої концентрації 8–10 %, яка на пожежах трапляється досить нечасто. Однак і за менших концентрацій CO<sub>2</sub> небезпечний, позаяк зумовлює прискорене дихання, яке призводить до збільшення поглинання організмом інших токсичних продуктів горіння. Так, за концентрації CO<sub>2</sub>, яка дорівнює 2 %, частота дихання збільшується в 1,1 раза, а при 6 % – в 1,5 раза. Гранично допустиме значення токсичного газоподібного продукту згоряння – CO<sub>2</sub> – становить 0,11 кг/м<sup>3</sup> [1].

На рис. 3 наведено результати розрахунку тривалості блокування шляхів евакуації в цеху переробки паперу небезпечним фактором пожежі – підвищеною концентрацією CO<sub>2</sub> – через 190 с.

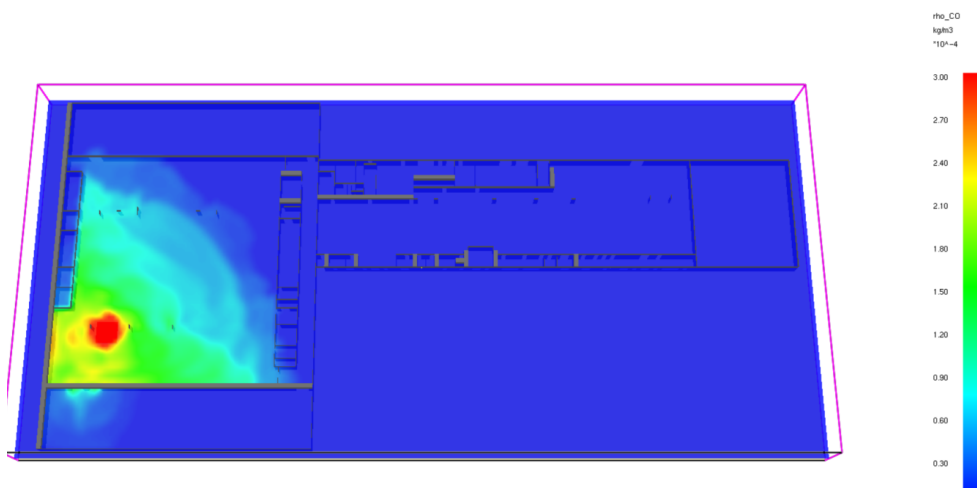


Рис. 2. Концентрація  $CO$  у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 190 с

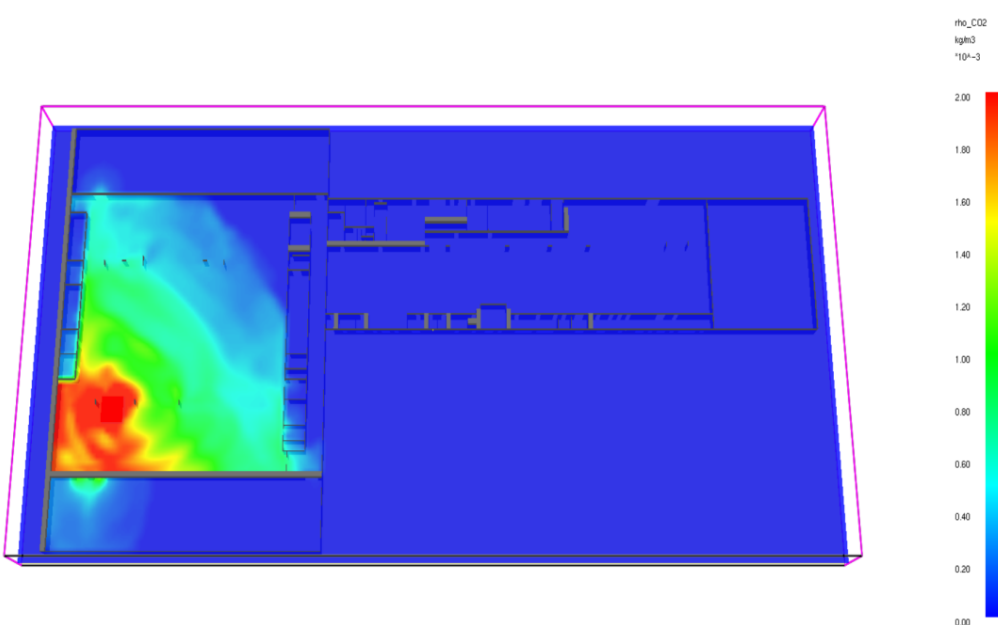


Рис. 3. Концентрація  $CO_2$  у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 190 с

Як показано на рис. 3, блокування евакуаційних виходів через підвищену концентрацією  $CO_2$  при пожежі в цеху переробки паперу через 190 секунд не відбувається.

Знижена концентрація кисню зумовлена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція окиснення горючих речовин і матеріалів. Небезпечною для життя людини вважається концентрація кисню в повітрі, яка менша за 14 % (норма – 21 %). При цьому втрачається координація рухів, з'являється слабкість, запаморочення, загальмовується свідомість. За концентрації кисню 9...11 % смерть настає через декілька хвилин. Гранично допустиме значення вмісту кисню становить  $0,226 \text{ кг/м}^3$  [1].

На рис. 4 показано результати розрахунку тривалості блокування шляхів евакуації небезпечним фактором пожежі – низькою концентрацією  $O_2$  – у цеху переробки паперу через 190 секунд.

Як бачимо (див. рис. 4), блокування евакуаційних виходів через низьку концентрацію  $O_2$  при пожежі в цеху переробки паперу через 190 с не відбувається. Отож, на 190 с (час евакуації останньої людини) евакуаційні шляхи не блокуються.

Основною небезпекою впливу відкритого вогню, іскор і теплового потоку за виникнення пожежі є можливість отримання опіків різного ступеня важкості. Небезпека підвищеної темпе-

ратури середовища полягає в тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами горіння може призвести до ураження органів дихання та смерті. Гранично допустиме значення підвищеної температури становить 60 °С [1]. Під час пожежі температура полум'я може досягати 1200...1400 °С, і у людей, які перебувають у зоні пожежі, випромінювання полум'я можуть спричинити опіки та больові відчуття. Гранично

допустиме значення теплового потоку становить 2500 Вт/м<sup>2</sup> [1].

Результати розрахунку тривалості блокування шляхів евакуації небезпечним фактором пожежі – підвищеною температурою – у цеху переробки паперу через 190 с (рис. 5) демонструють, що блокування евакуаційних виходів через підвищену температуру через 190 с не відбувається.

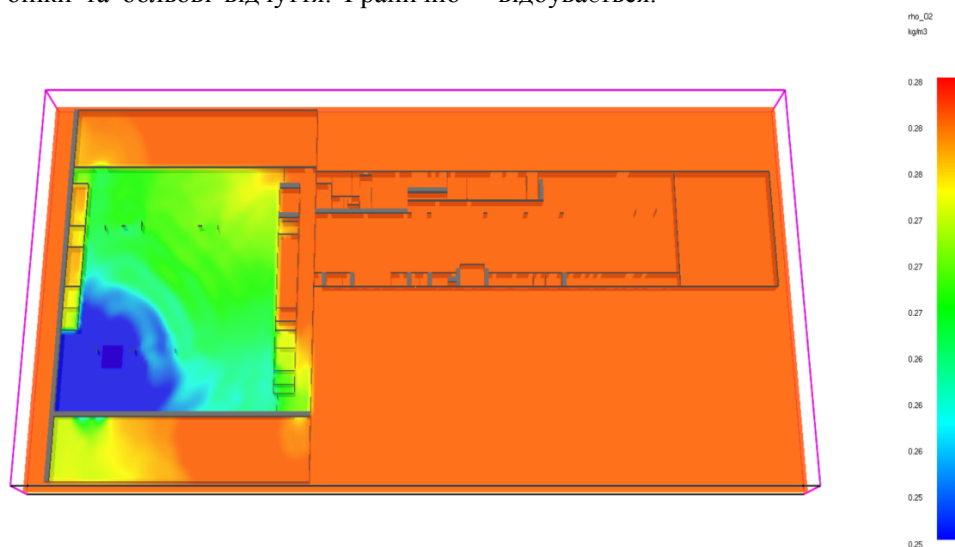


Рис. 4. Концентрація O<sub>2</sub> у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 190 с

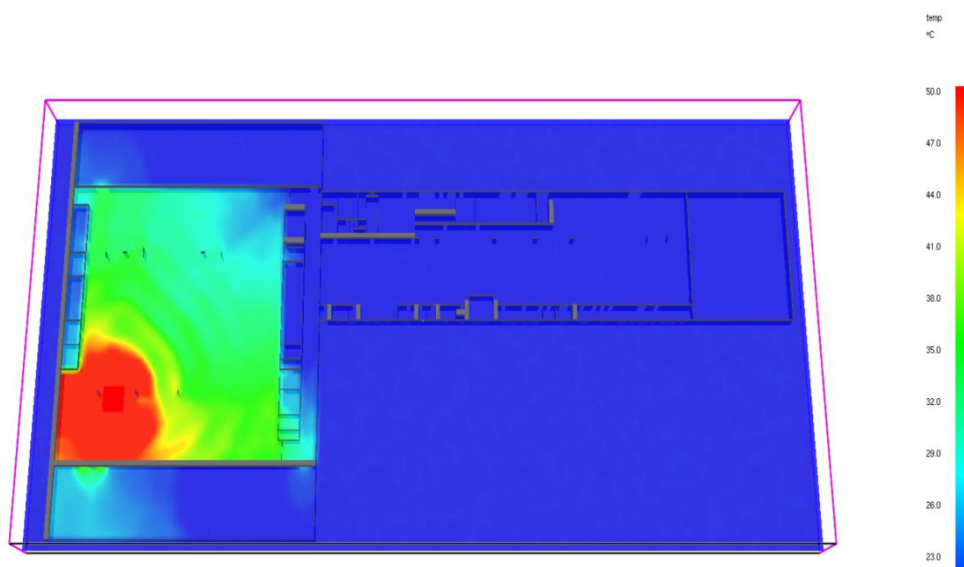


Рис. 5. Температура у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 190 с

Газоподібні продукти горіння складаються з диму і безбарвних газів. Дим – суміш дрібних твердих і рідинних часточок незгорілих речовин, які надходять у повітря при згорянні речовин і перебувають у завислому стані. Дим зумовлює інтенсивне подразнення органів дихання та сли-

зових оболонок (сильний кашель, сльозотечу тощо). У задимлених приміщеннях унаслідок погіршення видимості сповільнюється евакуація людей, а інколи здійснити її неможливо. Задимленість вважається граничною, якщо показник послаблення світла димом на одиницю довжини

становить 2,4. Гранично допустиме значення втрати видимості становить 20 м (у випадку, якщо обидва горизонтальні лінійні розміри приміщення менші 20 м, гранично допустиму відстань щодо втрати видимості слід приймати рівною найбільшому горизонтальному лінійному розміру) [1].

На рис. 6 зображено результати розрахунку тривалості блокування шляхів евакуації небезпечним фактором пожежі – втратою видимості – у цеху переробки паперу через 190 с.

Блокування евакуаційних виходів через втрату видимості при пожежі в цеху переробки паперу через 190 с не відбувається (рис. 6). Встановлено (рис. 7), що найшвидше блокуються евакуаційні виходи з цеху переробки паперу через втрату видимості – 331 с.

Як зображено, блокуються евакуаційні виходи – видимість становить менше за 20 м. Отож, час блокування шляхів евакуації небезпечним фактором пожежі – втратою видимості – з цеху переробки паперу становить 331 с.

Отже, у роботі встановлено, що в цеху переробки паперу, де питоме пожежне навантаження перевищує  $500 \text{ МДж/м}^2$ , блокування шляхів евакуації відбудеться внаслідок втрати видимості через 331 с. Це дає підстави для обґрунтування застосування більш ефективних систем димовилучення в цеху переробки паперу. А дотримання чинних правил пожежної безпеки під час проектування евакуаційних шляхів і виходів на об'єктах паперово-целюлозної промисловості дає змогу забезпечити своєчасну евакуацію працівників у безпечні місця.

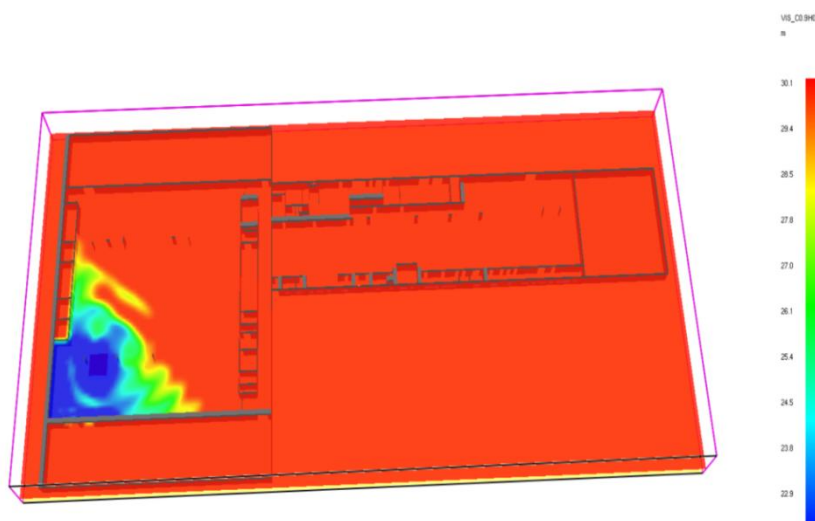


Рис. 6. Видимість у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 190 с

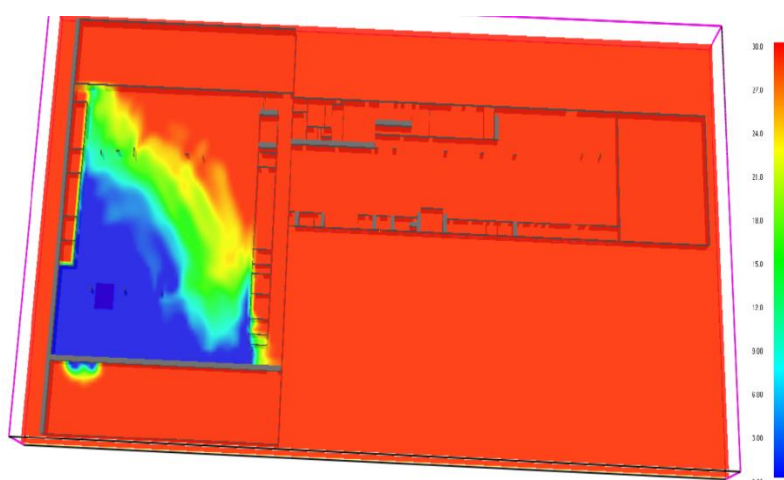


Рис. 7. Видимість у приміщеннях під час пожежі в цеху переробки паперу через 331 с

**Висновки.** Проведено аналіз небезпечних факторів пожежі в цеху переробки паперу паперової фабрики. Для опису термогазодинамічних параметрів пожежі в цеху переробки паперу підприємства і визначення небезпечних факторів пожежі застосовано польову модель. Розраховано максимальний час евакуації під час пожежі в цеху переробки паперу. Відображено, що впродовж цього часу (190 с) блокування евакуаційних виходів через втрату видимості, підвищену температуру, підвищену концентрацію CO, підвищену концентрацію CO<sub>2</sub>, низьку концентрацію O<sub>2</sub> не відбувається. За результатами моделювання із застосуванням FDS доведено, що найнебезпечнішим фактором пожежі в цеху переробки паперу, де питоме пожежне навантаження перевищує 500 МДж/м<sup>2</sup>, є втрата видимості, яка настає через 331 с. Це дає підстави для обґрунтування застосування більш ефективних систем димовилучення в цеху переробки паперу.

#### Бібліографічний список

1. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2018. 163 с.
2. Програма FDS (Fire Dynamics Simulator). URL: [http://fds.sitis.ru/docs/FDS\\_5\\_User\\_Guide.pdf](http://fds.sitis.ru/docs/FDS_5_User_Guide.pdf) (дата звернення: 23.08.2022).
3. Ковалишин В. В., Чернов С. М. Експериментальне дослідження небезпечних факторів на початковій стадії розвитку пожежі. *Системи обробки інформації*. 2005. Вип. 7 (47). С. 77–84.
4. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Москва: ВИПТШ, 1980. 256 с.
5. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: пер. с англ. / под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. Москва: Стройиздат, 1990. 424 с.
6. Молчадский И. С. Пожар в помещении. Москва: ВНИИПО МЧС России, 2005. 455 с.
7. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни і визначення. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2007. 28 с.
8. Храпский С. Ф. Прогнозирование опасных факторов пожара. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. 80 с.
9. Гуліда Е. М. Прогнозування величини оптичної густини диму при пожежі в приміщенні. *Пожежна безпека*. 2011. № 18. С. 65–70.
10. Гуліда Е. М. Вплив різних видів пожежного навантаження на димовиділення та на пониження концентрації кисню при пожежі в закритому приміщенні. *Пожежна безпека*. 2014. № 24. С. 65–73.
11. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. рекомендации. Москва: ВНИИПО МЧС России, 2003. 35 с.
12. Рекомендации по использованию программы FDS с применением программ PyroSim 2010-2 и SmokeView. Екатеринбург: СИТИС, 2011. 88 с.
13. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. Москва: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
14. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. Москва: Стройиздат, 1984. 375 с.
15. Примаков С. П., Барбаш В. А. Технологія паперу і картону: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. Київ: ЕКМО, 2008. 425 с.

Стаття надійшла 29.08.2022