

лії, відкритий пошкоджений ґрунт у садах та на клумбах, місця, де використовувалися гербіциди). У дослідженнях цей вид траплявся в лісах на Передкарпатті, які зазнали значного впливу людини, наприклад на відкритому ґрунті лісових доріг або в перезволожених місцях. Цей вид є екологічно пластичним і має декілька підвидів, що можуть бути характерними різним екологічним умовам.

**Висновки.** Загалом у межах дослідженого регіону в лісових угрупованнях 13 різних асоціацій виявлено 49 видів печіночників, що належать до 19 родин, 6 порядків, 2 класів. До загально характерних для цих угруповань можна віднести такі види: *Radula complanata*, *Plagiochila asplenioides*, *Nowellia curvifolia*, *Metzgeria furcata*, *Frullania dilatata*, *Lophocolea heterophylla*, *Lepidozia reptans*, *Blepharostoma trichophyllum*, *Bazzania trilobata*. Окремі види виявили доволі вузьку спеціалізацію, наприклад: *Trichocolea tomentella*, *Scapania nemorea*, *Chiloscyphus rivularis* були знайдені тільки в лісах, що належать до асоціації *Aneutum incanae*. Незважаючи на те, що в лісових рослинних угрупованнях печіночники зазвичай не відіграють помітної функціональної ролі, вони є невід'ємною складовою їхнього бріокомпонента та можуть мати діагностичне значення, а тому заслуговують ретельного дослідження.

### Література

1. Бойко М.Ф. Чекліст мохоподібних України / М.Ф. Бойко. – Херсон : Изд-во "Айланта", 2008. – 232 с.
2. Лапшина Е.Д. Печеночники (Marchantiophyta) равнинной Частыханты-Мансийского автономного округа (западная Сибирь) / Е.Д. Лапшина, Н.А. Константинова // Arctoa. – 2012. – Вип. 21. – С. 85-92.
3. Elenberg H. Zeigerwerte von Laub – und Lebermoosen / E. H. Elenberg, R. Dull // Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta geobotanica. Verlag. E. Gotze KG, D 3400 toffingen. – 1992. – S. 175-214.
4. Matuszkiewicz W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. – Warszawa, 2001, Wydawnictwo naukowe PWN. – 537 s.

### *Савицька А.Г.* Печеночники лесных сообществ Предкарпатья и Горган

Проведено дослідження бріологічного компонента растительного покрыва лесов Осмолодского, Выгодского, Болеховского и Стрыйского лесных хозяйств. Составлен таксономический список, который состоит из 49 видов печеночников, относящихся к 19 семействам, 6 порядкам, 2 классам (Marchantiopsida, Jungermannopsida). Представленные результаты освещают особенности распространения печеночников в лесных сообществах 13 различных ассоциаций, распространенных на территории исследований. Проанализировано диагностическое значение печеночников для определения ассоциаций и других синтаксонов. Определены 9 широко распространенных видов и 12 видов, которые встречаются редко.

**Ключевые слова:** Прикарпатье, Горганы, мохообразные, печеночники.

### *Savyt'ska A.G.* Liverworts of Forest Communities of the Precarpathians and Gorgany

The bryological component of vegetation in Vygoda, Bolechiv, Osmoloda and Striy forests were investigated. Liverwort of Precarpathians, midlands and lowlands of Gorgany were studied. The taxonomical list that consists of 49 species of liverworts, belonging to 19 families, 6 orders, 2 classes (Marchantiopsida, Jungermannopsida) was compiled. The results are representing features of distribution of liverworts in forest communities of 13 different associations. The diagnostic value of liverworts to determine associations and other syntaxons was analyzed. Nine widespread species and 12 species that are rare were detected.

**Key words:** the Precarpathians, Gorgany, mosses, liverworts.

## 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 614.843(075.32)

Проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук; доц. І.О. Мовчан, канд. техн. наук; курсант Т.М. Кім – Львівський ДУ БЖД

### МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СОЦІАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ В ПРИМІЩЕННЯХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

Розроблено методику визначення соціального пожежного ризику, яка дає змогу встановити можливу кількість постраждалих у зоні виникнення пожежі від дії небезпечних факторів. Для пояснення особливостей використання розробленої методики розглянуто приклад визначення соціального пожежного ризику в умовах виникнення пожежі на території Львівського ДУ БЖД. Розглянуто сценарій виникнення та поширення пожежі у процесі проведення навчального процесу, проведено розрахунок часу евакуації людей з приміщень коридорами на сходову клітку. Безпека людей забезпечується тоді, коли тривалість евакуації не перевищує тривалості настання критичної фази розвитку пожежі. Для цього розраховано період, за який температура, густина диму, концентрація кисню, хлористого водню, вуглекислого і чадного газу досягає гранично небезпечних значень для людини. Проаналізовано ймовірність успішної евакуації, перевірено відповідність допустимим значенням соціального пожежного ризику, а також розглянуто заходи, які дають змогу забезпечити допустиме значення соціального пожежного ризику.

**Ключові слова:** соціальний пожежний ризик, небезпечні фактори пожежі, критичний час пожежі, евакуація.

**Постановка проблеми.** У сфері пожежної безпеки користуються терміном "пожежний ризик", тобто це є міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єктів захисту міста та її наслідків для людей і матеріальних цінностей. Гарантування пожежної безпеки об'єктів захисту складається з визначення, аналізу та оцінювання пожежного ризику, що дає змогу розробляти і впроваджувати відповідні заходи для зменшення їх значень до прийнятного значення. Крім цього, в пожежній практиці також користуються термінами індивідуальний та соціальний пожежні ризики. Відомо, що індивідуальний пожежний ризик – пожежний ризик, який може призвести до загибелі людини внаслідок дії небезпечних факторів пожежі, а соціальний пожежний ризик – ступінь небезпечності, яка призводить до загибелі групи людей внаслідок дії небезпечних факторів пожежі. Стосовно ризику виникнення пожежі у приміщеннях навчальних закладів, в яких перебуває значна кількість студентів та навчально-методичного персоналу, є дуже відповідальною проблемою для прийняття всіх необхідних заходів з метою недопущення її виникнення. Тому для таких приміщень необхідно, насамперед, забезпечити значення соціального пожежного ризику в межах допустимого значення. Згідно з рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я і Постанови Кабінету міністрів України [1, 2], пожежні ризики класифікують так: 1) незначний ризик  $\varepsilon \leq 10^{-6}$ ; 2) середній ризик  $\varepsilon = 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ ; 3) високий (терпимий) ризик  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ ; 4) неприйнятний ризик  $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$ . 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 –  $6,8 \cdot 10^{-5}$  [3]. Щодо соціального пожежного ризику у

технічній і нормативній літературі відсутні дані для його визначення та не наведено необхідних рекомендацій для забезпечення допустимого значення з метою прогнозування не виникнення пожежі. Тому виникає проблема у потребі розроблення методики визначення соціального пожежного ризику та відповідних заходів для забезпечення його допустимого значення для приміщень зі значною кількістю перебування людей.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** 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 [4] наведено розрахунки визначення ризику виникнення пожежі для України за групами споруд на підставі розрахунку ймовірності виникнення пожежі та загибелі людей за статистичними даними, а саме діленням кількості об'єктів, на яких виникла пожежа, на загальну кількість об'єктів цієї групи за ЄДРПОУ та середньої кількості загиблих на об'єктах зазначеної галузі на загальну кількість людей цієї галузі. Наприклад, для соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд України було визначено ризик виникнення пожежі  $\varepsilon = 3,42 \cdot 10^{-3}$ , а по загибелі людей –  $\varepsilon = 2,44 \cdot 10^{-6}$ . За даними авторів зазначено, "...що наведені в статті дані не є конкретними для кожної будівлі чи споруди, а носять загальний характер".

У роботі [5] наведено методику визначення індивідуального пожежного ризику, в якій надаються загальні залежності без визначення значень їх складових. Для визначення складових у методиці наведено дані, які рекомендовані на підставі статистики, але вони не дають змогу визначити ризик для кожного конкретного випадку. Визначення складових пожежного ризику для житлового сектору наведено в роботі [6]. При цьому використовувалися основні положення теорії надійності. Наведені рекомендації для визначення деяких складових пожежного ризику можна використовувати і для визначення деяких складових соціального пожежного ризику. Наприклад, у роботі [3] наведено на підставі аналізу значної кількості результатів досліджень допустиме значення соціального пожежного ризику для виробничих приміщень, а саме  $[\varepsilon_{c,i}] = 10^{-7}$ .

Існує також значна кількість опублікованих робіт, які розглядають пожежний ризик на підставі аналізу результатів статистики пожеж і відповідних при цьому втрат стосовно загиблих і травмованих. Результати таких робіт не дають змогу прогнозувати той чи інший пожежний ризик. Тому, аналізуючи останні досягнення і публікації, можна констатувати, що визначенню соціального пожежного ризику та його забезпеченню практично не приділено уваги.

**Мета роботи.** На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень потрібно розробити методику визначення соціального пожежного ризику та заходи з його забезпечення.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Розробити методику визначення соціального пожежного ризику.
2. Розглянути приклад використання методики стосовно приміщень навчальних закладів.
3. Запропонувати заходи для зменшення величини соціального пожежного ризику.

На першому етапі розглянемо основні підходи до визначення соціального пожежного ризику. Для об'єктів, в яких перебуває значна кількість людей, соціальний пожежний ризик визначають за умови, коли в процесі виникнення пожежі може постраждати внаслідок дії небезпечних факторів пожежі не менше 10 осіб [5]. Середнє значення постраждалих  $N_i$  у зоні виникнення пожежі від її небезпечних факторів можна визначити за залежністю

$$N_i = \sum_{i=1}^I P_i n_i, \quad (1)$$

де:  $P_i$  – умовна ймовірність ураження людини, яка перебуває в  $i$ -ій зоні, небезпечними факторами пожежі;  $n_i$  – середня кількість людей, які перебувають в  $i$ -ій зоні;  $I$  – загальна кількість зон, в яких виникла пожежа. У випадку, коли  $N_i < 10$ , виконують розрахунок індивідуального пожежного ризику.

Для визначення  $P_i$  необхідно знати можливу ймовірність евакуації  $P_{e,i}$  людей з  $i$ -ої зони дії небезпечних факторів пожежі, яка, водночас, залежить від критичного часу пожежі  $\tau_{k,i}$ , часу евакуації  $\tau_{e,i}$  та інтервалу часу від початку реалізації сценарію пожежі до початку евакуації з  $i$ -ої зони  $\tau_{n,e,i}$ . Тоді

$$P_i = 1 - P_{e,i}. \quad (2)$$

Розглянемо визначення складових для розрахунку  $P_{e,i}$ . Визначення критичного часу пожежі  $\tau_{k,i}$ , наприклад для пожеж класу А, виконуємо в такій послідовності:

- 1) за концентрацією кисню

$$\tau_{k,iO_2} = \sqrt[n]{\frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \phi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[ \frac{c_p \rho_0 T_0 L_1 + (1 - \phi) Q_{\min} \rho_{01}}{c_p \rho_0 T_0 L_1 + (1 - \phi) Q_{\min} \rho_{1k}} \right]}, \text{ с} \quad (3)$$

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;  $V$  – об'єм приміщення для поширення продуктів горіння, м<sup>3</sup>;  $\eta \approx 1$  – коефіцієнт повноти згоряння;  $\phi \approx 0,5$  – коефіцієнт тепловтрат;  $Q_{\min}$  – найнижча теплота згоряння, Дж/кг;  $\psi_n$  – питома швидкість вигорання, кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $v_n$  – лінійна швидкість поширення полум'я, м/с;  $L_1$  – стехіометричний коефіцієнт, що визначає кількість кисню в кг, яка необхідна для згоряння 1 кг матеріалу, що горить при пожежі;  $\rho_{01} = 0,27$  кг/м<sup>3</sup> – початкова густина кисню в приміщенні;  $\rho_{1k} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup> – критична густина кисню;  $n = 3$  – для кругового поширення пожежі;  $n = 2$  – для лінійного поширення пожежі;

- 2) за концентрацією токсичних газів

$$\tau_{k,i.m.g} = \sqrt[n]{\frac{3c_p \rho_0 T_0 V}{\pi \eta (1 - \phi) Q_{\min} \psi_n v_n^2} \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{(1 - \phi) Q_{\min}}{c_p \rho_0 T_0 L_2} \rho_{2k}} \right]}, \text{ с} \quad (4)$$

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

- 3) за оптичною густиною диму

$$\mu_i = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{Q_{\min} \eta (1 - \phi)} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\psi_n S_{\Pi} \eta Q_{\min} (1 - \phi) \tau}{c_p \rho_0 T_0 V} \right) \right], \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1} \quad (5)$$

де:  $D$  – питоме димовиділення, Нп·м<sup>2</sup>/кг;  $S_{\Pi} = 0,125\alpha v_{\tau}^2 \tau^2$ , м<sup>2</sup> – площа кругової та кутової пожежі;  $\alpha$  – кут пожежі, рад;  $\tau$  – тривалість пожежі, с. Значення  $Q_{\min}$ ,  $\psi_n$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $D$  та  $v_{\tau}$  наведено для різних випадків пожежі в [7].

Для визначення критичного часу пожежі необхідно визначити критичні часи за концентрацією кисню, за концентрацією всіх можливих токсичних газів та визначити оптичну густину диму за найменшим значенням часу в секундах, який отримано за залежностями (3) і (4). Значення оптичної густини диму повинно бути  $\mu_i \leq 1,2$  Нп/м. У випадку, коли оптична густина диму буде  $\mu_i > 1,2$  Нп/м, то необхідно зменшити цей час для забезпечення наведеної умови і тільки після цього прийняти значення  $\tau_{k,i}$ . Після цього визначаємо температуру нагріву середовища приміщення від пожежі з використанням залежності для стандартного температурного режиму

$$t = [345 \lg(8\tau_{k,i} + 1)]k + t_0, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

де:  $\tau_{k,i}$  – тривалість пожежі в межах критичного часу пожежі, хв;  $t_0$  – температура середовища приміщення до початку пожежі,  $^\circ\text{C}$ ; при розрахунках  $t_0$  приймають  $20^\circ\text{C}$ ;  $k = 0,06 \dots 0,07$  – коефіцієнт, який враховує поширення тепла від осередку пожежі на її початковій стадії за об'ємом приміщення на висоті до 2 м від підлоги. Значення  $t$  на проходах не повинно перевищувати  $70^\circ\text{C}$ . У випадку, коли  $t$  буде більше  $70^\circ\text{C}$ , то необхідно зменшувати  $\tau_{k,i}$ .

З усіх визначених часів необхідно вибрати найменше значення, яке буде відповідати  $\tau_{k,i}$ . Чисельні розрахунки для різних об'ємів приміщень показали, що критичний час пожежі коливається в межах  $\tau_k = 5 \dots 10$  хв. Цей час можна збільшити приблизно в два рази, якщо всі хто знаходиться 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 пожеж у приміщеннях показали, що на відстані 10...18 м від осередку пожежі температура повітря на висоті від підлоги до 2...2,5 м за 10...15 хв від початку пожежі менша ніж  $70^\circ\text{C}$ .

Після визначення критичного часу пожежі  $\tau_{k,i}$  переходимо до визначення імовірності евакуації  $P_{e,i}$  постраждалих із зони виникнення пожежі

$$P_{e,i} = 1 - (1 - P_{e,ni})(1 - P_{e,ai}), \quad (10)$$

де:  $P_{e,ni}$  – імовірність евакуації людей, які перебувають у приміщенні  $i$ -ої зони, по евакуаційним шляхам при реалізації сценарію пожежі;  $P_{e,ai}$  – імовірність евакуації людей через аварійні виходи або за допомогою інших засобів спасіння (за відсутності даних  $P_{e,ai}$  допускається приймати 0,03 за наявності аварійних виходів або засобів спасіння та 0,001 – за їх відсутності).

Імовірність евакуації людей  $P_{e,ni}$  евакуаційними шляхами в зоні виникнення пожежі визначають за залежністю

$$P_{e,ni} = \frac{0,8\tau_{k,i} - \tau_{ei}}{\tau_{nei}}, \quad (11)$$

де:  $\tau_{ei}$  – час евакуації з  $i$ -ої зони, хв;  $\tau_{nei}$  – час від початку пожежі до початку евакуації, хв (за наявності в приміщенні системи сповіщення про пожежу  $\tau_{nei}$  приймають рівним часу спрацювання системи з урахуванням її інерційності, тобто 0,25 хв; за відсутності систем сповіщення про пожежу та протидимового

захисту, а також систем управління евакуацією людей  $\tau_{n,e,i} = 3 \dots 6$  хв для поверху пожежі у навчальному закладі та  $\tau_{n,e,i} = 6$  хв для вищих поверхів [3]).

Час евакуації з  $i$ -ої зони визначають за залежністю

$$\tau_{ei} = \sum_{j=1}^m \tau_{e,j} + \tau_{zj}; \quad (12)$$

$$\tau_{e,j} = \frac{l_{e,j}}{k_e V_{e,j\delta}}, \quad (13)$$

де:  $m$  – загальна кількість  $j$ -их ділянок в  $i$ -ій зоні;  $\tau_{e,j}$  – час евакуації з  $j$ -ої ділянки, який не перекривається іншим часом евакуації, що діє одночасно, хв;  $l_{e,j}$  – шлях евакуації  $j$ -ої ділянки, м;  $k_e$  – кількість евакуаційних виходів;  $V_{e,j\delta}$  – дійсна середня швидкість евакуації на  $j$ -ій ділянці, м/хв;  $\tau_{z,i}$  – час затримки руху в  $i$ -ій зоні внаслідок скупчення людей на границі переходу з  $i$ -ої зони в зону  $(i + 1)$

$$\tau_{z,i} = n_i S \left( \frac{1}{q_{e(i+1)} b_{e(i+1)}} - \frac{1}{q_{ei} b_{ei}} \right), \quad (14)$$

де:  $S$  – середня площа горизонтальної проекції людини, м<sup>2</sup> (при розрахунках приймають  $S = 0,125$  м<sup>2</sup>);  $q_{e,i}$  – інтенсивність руху в  $i$ -ій зоні, м/хв;  $b_{e,i}$  – ширина евакуаційного проходу або дверей при виході з  $i$ -ої зони, м;  $q_{e(i+1)}$  – інтенсивність руху в  $(i+1)$  зоні, м/хв (при розрахунках приймають  $q_{e(i+1)} = 8,5$  м/хв при густині людського потоку  $D_{e,i} = 0,9$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> [3, 8]);  $b_{e(i+1)}$  – ширина проходу або дверей при переході в зону  $(i+1)$ , м.

Шлях евакуації  $l_{e,j}$  визначають як діагональ прямокутної  $j$ -ої ділянки людського проходу в приміщенні об'єкта, тобто

$$l_{e,j} = k_{кр} \sqrt{L_j^2 + B_j^2}, \text{ м} \quad (15)$$

де:  $k_{кр} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривину шляху евакуації в зоні виникнення пожежі;  $L_j$  – довжина  $j$ -го проходу в зоні виникнення пожежі, м;  $B_j$  – ширина проходу, м.

Середня швидкість руху:

- по горизонтальному шляху, через проріз та по сходах вниз можна визначити за залежністю [8]

$$V_{e,j} = 49,5 - 9,27 \ln[-\lg(0,1 + 1,284 k_{em,j})]; \quad (16)$$

- при русі по сходах до верху

$$V_{e,j} = 26,75 - 6,36 \ln[-\lg(0,1 + 1,284 k_{em,j})], \quad (17)$$

де  $k_{em,j}$  – коефіцієнт, який враховує емоціональний стан людей, що евакуюються в  $j$ -му проході; значення цього коефіцієнту знаходиться в межах  $k_{em,j} = 0 \dots 0,7$  (при відсутності емоціонального стану  $k_{em,j} = 0$ ) [8].

Для визначення дійсної середньої швидкості руху необхідно врахувати густину людського потоку  $D_{e,j}$  (м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>), яку визначають за залежністю [8]

$$D_{e,j} = \frac{N_{e,j} S}{l_{e,j} b_{e,j}}, \quad (18)$$

де:  $N_{e,j}$  – кількість людей на ділянці  $l_{e,j}$ ;  $b_{e,j}$  – ширина проходу або дверей при виході з  $j$ -ої ділянки, м. У цьому випадку дійсну швидкість руху людського потоку  $V_{e,j\delta}$  визначають за залежністю

$$V_{e,jD} = V_{e,jkD}, \quad (19)$$

де значення  $k_D$  визначають за залежністю

$$k_D = 0,98 \exp(-2,11D_{e,j}). \quad (20)$$

Крім цього, густина людського потоку  $D_{e,j}$  впливає на інтенсивність його руху  $q_{e,j}$  (м/хв). Тому необхідно виконати перевірку дійсного значення  $q_{e,j}$  з допустимим  $[q]$  з використанням залежності

$$q_{e,j} = 44,38D_{e,j}^2 + 51,6D_{e,j} + 2,27 \leq [q], \quad (21)$$

де:  $[q] = 16,5$  м/хв – для горизонтального шляху;  $[q] = 19,6$  м/хв – для дверних прорізів;  $[q] = 16$  м/хв – для сходів вниз;  $[q] = 11$  м/хв – для сходів до гори.

У випадку, коли  $q_{e,j} \leq [q]$ , дійсну швидкість руху визначають за залежністю (19), а у випадку, коли  $q_{e,j} > [q]$  дійсну швидкість руху визначають при  $D_{e,j} = 0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При визначенні імовірності евакуації людей  $P_{e,n,i}$  евакуаційними шляхами у зоні виникнення пожежі за залежністю (11) необхідно враховувати такі положення [5]:

1) у випадку, коли  $\tau_{e,i} < 0,8 \cdot \tau_{k,i} < \tau_{e,i} + \tau_{n,e,i}$ , то  $P_{e,n,i}$  визначають за залежністю (11);

2) у випадку, коли  $\tau_{e,i} + \tau_{n,e,i} \leq 0,8 \cdot \tau_{k,i}$ , то  $P_{e,n,i} = 0,999$ ;

3) у випадку, коли  $\tau_{e,i} \geq 0,8 \cdot \tau_{k,i}$ , то  $P_{e,n,i} = 0$ .

На другому етапі переходимо до визначення соціального пожежного ризику. Відповідно до рекомендацій [3, 5, 6, 8], соціальний пожежний ризик  $\varepsilon_{c,i}$  для  $i$ -ої зони приміщення можна представити так:

$$\varepsilon_{c,i} = \varepsilon_{ni} P_{li} \varepsilon_{mi} (1 - P_{ei}) \leq [\varepsilon_{c,i}], \quad (22)$$

де:  $\varepsilon_{ni}$  – ризик виникнення пожежі в приміщенні (розраховують на підставі статистичних даних для розглядуваного приміщення; у випадку відсутності статистичних даних допускається приймати  $\varepsilon_{ni} = 4 \cdot 10^{-2}$  [5]);  $P_{li}$  – імовірність присутності людей у приміщенні

$$P_{li} = \frac{\tau_{li}}{24}, \quad (23)$$

де:  $\tau_{li}$  – час присутності людей в аудиторіях, год (здебільшого на навчальних об'єктах заняття виконуються в дві зміни, тобто  $\tau_{li} = 9$  год);  $\varepsilon_{mi}$  – ризик відмови технічних засобів протипожежного захисту в  $i$ -ій зоні приміщення

$$\varepsilon_{mi} = \prod_{u=1}^U (1 - R_{m,i,j,u}), \quad (24)$$

де:  $U$  – загальна чисельність технічних засобів протипожежного захисту;  $R_{m,i,j,u}$  – імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го технічного засобу (наприклад, сповіщувач системи пожежної сигналізації або системи протидимового захисту тощо), який забезпечує пожежну безпеку людей при  $j$ -му сценарії пожежі для  $i$ -ої зони приміщення (значення  $R_{m,i,j,u}$  для різних технічних засобів можна визначити за залежностями, які наведені в роботах [6, 9, 10]);  $[\varepsilon_{c,i}]$  – допустиме нормативне значення соціального пожежного ризику згідно рекомендацій [1, 3, 5] дорівнює  $[\varepsilon_{c,i}] = 10^{-7}$ .

У випадку, коли визначене значення соціального пожежного ризику буде більшим від допустимого, необхідно впроваджувати відповідні можливі заходи

для його зменшення до необхідних меж. Після розроблення методики визначення соціального пожежного ризику розглянемо приклад з використанням, наприклад, аудиторного фонду правої сторони другого поверху навчального корпусу Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (рис.).

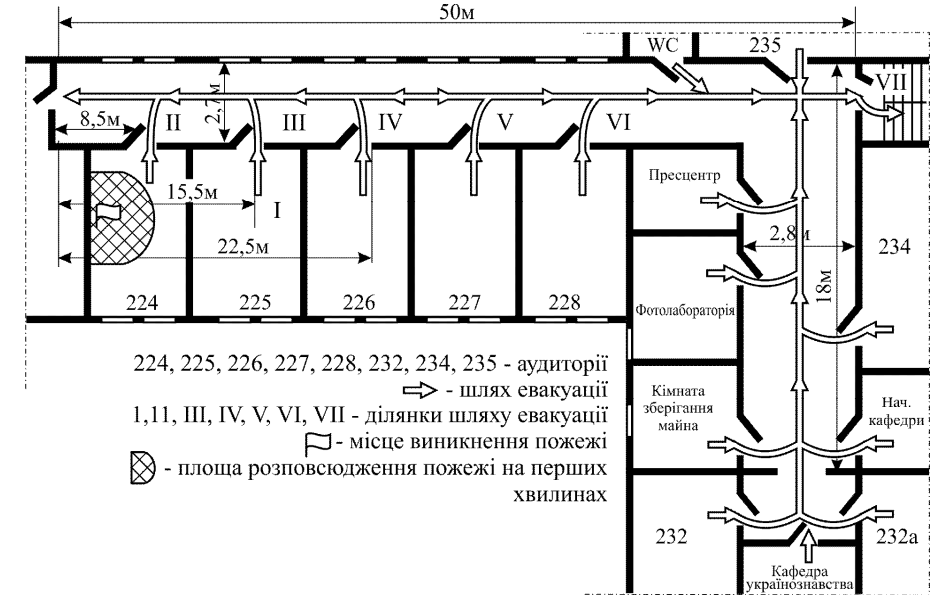


Рис. План-схема евакуації людського потоку з правої сторони другого поверху навчального корпусу Львівського ДУ БЖД

**Приклад.** Визначити значення соціального пожежного ризику при виникненні кутової ( $180^\circ$ ) пожежі в аудиторії 224 на другому поверсі навчального корпусу ЛДУ БЖД. Пожежа виникла внаслідок короткого замикання в електромережі, до якої був підключений комп'ютер (рис.). У момент виникнення пожежі в аудиторії нікого не було. В інших аудиторіях у цей момент проводилися заняття. Загальна кількість людей, яка знаходилася в аудиторіях та адміністративних приміщеннях, становила 210 осіб. В середньому в кожній навчальній аудиторії перебуває 29 осіб. Ще 7 осіб перебуває в адміністративних приміщеннях. В усіх приміщеннях розміщені тільки пожежні сповіщувачі, які експлуатуються в середньому 5 років. Розміри всіх аудиторій  $6 \times 10 \times 5$  м крім аудиторії 234, яка має розміри  $6 \times 15 \times 5$  м. Площа аудиторії 224 становить  $60 \text{ м}^2$ . Об'єм всіх приміщень і коридорів зони, в якій виникла пожежа, становить  $3778 \text{ м}^3$ . Злиття евакуаційних потоків здійснюється біля аудиторії 235 при виході з коридору шириною  $b_{e,i} = 2,7$  м на площадку через двері VII шириною  $b_{e,(i+1)} = 1,6$  м перед сходами вниз. Ширина дверей при евакуації за маршрутом II становить  $b_{e,i} = 1,6$  м, а з аудиторій –  $b_{e,j} = 1,6$  м. Систем сповіщення про пожежу та протидимового захисту, а також систем управління евакуацією людей і аварійні виходи в зоні виникнення пожежі відсутні. Час від початку виникнення пожежі до початку евакуації прийняти  $\tau_{n,e,i} = 3,8$  хв.

**Розв'язок.**

1. Визначаємо критичний час пожежі  $\tau_{k,i}$ :

1) за концентрацією кисню за залежністю (3)

$$\tau_{k_iO_2} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 3778}{3,14 \cdot (1-0,5)12800 \cdot 0,0145 \cdot 0,006^2} \ln \left[ \frac{\frac{10^3 \cdot 300 \cdot (-1,03)}{(1-0,5)12800} + 0,27}{\frac{10^3 \cdot 300 \cdot (-1,03)}{(1-0,5)12800} + 0,226} \right]} = 448 \approx 7,5 \text{ хв};$$

2) за концентрацією вуглекислого газу за залежністю (4)

$$\tau_{k_iCO_2} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 3778}{3,14 \cdot (1-0,5)12800 \cdot 0,0145 \cdot 0,006^2} \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{(1-0,5)12800}{10^3 \cdot 300 \cdot 0,203}} \right]} = 907 \approx 15,1 \text{ хв};$$

3) за концентрацією оксиду вуглецю за залежністю (4)

$$\tau_{k_iCO} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^3 \cdot 300 \cdot 3778}{3,14 \cdot (1-0,5)12800 \cdot 0,0145 \cdot 0,006^2} \ln \left[ \frac{1}{1 - \frac{(1-0,5)12800}{10^3 \cdot 300 \cdot 0,0022}} \right]} = 952 \approx 15,9 \text{ хв};$$

4) за оптичною густиною диму за залежністю (5)

$$\mu_i = \frac{10^3 \cdot 300 \cdot 53}{12800 \cdot (1-0,5)} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{0,0145 \cdot 2,84 \cdot 1 \cdot 12800 \cdot (1-0,5)}{10^3 \cdot 300 \cdot 3778} \cdot 448 \right) \right] = 0,25 \text{ Нп/м} < 1,2 \text{ Нп/м}.$$

5) визначаємо температуру нагріву середовища приміщення від пожежі за залежністю (9)

$$t = [345 \lg(8 \cdot 7,5 + 1)]0,065 + 20 = 61^\circ\text{C}.$$

З усіх визначених критичних часів вибираємо найменше значення (за концентрацією кисню), яке дорівнює  $\tau_{k,i} = 7,5$  хв.

2. Визначаємо час евакуації:

1) визначаємо швидкість руху людського потоку на ділянках  $i$ -ої зони по горизонтальному шляху та по сходах вниз за залежністю (16) при  $k_{e,m,j} = 0,35$

$$V_{e,j} = 49,5 - 9,27 \ln[-\lg(0,1 + 1,284 \cdot 0,35)] = 62 \text{ м/хв};$$

2) визначаємо густину людського потоку  $D_{e,j}$  при виході з аудиторій за залежностями (15) і (18):

$$l_{e,j} = 1,4\sqrt{10^2 + 6^2} = 16 \text{ м}; D_{e,j} = \frac{29 \cdot 0,125}{16 \cdot 1,6} = 0,14 \text{ м}^2/\text{м}^2;$$

3) визначаємо дійсне значення швидкості руху людського потоку за залежністю (19), визначивши величину коефіцієнта  $k_D$  за залежністю (20):

$$k_D = 0,98 \exp(-2,11 \cdot 0,14) = 0,73; V_{e,j\delta} = 62 \cdot 0,73 = 45,3 \text{ м/хв};$$

4) виконуємо перевірку дійсного значення  $q_{e,j}$  для горизонтального шляху з допустимим  $[q]$  за залежністю (21)

$$q_{e,j} = 44,38 \cdot 0,14^2 + 51,6 \cdot 0,14 + 2,27 = 10,36 \text{ м/хв} < [q] = 16,5 \text{ м/хв};$$

5) визначаємо дожини шляхів евакуації з урахуванням їх перекриття часом переміщення: шлях виходу з аудиторії  $l_{e1} = 16$  м (цей шлях однаковий для всіх аудиторій і він виконується одночасно всіма присутніми в них з початку

евакуації) при кількості людей 29 осіб; шлях евакуації II і III вздовж коридору (евакуація з аудиторій 225 і 226)  $l_{e2} = 22,5$  м (рис. 1) при кількості людей 29 осіб з кожної аудиторії; шлях евакуації з аудиторії 227 до аудиторії 228  $l_{e3} = 7$  м; шлях евакуації з аудиторії 228 до виходу VII  $l_{e4} = 50 - 22,5 - 14 = 13,5$  м; шлях евакуації з аудиторії 232 до аудиторії 234  $l_{e5} = 7 + 7 = 14$  м; шлях евакуації з аудиторії 234 до виходу VII  $l_{e6} = 18 - 3,5 - 7 - 1,35 = 6,15$  м.

6) визначаємо час евакуації з урахуванням часу затримки в проході VII за залежностями (12), (13) і (14):

$$\tau_{e1} = \frac{l_{e1}}{V_{e1\delta}} = \frac{16}{45,3} = 0,35 \text{ хв}; \tau_{e2} = \frac{22,5}{45,3} = 0,5 \text{ хв}; \tau_{e3} = \frac{7}{45,3} = 0,15 \text{ хв};$$

$$\tau_{e4} = \frac{13,5}{45,3} = 0,298 \text{ хв}; \tau_{e5} = \frac{14}{45,3} = 0,3 \text{ хв}; \tau_{e6} = \frac{6,15}{45,3} = 0,14 \text{ хв};$$

при визначенні часу затримки були прийняті значення  $q_{e,i} = 10,36$  м/хв, а  $q_{e(i+1)} = 8,5$  м/хв згідно з рекомендаціями [3]

$$\tau_{z,i} = (210 - 58)0,125 \left( \frac{1}{8,5 \cdot 1,6} - \frac{1}{10,36 \cdot 2,7} \right) = 0,72 \text{ хв};$$

в цьому випадку час евакуації буде

$$\tau_{ei} = \sum_{j=1}^6 \tau_{e,j} + \tau_{z,i} = 0,35 + 0,5 + 0,15 + 0,298 + 0,3 + 0,14 + 0,722 = 2,46 \text{ хв}.$$

3. Визначаємо імовірність евакуації людей, які перебувають у приміщенні  $i$ -ої зони, за залежністю (11)

$$P_{eni} = \frac{0,8 \tau_{k,i} - \tau_{ei}}{\tau_{nei}} = \frac{0,8 \cdot 7,5 - 2,46}{3,8} = 0,93.$$

4. Визначаємо загальну імовірність евакуації  $P_{e,i}$  із зони виникнення пожежі за залежністю (10)

$$P_{e,i} = 1 - (1 - 0,93)(1 - 0,001) = 0,93007.$$

5. Визначаємо кількість постраждалих  $N_i$  в зоні виникнення пожежі від її небезпечних факторів за залежністю (1)

$$N_i = 210(1 - 0,93007) \approx 15 \text{ осіб}$$

6. Визначаємо значення соціального пожежного ризику:

1) визначаємо імовірність присутності людей в приміщенні за залежністю (23)

$$P_{li} = \frac{\tau_{li}}{24} = \frac{9}{24} = 0,375;$$

2) визначаємо ризик відмови технічних засобів протипожежного захисту за залежністю (24). У зв'язку з відсутністю в аудиторіях систем сповіщення про пожежу та протидимового захисту, а також систем управління евакуацією людей ризик відмови технічних засобів протипожежного захисту  $\varepsilon_{m,i} = 1$ ;

3) визначаємо соціальний ризик за залежністю (22)

$$\varepsilon_{ci} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,375 \cdot 1 \cdot (1 - 0,93007) = 0,001049 = 10,49 \cdot 10^{-4} > [\varepsilon_{ci}] = 10^{-7}.$$

Розраховане значення соціального пожежного ризику не забезпечує допустимого значення, що вказує на можливість постраждати у разі виникнення пожеж у приміщеннях Львівського ДУ БЖД значної кількості курсантів і студентів, а також викладацького складу від небезпечних факторів пожежі.

Для зменшення значення соціального пожежного ризику до допустимого значення рекомендується виконати такі заходи:

- 1) обладнати аудиторії та адміністративні приміщення пожежними сповіщувачами з під'єднанням їх до системи звукового сповіщення. Ризик відмови цих пристроїв на першому році експлуатації знаходиться в межах  $\varepsilon_{n.c} = 0,001 \dots 0,005$ ;
- 2) обладнати дверні виходи з кожного поверху приміщення системою автоматичного відкривання дверей в зоні виникнення пожежі для успішної евакуації людей. Ризик відмови таких пристроїв знаходиться в межах  $\varepsilon_{a.c} = 0,02 \dots 0,05$ .

Наприклад, тільки наведені заходи дають змогу значно зменшити значення соціального пожежного ризику більше ніж у 4000 разів у разі ризику відмови технічних засобів протипожежного захисту  $\varepsilon_{m.i} = \varepsilon_{n.c} \varepsilon_{a.c} = 0,005 \cdot 0,05 = 0,00025$ , тобто отримати значення соціального пожежного ризику  $\varepsilon_{c.i} = 2,6 \cdot 10^{-7}$ . У разі впровадження в приміщеннях університету ще і протидимового захисту, соціальний пожежний ризик буде повністю забезпечений у межах допустимого значення. Крім цього, запропоновані заходи дадуть змогу зменшити час від початку пожежі до початку евакуації в декілька разів, що унеможливить отримання постраждалих від небезпечних факторів пожежі.

#### Висновки:

1. Розроблено методику визначення для приміщень навчальних закладів значення соціального пожежного ризику, яка дає змогу з урахуванням наявних протипожежних заходів встановити стан приміщень з точки зору пожежної безпеки.
2. На зменшення значення соціального пожежного ризику значною мірою впливає встановлення у приміщеннях технічних засобів протипожежного захисту. Наприклад, встановлення в приміщеннях пожежних сповіщувачів з під'єднанням їх до систем звукового сповіщення та систем автоматичного відкривання дверей дає змогу зменшити значення соціального пожежного ризику в 4000 разів.
3. Для покращення умов з точки зору пожежної безпеки приміщення навчальних закладів необхідно обладнувати протидимовим захистом.
4. Необхідна подальша робота з метою удосконалення методу визначення та оптимізації соціального пожежного ризику і прогнозування заходів на протипожежний захист приміщень навчальних закладів, в яких одночасно перебуває значна кількість людей.

#### Література

1. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності : навч. посібн. / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К. : Вид-во "Либідь", 2004. – 328 с.
2. Постанова Кабінету міністрів України від 29 лютого 2012 р., № 306. – К., – 3 с.
3. Самошин Д.А. Расчет пожарных рисков для общественных, жилых и административных зданий / Д.А. Самошин. – 46 с. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.akademygps.ru>.
4. Климась Р. Визначення ймовірності виникнення пожеж у будівлях і спорудах різного призначення / Р. Климась, Д. Матвійчук // Надзвичайна ситуація – 2011. – № 11 (168). – С. 44-45.

5. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (Приложение к приказу МЧС РФ от 30.06.2009 г., № 382). – М. : Изд-во МЧС РФ, 2009. – 10 с.

6. Гуліда Е.М. Прогнозування виникнення пожеж в житловому секторі на підставі аналізу техногенного ризику / Е.М. Гуліда, О.І. Башинський, І.О. Мовчан // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД, 2012. – № 20. – С. 150-154.

7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. // Ю.А. Кошмаров. – М. : Изд-во Академии ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

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

9. Гуліда Е.М. Оцінка пожежного ризику для споруд виробничого призначення / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.9. – С. 118-128.

10. Гуліда Е.М. Забезпечення прийняттого пожежного ризику для соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси : Вид-во АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – 2013. – № 13. – С. 15-19.

#### Гуліда Е.Н., Мовчан І.А., Кит Т.М. Обеспечение социального пожарного риска в помещениях учебных заведений

Разработана методика определения социального пожарного риска, которая позволяет определить возможное количество пострадавших в зоне пожара от его опасных факторов. Для объяснения использования разработанной методики рассмотрен пример определения социального пожарного риска для его определения в условиях возникновения пожара во Львовском государственном университете. В этом примере выбран сценарий возникновения и распространения пожара в процессе проведения учебного процесса. Проведен расчет времени эвакуации людей из помещений из зоны пожара по коридорам на лестничную клетку. Безопасность людей обеспечивается тогда, когда время эвакуации не превышает времени наступления критического времени развития пожара. С этой целью было определено время, за которое температура, плотность дыма, концентрация кислорода, хлористого водорода, углекислого и угарного газа достигает предельно опасных для человека значений. После определения всех необходимых величин была проанализирована вероятность успешной эвакуации, а также проверено соответствие допустимым значением социального пожарного риска. Кроме этого, рассмотрены меры, которые дают возможность обеспечить допустимое значение социального пожарного риска.

**Ключевые слова:** социальный пожарный риск, опасные факторы пожара, критическое время пожара, эвакуация.

#### Gulida E.M., Movchan I.O., Kit T.M. Providing social fire risk in the premises of educational institutions

The methods of determination of social fire risk which allow determining the potential number of victims in the fire zone from its hazards are developed. To explain the use of the developed methods, an example of the definition of social fire risk assessment in order to define it in terms of a fire at the Lviv State University, is considered. In this example, the scenario of the emergence and spread of fire in the course of the educational process is selected. The calculation of VRE-Meni evacuation of the premises from fire area through the corridors of the stairwell is made. The safety of people is achieved if the evacuation does not exceed the time of occurrence of the critical time of the fire. With this purpose the time was determined for the temperature, the density of smoke, the oxygen concentration of hydrogen chloride, carbon monoxide, and ultimately reaches dangerous values for the person. After the determination of all necessary variables the probability of successful evacuation was analyzed and verified compliance with the tolerance value of social fire risks was verified. Furthermore, measures that allow providing a valid value of social fire risk are considered.

**Key words:** social fire risk, fire hazards, the critical time of the fire, evacuation.