

14. Мосюк М.І. Гідродинаміка стаціонарного шару подрібненої "енергетичної" верби під час фільтраційного сушіння / М.І. Мосюк, В.М. Атаманюк, Д.П. Кіндзера // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса : Одеська національна академія харчових технологій. – 2011. – Вип. 40, т. 1. – 274. – С. 197-202 с.

15. Атаманюк В.М. Гідродинаміка стаціонарного шару технічного вуглецю // В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький // Восточно-Европейский журнал передовых технологий / – Харків. – 2009. – Вип. 5/5 (41). – С. 29-34.

16. Атаманюк В.М. Гідродинаміка стаціонарного шару полідисперсного матеріалу під час фільтраційного сушіння. / В.М. Атаманюк, І.Р. Барна, Р.В. Ходорівський, М.П. Пелех // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.9. – С. 104-110.

17. Атаманюк В.М. Гідродинаміка стаціонарного шару гранульованого крупно пористого силікагелю / В.М. Атаманюк, Р.В. Ходорівський, М.М. Басистий // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.5. – С. 116-121.

**Атаманюк В.М., Кіндзера Д.П., Госовский Р.Р. Расчет коэффициента гидравлического сопротивления при движении теплового агента сквозь стационарный слой измельченных стеблей подсолнечника**

Приведены результаты расчета коэффициента гидравлического сопротивления, на основе уравнений Дарси-Вейсбаха, при движении теплового агента сквозь слой измельченных стеблей подсолнечника. Также проведен анализ максимального значения относительной погрешности между рассчитанными теоретическими значениями потерь давления  $\Delta P_m$  и экспериментальными  $\Delta P_e$ , не превышающей 20 %. Обоснована целесообразность использования отходов сельского хозяйства, в частности стеблей подсолнечника, для изготовления топливных брикетов.

**Ключевые слова:** измельченные стебли подсолнечника, альтернативные источники энергии, биомасса, полидисперсная смесь, гидродинамика, коэффициент гидравлического сопротивления.

**Atamanyuk V.M., Kindzera D.P., Gosovsky R.R. The calculation of the coefficient of hydraulic resistance in the thermal motion of the agent through the stationary layer of crushed sunflower stems**

The results of calculation of the coefficient of hydraulic resistance, based on the equations of Darcy-Veysbaha during the movement of heat the agent through layer of crushed sunflower stems. Also the analysis of maximum relative error between the calculated theoretical values of pressure loss  $\Delta P_m$  and experimental  $\Delta P_e$  not exceeding 20 %. Feasibility of using agricultural waste, including sunflower stalks for the manufacture of fuel briquettes.

**Keywords:** crushed sunflower stems, alternative energy, biomass, polydisperse mixture, hydrodynamics, the coefficient of hydraulic resistance.

УДК 614.843 (075.32) Проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук; доц. І.О. Мовчан, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

**ОЦІНЮВАННЯ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ ДЛЯ СПОРУД ВИРОБНИЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

На підставі аналізу основних положень теорії надійності отримано залежності для визначення кількісної величини потенціального, індивідуального та соціального пожежних ризиків для споруд виробничого призначення. Отримані залежності дають змогу прогнозувати значення пожежних ризиків для реалізації пожежної безпеки об'єкта захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей, що є дуже важливим для попередження можливості виникнення пожежі.

**Ключові слова:** пожежний ризик, пожежа, частота появи пожежі, інтенсивність відмов.

**Сучасний стан проблеми.** Перед тим, як розглянути методологію проведення аудиту пожежного ризику для споруд виробничого призначення, наведемо основні положення, визначення і типи пожежних ризиків для обгрунтованого подання поставленого питання. Згідно з даними роботи [1], які наведені відповідно до законодавства Російської Федерації, розглянемо основні визначення та рекомендації стосовно пожежних ризиків.

**Пожежний ризик** – міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкта захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей.

**Розрахунок пожежного ризику** – оцінка дії на людей вражаючих факторів пожежі та прийнятих заходів щодо зменшення частоти їх виникнення і наслідків. На підставі цього визначення можна сформулювати визначення оцінки пожежного ризику як аудиту пожежної безпеки.

**Оцінка пожежного ризику (аудит пожежної безпеки)** – діяльність з оцінки відповідності встановленим вимогам систем забезпечення пожежної безпеки.

**Індивідуальний пожежний ризик** – пожежний ризик, який може призвести до загибелі людини внаслідок дії небезпечних факторів пожежі.

**Соціальний пожежний ризик** – ступінь небезпечності, який призводить до загибелі групи людей внаслідок дії небезпечних факторів пожежі.

**Потенціальний пожежний ризик** – частота виникнення небезпечних факторів пожежі на території або в будівлі, яку розглядаємо.

Наведені визначення пожежних ризиків та їх допустимі значення згідно з рекомендаціями [1] розподіляють між об'єктами захисту так:

1. Для цивільних будівель (житлові, громадські та адміністративні) розглядають пожежний ризик та його оцінку, а також індивідуальний пожежний ризик. При цьому повинна виконуватися умова

$$\varepsilon_{ц.б} \leq [\varepsilon_{ц.б}]; \varepsilon_{ц.б.і} \leq [\varepsilon_{ц.б.і}], \quad (1)$$

де:  $\varepsilon_{ц.б}$  – розрахована величина пожежного ризику для цивільних будівель;  $[\varepsilon_{ц.б}] = 10^{-5}$  – нормативне значення пожежного ризику для цивільних будівель;  $\varepsilon_{ц.б.і}$  – розрахована величина індивідуального пожежного ризику для цивільних будівель;  $[\varepsilon_{ц.б.і}] = 10^{-6}$  – нормативне значення індивідуального пожежного ризику для цивільних будівель.

2. Для споруд виробничого призначення розглядають потенціальний пожежний ризик для будівель  $\varepsilon_{в.о.б}$  і території  $\varepsilon_{в.о.т}$ , а також соціальний пожежний ризик  $\varepsilon_{в.о.с}$  та індивідуальний пожежний ризик  $\varepsilon_{в.о.і}$ , значення яких не повинні перевищувати нормативні значення:

$$\varepsilon_{в.о.б} \leq [\varepsilon_{в.о.б}] = 10^{-5}; \varepsilon_{в.о.т} \leq [\varepsilon_{в.о.т}] = 10^{-6}; \varepsilon_{в.о.с} \leq [\varepsilon_{в.о.с}] = 10^{-7}; \varepsilon_{в.о.і} \leq [\varepsilon_{в.о.і}] = 10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ – в приміщенні}; \varepsilon_{в.о.і} \leq [\varepsilon_{в.о.і}] = 10^{-8} \text{ – на території.} \quad (2)$$

Для довідки: індивідуальний пожежний ризик у Росії  $2,07 \cdot 10^{-4}$ ; у США –  $4,4 \cdot 10^{-5}$ ; в Японії –  $4,8 \cdot 10^{-5}$ ; у Великобританії та Франції –  $6,8 \cdot 10^{-5}$ .

Згідно з наказом МНС України від 29.01.2004 р., № 39, всі об'єкти поділено на групи, наприклад: споруди виробничого призначення; торговельно-складські споруди; соціально-культурні, громадські та адміністративні споруди; споруди сільськогосподарського призначення; споруди житлового сектору та інші.

У роботі [2] наведено розрахунки визначення ризику виникнення пожежі для України за групами споруд на підставі розрахунку за статистичними даними ймовірності виникнення пожежі, а саме діленням кількості об'єктів, на яких виникла пожежа, на загальну кількість об'єктів цієї групи за ЄДРПОУ. Наприклад, для споруд виробничого призначення України було визначено ризик виникнення пожежі  $\varepsilon_{в.о.б} = 7,94 \cdot 10^{-3}$ . За даними авторів зазначено, "...що наведені в статті дані не є конкретними для кожної будівлі чи споруди, а носять загальний характер".

Отже, можна констатувати, що на цей час відсутній метод визначення пожежних ризиків для конкретних споруд виробничого призначення. Тому наше завдання – розробити метод визначення пожежних ризиків для споруд виробничого призначення.

**Мета роботи.** Розробити метод прогнозування пожежних ризиків для споруд виробничого призначення.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Розглядаючи різні об'єкти виробничого призначення, можна зауважити, що вони складаються із різних споруд (будівель), які розміщені на певній території. До складу об'єктів виробничого призначення відносять: 1) виробничі цехи (в більшості випадків це одноповерхові будівлі); 2) складські приміщення (різних матеріалів та готової продукції); 3) транспортний цех для розміщення в ньому різних транспортних засобів; 4) склад паливно-мастильних матеріалів; 5) адміністративне приміщення; 6) територія об'єкта виробничого призначення.

Для розроблення методу прогнозування пожежних ризиків для споруд виробничого призначення розглянемо найбільш небезпечну складову такого об'єкта в забезпеченні пожежної безпеки, а саме виробничий цех. У цеху розміщено виробниче та підйомно-транспортне обладнання, систему вентиляції, які споживають електричну енергію від електроштитових, рівномірно розміщених вздовж периметра цеху; мережу трубопроводів для підводу до робочих місць стиснутого повітря; мережу загального та місцевого освітлення робочих місць; прилади контролю продукції на дільницях відділу технічного контролю. Крім цього, в цеху в робочий час перебувають основні та допоміжні робітники, а також інженерно-технічний персонал.

**Потенціальний пожежний ризик для цеху (будівлі)  $\varepsilon_{в.о.б}$**  буде дорівнювати за значенням ймовірності відмови об'єкта (будівлі)  $F_{в.о.б}(\tau)$  з точки зору виникнення пожежі. У випадку, коли об'єкт виробничого призначення здатний виконувати всі задані функції і задовольняє усі вимоги технічної і нормативної документації щодо реалізації пожежної безпеки, то ризик виникнення пожежі буде наближатися до нуля, тобто ймовірність відмови об'єкта  $F_{в.о.б}(\tau)$  з точки зору виникнення пожежі буде наближатися до нуля. У цьому випадку можна записати

$$\varepsilon_{в.о.б} = F_{в.о.б}(\tau) = 1 - R_{в.о.б}(\tau), \quad (3)$$

де  $R_{в.о.б}(\tau)$  – ймовірність безвідмовної роботи або експлуатації всієї системи цеху, тобто об'єкта виробничого призначення.

Своєю чергою, до складу системи об'єкта виробничого призначення входять: елементи сповіщення про виникнення пожежі; системи, які працюють на природному газі; електричні мережі; вентиляційні системи; електронна апаратура, яка експлуатується на об'єкті виробничого призначення тощо. У цьому випадку ризик виникнення пожежі  $\varepsilon_{в.о.б}$  залежить від дії будь-якого чинника системи об'єкта виробничого призначення, дія яких виконується завжди паралельно. У випадку паралельної дії чинників об'єкта виробничого призначення ймовірність безвідмовної роботи всієї системи можна визначити за залежністю

$$R_{в.о.б}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(\tau_i)), \quad (4)$$

де:  $R_i(\tau_i)$  – ймовірність безвідмовної роботи обладнання, відповідної техніки або експлуатації відповідної окремої системи об'єкта виробничого призначення;  $n$  – загальна кількість складових системи об'єкта виробничого призначення.

Після визначення  $R_{в.о.б}(\tau)$  за залежністю (4) визначають значення пожежного ризику. Розглянемо визначення ймовірності безвідмовної роботи  $R_i(\tau_i)$  складових елементів системи об'єкта виробничого призначення.

**1. Ймовірність безвідмовної роботи пожежних сповіщувачів.** На проміжку часу  $[0, \tau]$  в більшості випадків інтенсивність відмов пожежних сповіщувачів  $\lambda_c(\tau)$  є сталою величиною, тобто можна записати

$$\lambda_c(\tau) = \lambda_c.$$

Згідно з ДСТУ EN 54 [3], час  $T_{в.с}$  напрацювання сповіщувача на відмову (час безперервної роботи) дорівнює 10 рокам. Тоді

$$\lambda_c = \frac{1}{T_{в.с}} = \frac{1}{10 \cdot 365 \cdot 24} = 1,14 \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}. \quad (5)$$

Виходячи з того, що інтенсивність відмов пожежних сповіщувачів є сталою величиною, для визначення ймовірності їх безвідмовної роботи скористуємося експоненціальним законом розподілу. Тоді ймовірність безвідмовної роботи  $R_c(\tau)$  пожежних сповіщувачів на проміжку часу  $[0, 87600]$ , тобто в період від початку нормальної експлуатації (при  $\tau=0$ ) до напрацювання на відмову (при  $\tau=87600$  год), буде

$$R_c(\tau) = \exp[-\lambda_c \tau]. \quad (6)$$

Коли в приміщенні об'єкта встановлено сповіщувачі різних років випуску, то в цьому випадку визначають ймовірність безвідмовної роботи  $R_{cj}(\tau)$  для кожної групи  $j = 1, 2, 3, \dots, m$  сповіщувачів з урахуванням часу експлуатації кожної групи за залежністю (6) і визначають загальне значення ймовірності безвідмовної роботи  $R_c(\tau)$  за залежністю

$$R_c(\tau) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_{cj}(\tau)), \quad (7)$$

де  $m$  – загальне число груп сповіщувачів.

**2. Імовірність безвідмовної роботи газових приладів.** Згідно з ДБН В. 2,5-20-2001 [4], час напрацювання газових приладів на відмову становить 10 років, тобто  $T_{г.г.п} = 10 \cdot 365 \cdot 24 \cdot k_g$ , год (де  $k_g = 0,2 \dots 0,3$  – коефіцієнт, який враховує використання газових приладів). Для розрахунків його значення приймають  $k_g = 0,25$ . Тоді  $T_{г.г.п} = 21900$  год, а інтенсивність відмов  $\lambda_{г.г.п}$  газових приладів буде

$$\lambda_{г.г.п} = \frac{1}{T_{г.г.п}} = \frac{1}{21900} = 4,57 \cdot 10^{-5}, \text{ год}^{-1}. \quad (8)$$

Імовірність безвідмовної роботи  $R_{г.г.п}(\tau)$  визначають за залежністю

$$R_{г.г.п}(\tau) = \exp[-\lambda_{г.г.п}\tau]. \quad (9)$$

Якщо в приміщенні об'єкта використовують газові прилади різних років випуску, то в цьому випадку визначають імовірність безвідмовної роботи для кожної групи приладів і розраховують загальне значення за аналогією, як і для пожежних сповіщувачів.

**3. Імовірність безвідмовної роботи електричної мережі об'єкта виробничого призначення.** Для визначення імовірності безвідмовної роботи електричної мережі об'єкта виробничого призначення спочатку розглянемо її складові. До складу цієї системи входять: 1) безпосередньо електрична мережа; 2) електрощитові, які рівномірно розміщені вздовж периметра цеху.

Згідно з рекомендаціями [5], час  $T_{в.е.м}$  напрацювання електричної мережі на відмову становить 20 років, а електрощитових – 10 років, тобто  $T_{в.е.щ} = 87600$  год (при цьому вказується, що цей час може змішуватися залежно від типу електрощитової). Тому імовірність безвідмовної роботи електричної мережі будемо визначати з використанням експоненціального закону розподілу, а для електрощитових, беручи до уваги рекомендації [6], будемо використовувати закон розподілу Вейбулла з параметром форми  $b = 2$ , який в цьому випадку перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією інтенсивності відмов.

Тоді для електромереж:

$$\lambda_{е.м} = \frac{1}{T_{в.е.м}} = \frac{1}{20 \cdot 365 \cdot 24} = 5,7 \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}; \quad (10)$$

$$R_{е.м} = \exp[-\lambda_{е.м}\tau]; \quad (11)$$

для електрощитових:

$$R_{е.щ}(\tau) = \exp\left[-\left(\frac{\tau}{T_{в.е.щ}}\right)^2\right]. \quad (12)$$

Сумарну імовірність безвідмовної роботи електричної мережі  $R_e(\tau)$  визначаємо за залежністю, яка враховує паралельну роботу як електромережі, так і електрощитових:

$$R_e(\tau) = 1 - [1 - R_{е.м}(\tau)][1 - R_{е.щ}(\tau)]. \quad (13)$$

**4. Імовірність безвідмовної роботи вентиляційної системи об'єкта виробничого призначення.** Вентиляційна система об'єкта виробничого при-

значення складається із трубопроводів і вентилятора. Імовірність безвідмовної роботи трубопроводів дорівнює одиниці, а вентилятора – залежить від часу  $T_{в.в.с}$  напрацювання на відмову. Своєю чергою, час напрацювання на відмову відцентрових вентиляторів, які головним чином використовують у вентиляційних системах виробничих об'єктів, залежить від надійності роботи вентилятора, електродвигуна вентилятора та клинопасової передачі від електродвигуна до вентилятора. З усіх складових конструктивних елементів найменше напрацювання на відмову має клинопасова передача. Тому для визначення імовірності безвідмовної роботи вентиляційної системи об'єкта виробничого призначення приймаємо клинопасову передачу. Згідно із ГОСТ 1284.2-89 [7] напрацювання на відмову клинових пасів IV класу за легкого і середнього режимів роботи дорівнює  $T_{в.в.с} = 700$  год. Беручи за основу рекомендації [6], імовірність безвідмовної роботи вентиляційної системи визначаємо за залежністю

$$R_{в.с}(\tau) = \exp\left[-\left(\frac{\tau}{T_{в.в.с}}\right)^2\right]. \quad (14)$$

**5. Імовірність безвідмовної роботи електронної апаратури  $R_{е.а}$ , яка експлуатується на ділянках відділу технічного контролю для контролю продукції:**

$$R_{е.а}(\tau) = \exp\left[-\left(\frac{\tau}{T_{в.е.а}}\right)^2\right], \quad (15)$$

де  $T_{в.е.а}$  – час напрацювання на відмову електронної апаратури, год;

$$T_{в.е.а} = z \cdot 365 \cdot 24 = 2 \cdot 365 \cdot 24 = 17520 \text{ год}, \quad (16)$$

де  $Z = 2$  – кількість років безвідмовної роботи електронної апаратури згідно з рекомендаціями, які базуються на дворічному терміні гарантії на електронну апаратуру.

**6. Імовірність безвідмовної роботи мережі трубопроводів** для підводу до робочих місць стиснутого повітря дорівнює одиниці та практично не впливає на значення пожежного ризику. Під час визначення значень  $R_i(\tau_i)$  для всіх  $n$  складових систем об'єкта виробничого призначення необхідно приймати час  $\tau_i$  за період від початку експлуатації відповідної складової системи об'єкта до моменту визначення пожежного ризику. Після визначення  $R_i(\tau_i)$  для всіх  $n$  складових систем об'єкта необхідно визначити імовірність безвідмовної роботи всієї системи  $R_{в.о.б}(\tau)$  за залежністю (4). При цьому необхідно враховувати таке: у випадку, коли якесь значення  $R_i(\tau_i)$  буде дорівнювати одиниці, то це значення в залежність (4) не підставляти.

Визначене значення  $R_{в.о.б}(\tau)$  дає змогу обчислити значення пожежного ризику для будівель  $\varepsilon_{в.о.б}$  за залежністю (3) і для прогнозу можливості виникнення пожежі отримане значення  $\varepsilon_{в.о.б}$  необхідно порівняти з допустимим  $[\varepsilon_{в.о.б}]$ . Коли розраховане значення ризику буде менше або буде дорівнювати допустимому, можна вважати за прогнозом, що пожежа не виникне.

**Потенціальний пожежний ризик для території виробничого об'єкта**  $\varepsilon_{в.о.т}$  можна визначити тільки після встановлення пожежного ризику для всіх споруд виробничого призначення, які розміщені на території об'єкта. На підставі значень  $R_{в.о.б.i}(\tau)$  визначають  $\varepsilon_{в.о.т}$  за залежностями

$$R_{в.о.т}(\tau) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - R_{в.о.б.i}(\tau)); \quad (17)$$

$$\varepsilon_{в.о.т} = F_{в.о.т}(\tau) = 1 - R_{в.о.т}(\tau) \leq [\varepsilon_{в.о.т}], \quad (18)$$

де  $N$  – загальна кількість споруд виробничого призначення, яка розміщена на території об'єкта.

**Соціальний пожежний ризик**  $\varepsilon_{в.о.с}$  у приміщенні об'єкта виробничого призначення залежить від надійної роботи системи сповіщення про пожежу, імовірності присутності людей в приміщенні, критичного часу пожежі та імовірності евакуації людей за цей час, а також від надійності роботи технічних споряджень, які спрямовані на забезпечення безпечної евакуації людей. Отже, процес евакуації людей з приміщення починається з моменту виникнення пожежі, яка має частоту відповідно до визначеного пожежного ризику для об'єкта (будівлі) виробничого призначення, який розглядаємо. Тоді соціальний пожежний ризик можна визначити за залежністю

$$\varepsilon_{в.о.с} = \varepsilon_{в.о.б} \varepsilon_c P_{нр.л} (1 - P_{ев.л}) (1 - R_{без.л}(\tau_k)) \leq [\varepsilon_{в.о.с}], \quad (19)$$

де:  $\varepsilon_c$  – ризик відмови системи сповіщення, який визначають за залежностями (7) і (3);  $P_{нр.л}$  – імовірність присутності людей в приміщенні.

$$P_{нр.л} = \frac{\tau_{нр.л}}{24}, \quad (20)$$

де:  $\tau_{нр.л}$  – час присутності людей на робочих місцях; в більшості випадків робота на виробничих об'єктах виконується у дві зміни, тобто  $\tau_{нр.л} = 16$  год;  $P_{ев.л}$  – імовірність успішної евакуації людей з приміщення, в якому виникла пожежа;  $R_{без.л}(\tau_{н.е})$  – імовірність безвідмовної роботи технічних споряджень, які спрямовані на забезпечення безпечної евакуації людей;  $\tau_k$  – критичний час пожежі, тобто час від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів небезпечними факторами пожежі;  $\tau_{н.е}$  – інтервал часу від початку пожежі до початку евакуації людей з приміщення, в якому виникла пожежа.

Для визначення  $P_{ев.л}$  необхідно розрахувати значення критичного часу пожежі  $\tau_k$  і час евакуації  $\tau_e$ . Під час визначення  $\tau_k$  скористуємося рекомендаціями, які наведені в роботах [8, 9].

**Критичний час пожежі** залежить від досягнення для людини гранично допустимих значень небезпечних факторів пожежі в зоні перебування людей. До цих факторів відносять температуру, яка не повинна перевищувати 70°C, та гранично допустимі значення густини кисню  $O_2 \geq 0,226$  кг/м<sup>3</sup>; оксиду вуглецю  $CO \leq 0,00116$  кг/м<sup>3</sup>; вуглекислого газу  $CO_2 \leq 0,11$  кг/м<sup>3</sup>; хлористого водню  $HCl \leq 23 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>. Крім цього, у процесі пожежі в приміщенні утворюється дим, допустимим значенням оптичної густини якого може бути величина  $\mu \leq 1,2$  Нп/м, що забезпечує видимість до 2 м, тобто в межах росту людини, яка під час переміщення може бачити підлогу.

Визначення критичного часу пожежі виконуємо в такій послідовності:

1) за концентрацією кисню, наприклад для кругової пожежі класу А [8]:

$$\tau_{к.О_2} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \varphi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[ \frac{\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1 - \varphi) Q_{\min}} + \rho_{01}}{\frac{c_p \rho_0 T_0 L_1}{(1 - \varphi) Q_{\min}} + \rho_{1к}} \right] \right\}^{1/n}, \text{ с} \quad (21)$$

де:  $c_p \approx 10^3$  Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> – ізобарна теплоємність газового середовища в приміщенні;  $\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2$  кг·м<sup>-3</sup>·К;  $\eta \approx 1$  – коефіцієнт повноти згорання;  $\varphi \approx 0,5$  – коефіцієнт тепловтрат;  $Q_{\min}$  – найнижча теплота згорання, Дж/кг;  $\psi_n$  – питома швидкість вигорання, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $V$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $v_n$  – лінійна швидкість поширення полум'я, м/с;  $L_1$  – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необхідна для згорання 1 кг матеріалу, що горить під час пожежі;  $\rho_{01} = 0,27$  кг/м<sup>3</sup> – початкова густина кисню в приміщенні;  $\rho_{1к} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup> – критична густина кисню;  $n = 3$  – для кругової пожежі;

2) за концентрацією токсичних газів [8]:

$$\tau_{к.т.г} = \left\{ \frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \varphi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{(1 - \varphi) Q_{\min}}{c_p \rho_0 T_0 L_2} \rho_{2к}} \right] \right\}^{1/n}, \text{ с} \quad (22)$$

де:  $L_2$  – стехіометричний коефіцієнт, який вказує кількість виділених токсичних газів у кг на 1 кг матеріалу, що горить під час пожежі;  $\rho_{2к}$  – критична густина відповідного токсичного газу;

3) за димом [9]:

$$\mu = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{Q_{\min} \eta (1 - \varphi)} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\psi_n S_{\Pi} \eta Q_{\min} (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 V} \tau \right) \right], \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1} \quad (23)$$

де:  $D$  – питома димовиділення, Нп·м<sup>2</sup>/кг;  $S_{\Pi} = 0,125 \alpha v_n^2 \tau^2$ , м<sup>2</sup> – площа кругової та кутової пожежі;  $\alpha$  – кут пожежі, рад.

Значення  $Q_{\min}$ ,  $\psi_n$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $D$ ,  $\rho_{2к}$  та  $v_n$  наведено в роботі [8].

Для визначення критичного часу пожежі необхідно визначити критичні проміжки часу за концентрацією кисню, за концентрацією всіх можливих токсичних газів та визначити критичний час пожежі при  $\mu = 1,2$  Нп/м. З усіх визначених проміжків часу вибрати найменше значення, яке буде відповідати  $\tau_k$ . Чисельні розрахунки для різних об'ємів приміщень показали, що критичний час пожежі змінюється в межах  $\tau_k = 5 \dots 10$  хв. Цей час можна збільшити приблизно в два рази, якщо всі працівники в приміщенні об'єкта будуть забезпечені індивідуальними засобами захисту дихальних органів (респіраторами). Крім цього, необхідно враховувати температуру повітря вздовж шляхів евакуації. Результати аналізу температур початкових стадій пожежі у приміщеннях виробничих об'єктів показали, що на відстані 10...18 м від осередку пожежі температура повітря на висоті від підлоги до площини рівних тисків (2...3 м) за 10...15 хв від початку пожежі менша ніж 70°C.

Час евакуації  $\tau_e$  людей з приміщення можна визначити з урахуванням рекомендацій [10]. Для розрахунку приймаємо густину людського потоку під час евакуації в приміщенні з використанням горизонтального шляху  $q_e = 0,51$  люд./м<sup>2</sup>, а по сходах вниз –  $q_c = 0,89$  люд./м<sup>2</sup>. У приміщенні загальна кількість працівників  $N$ , з яких, за даними статистики, 10 % інженерно-технічних працюючих осіб, завжди розміщується на другому поверсі адміністративного приміщення, що прибудоване до головної будівлі виробничого об'єкта. Максимальну довжину шляху евакуації з адміністративного приміщення до першого поверху виробничого об'єкта  $l_a$  встановлюють під час розроблення плану евакуації.

Мінімальна кількість евакуаційних виходів з приміщення виробничого об'єкта  $\kappa = 2$ . При розрахунках приймаємо евакуаційний шлях  $l_e$  найбільшої довжини, як діагональ прямокутної форми приміщення виробничого об'єкта, тобто

$$l_e = k_{кр} \sqrt{L^2 + B^2}, \text{ м} \quad (24)$$

де:  $k_{кр} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривину шляху евакуації;  $L$  – довжина корпусу, м;  $B$  – ширина корпусу, м.

Наступним етапом визначають площу людського потоку при евакуації з адміністративного приміщення  $S_{л.а}$  та загальну (сумарну) площу людського потоку при евакуації з приміщення виробничого об'єкта  $S_{л.сум}$ :

$$S_{л.а} = 0,1Nq_c, \text{ м}^2; \quad (25)$$

$$S_{л.сум} = Nq_e, \text{ м}^2. \quad (26)$$

На підставі площ людських потоків визначаємо їх ширину, виходячи з довжин шляхів евакуації:

$$b_a = \frac{S_{л.а}}{l_a} \leq 1,5 \text{ м}; \quad (27)$$

$$b_e = \frac{S_{л.сум}}{l_e} \leq 2 \text{ м}, \quad (28)$$

де: 1,5 м – ширина маршів сходових кліток адміністративного приміщення; 2 м – найменша ширина проходів та евакуаційних дверей в приміщенні виробничого об'єкта. Коли нерівності (27) і (28) не виконуються, необхідно розв'язати зворотну задачу, тобто, виходячи з умов цих залежностей, визначити значення  $l_a$  і  $l_e$ , прийнявши  $b_a = 1,5$  м, а  $b_e = 2$  м.

Враховуючи, що  $l_a$  значно менше  $l_e$ , то час евакуації з адміністративного приміщення перекивається часом евакуації з приміщення виробничого об'єкта. Тоді розрахунковий час тривалості евакуації буде

$$\tau_e = \frac{l_e}{kV_e}, \text{ хв} \quad (29)$$

де  $V_e$  – середня швидкість вільного руху людського потоку, м/хв; згідно з рекомендаціями [10], середня швидкість по горизонтальній поверхні та сходах вниз змінюється в межах 66...90 м/хв.

Для визначення  $P_{ев.л}$  необхідно знати інтервал часу від початку пожежі до початку евакуації  $\tau_{н.е}$ . Цей час згідно з рекомендаціями [10] для будівель,

які споряджені системою сповіщення та керуванням евакуацією, знаходиться в межах  $\tau_{н.е} = 3...6$  хв. Тоді

$$P_{ев.л} = \frac{0,8\tau_k - \tau_e}{\tau_{не}}. \quad (30)$$

Імовірність безвідмовної роботи технічних споряджень  $R_{без.л}(\tau_{н.е})$ , які спрямовані на забезпечення безпечної евакуації людей, залежить від часу напрацювання на відмову  $T_{в.без.л}$  технічних споряджень. До такого спорядження відносять пристрій для автоматичного відкривання евакуаційних дверей, який спрацьовує від сигналу системи пожежних сповіщувачів. Згідно з паспортом на цей пристрій, гарантійний термін безвідмовної роботи становить два роки, тобто  $T_{в.без.л} = 17520$  год = 1051200 хв. Тоді

$$R_{без.л}(\tau_{н.е}) = \exp[-\lambda\tau_{н.е}], \quad (31)$$

де  $\lambda = 9,5 \cdot 10^{-7}$  хв<sup>-1</sup> – інтенсивність відмови пристрою для автоматичного відкривання евакуаційних дверей.

**Індивідуальний пожежний ризик**  $\epsilon_{в.о.і}$  визначають за тією методикою, що і соціальний, але при цьому треба враховувати, що його відносять до однієї людини, яка може знаходитися в приміщенні виробничого об'єкта як в адміністративному приміщенні, так і в виробничому. Такий варіант знаходження поодиноких працівників на виробничому об'єкті може бути, наприклад, у третю зміну внаслідок переналагодження виробничого процесу або ремонту виробничого обладнання. У цьому випадку при визначенні часу тривалості евакуації необхідно в залежність (29) замість шляху евакуації  $l_e$  підставляти суму шляхів  $l_a + l_e$  і цей шлях буде вести тільки до одного евакуаційного виходу, тобто  $k = 1$ . Тоді

$$\tau_e = \frac{l_a + l_e}{V_e}, \text{ хв} \quad (32)$$

### Висновки:

1. Розроблено метод оцінювання пожежного ризику для споруд виробничого призначення, який дає змогу проводити аудит пожежної небезпеки виробничих об'єктів захисту і цим самим на підставі прогнозу впроваджувати необхідні заходи для забезпечення пожежної безпеки об'єкта.
2. У процесі виконання аудиту пожежної небезпеки виробничих об'єктів захисту необхідно обов'язково розглядати *потенціальний пожежний ризик* для будівель  $\epsilon_{в.о.б}$  і території  $\epsilon_{в.о.т}$  об'єкта, а також *соціальний пожежний ризик*  $\epsilon_{в.о.с}$  та *індивідуальний пожежний ризик*  $\epsilon_{в.о.і}$ , значення яких не повинні перевищувати нормативні значення.
3. Необхідна подальша робота з метою удосконалення та спрощення методу для прогнозування ризику виникнення пожеж споруд виробничого призначення з метою нагромадження та розширення банку даних.

### Література

1. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин. – 46 с. [Электронный ресурс]. – Доступный з <http://www.akademypgs.ru>.

2. Климась Р. Визначення ймовірності виникнення пожеж у будівлях і спорудах різного призначення / Р. Климась, Д. Матвійчук // Надзвичайна ситуація : зб. наук. праць. – 2011. – № 11 (168). – С. 44-45.

3. ДСТУ EN 54-14:2005. Системи пожежної сигналізації. Вимоги по проектуванню, монтажу, налагоді, експлуатації і технічному обслуговуванню. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.budinfo.org.ua/doc/1811902.jsp>

4. ДБН В.2.5-20-2001. Газоснабження. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.dwg.ru/dnl/8144>

5. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. [Электронный ресурс]. – Доступный з <http://www.elec.ru/library/direction/pue.html>

6. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Изд-во "Мир", 1984. – 318 с.

7. ГОСТ 1284.2-89. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия. [Электронный ресурс]. – Доступный з <http://www.vsegost.com/Catalog/28/28539.shtml>

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

9. Гуліда Е.М. Прогнозування величини оптичної густини диму при пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2011. – № 18. – С. 65-70.

10. Холщевников В.В. Моделирование людских потоков / В.В. Холщевников // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Изд-во "Пожнаука", 2000. – С. 139-169.

**Гуліда Е.Н., Мовчан І.А. Оценка пожарного риска для сооруженного производственного назначения**

На основании анализа основных положений теории надежности получены зависимости для определения количественной величины потенциального, индивидуального и социального пожарных рисков для сооружений производственного назначения. Полученные зависимости позволяют прогнозировать значение пожарных рисков для реализации пожарной безопасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей, которые являются очень важными для предупреждения возможности возникновения пожара.

**Ключевые слова:** пожарный риск, пожар, частота появления пожара, интенсивность отказов.

**Hulida Ye.M., Movchan I.O. Estimation of fire risk for building of productive setting**

On the basis of analysis of substantive provisions of theory of reliability there were the got dependences for determination of quantitative size potential, individual and social fire risks for building of the productive setting. The got dependences allow to forecast the value of fire risks for realization of fire safety of object of defence and her consequences for people and material values that are very important for warning of possibility of origin of fire.

**Keywords:** fire risk, fire, frequency of appearance of fire, intensity of refusals.

УДК 674.047.3

Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук;

аспір. В.С. Козар; доц. Н.Д. Довга, канд. фіз.-мат. наук;

доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів

**ХАРАКТЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ СУШІННЯ НА КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛООБМІНУ**

Розглянуто особливості впливу коефіцієнта тепловіддачі на інтенсивність процесу сушіння за конвективного способу підведення теплоти до об'єкта сушіння. Наведено залежності та формули для визначення коефіцієнта теплообміну. Досліджено взаємозв'язки між критеріями подібності, що відображають процеси тепломасоперенесення.

Відомо [1], що на інтенсивність процесу сушіння деревини істотно впливають в одних випадках зовнішні умови передачі теплоти від генератора теплової енергії, а в інших – внутрішні умови, тобто умови перенесення теплоти і маси (вологи) в середині матеріалу. Тому кількісні характеристики явищ тепло- і вологообміну між об'єктом та агентом сушіння описують коефіцієнтами тепло- і вологообміну.

У реальних деревних сортиментах (дошках, чорнових меблевих заготовках, паркетному фризу тощо) перенесення теплоти та маси здійснюється у трьох структурних напрямках (по довжині, в радіальному і тангентальному напрямках). З огляду на те, що в більшості випадків відношення ширини до товщини матеріалу, який висушується, більше трьох, то за характерний розмір приймають половину товщини, тобто  $R=S_1/2$ , де  $S_1$  – товщина матеріалу. Під час сушіння обрізних пиломатеріалів унаслідок формування штабелів без шпаций надалі за умови використання сушильних камер із поперечною примусовою циркуляцією нагрітого повітря за визначений розмір приймають кожний горизонтальний ряд штабеля і розглядають його як необмежену пластину. У цьому випадку неточність у визначенні характерного розміру ляже частково на коефіцієнт теплообміну (останній визначається експериментально). Під час дослідження процесів сушіння багатомірних тіл, коли  $S_2/S_1 < 3,0$  визначення коефіцієнтів можна представляти як добуток розв'язків для необмежених (безмежно довгих) одновимірних тіл, кожне з яких буде мати характерний розмір, що відповідає розміру багатомірного тіла в певному напрямку. Проте розв'язання таких диференціальних рівнянь навіть сучасними методами математики є трудомісткими, а в окремих випадках – і неможливими. Тому визначення коефіцієнта теплообміну здійснюють для одновимірного тіла.

Для будь-якого періоду, наприклад конвективного способу сушіння, формула розрахунку коефіцієнта теплообміну матиме вигляд:

$$\alpha_{конв} = \frac{dw/d\tau \cdot \rho_{\delta} \cdot R(r + C_M \cdot dt/dw \cdot 100)}{100 \cdot (t_c - t_{п.м})} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (1)$$

де:  $dw/d\tau$  – швидкість сушіння у будь-якому періоді, %/с;  $\rho_{\delta}$  – базова густина,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $R$  – визначальний (характерний) розмір об'єкта сушіння, м;  $r$  – питома теплота пароутворення ( $r \approx 2500 - 2,38 \cdot t_m$  кДж/кг або  $r \approx 2490 - 0,001 \cdot t_m$  кДж/кг);  $C_M$  – питома теплоємність деревини,  $C_M = f(t_m, W)$ , кДж/(кг·°C);  $t_c, t_{п.м}$  – відповідно температури сухого термометра і поверхні матеріалу ( $t_{п.м} \approx t_m, t_m$  – температура мокрого термометра, °C).

У періоді зниження швидкості змінюються як температура поверхні матеріалу  $t_{п.м}$ , так і швидкість сушіння  $dw/d\tau$  і швидкість нагрівання матеріалу  $dt/dw$ . Це означає, що коефіцієнт конвективного теплообміну також змінюється. Для періоду постійної швидкості сушіння ( $N=dw/d\tau \approx \text{const}$ ), коли з поверхні матеріалу випаровується вільна вода і температура поверхні практично є сталою величиною ( $dt/d\tau \rightarrow 0$ ), то вираз (1) спрощується і набуває вигляду:

$$\alpha_k = \frac{\rho_{\delta} \cdot R \cdot r \cdot dW/d\tau}{100(t_c - t_{п.м})} \quad (2)$$