

В. Ніжник,¹ доктор технічних наук, доцент, Д. Добряк,¹ Ю. Підгорецький,²

¹Український науково-дослідний інститут цивільного захисту,

²Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗКРИТТЯ ПРОРІЗІВ ЛЕГКОСКИДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗІ СТІЛЬНИКОВИХ ПОЛІКАРБОНАТНИХ ЛИСТІВ ПІД ДІЄЮ ВИБУХУ

У даному дослідженні розглянуті процеси розкриття прорізів легкоскридних конструкцій на основі стільникових полікарбонатних листів під дією вибуху. При застосуванні такої легкоскридної конструкції необхідно вивчити основні особливості їхньої поведінки в умовах вибуху й визначити умови виходу країв гнучких елементів із замків віконних рам стандартного профілю. При цьому важливо забезпечити такі проектні розміри прорізів легкоскридної конструкції, відповідно до яких би їхнє розкриття під дією надлишкового тиску вибуху із граничним значенням було б надійним та гарантувало швидке зниження тиску до безпечних значень. Тому досліджено умови співвідношення розмірів прорізів секцій легкоскридних конструкцій, за яких даний проріз надійно відкривається для зменшення тиску при вибуху до нормованих безпечних величин. Запропоновано математичну модель, що встановлює зв'язок між значенням тиску вибуху та розмірами прорізів, за таких умов відбувається надійне розкриття легкоскридних конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами. Також в статті запропонований розрахунковий метод проектування секцій легкоскридних конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами з використанням номограм. За побудованими номограмами можна визначити проектні параметри прорізів секцій легкоскридних конструкцій для певних граничних значень надлишкового тиску вибуху.

Ключові слова: легкоскридні конструкції, стільниковий полікарбонатний лист, розрахунковий метод, математична модель.

Постановка проблеми. Приміщення категорій А і Б за вибухо- та пожежною небезпекою у відповідності із нормами, чинними в Україні ДСТУ Б В.1.1-36: 2016 [1] слід оснащувати зовнішніми легкоскридними конструкціями (ЛСК). При цьому в даному документі вказується, що необхідну площу ЛСК слід визначати розрахунковим способом. Для конструювання ЛСК перспективним є застосування гнучких огорожувальних елементів, що встановлюються у стандартні віконні профілі з полівінілхлоридного полімерного матеріалу, оскільки вони можуть бути багатократно застосовані після їх видалення із рам під впливом вибуху. У якості гнучких огорожувальних елементів перспективним є використання полікарбонатних стільникових листів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті проведеного аналізу наукових праць виявлено, що забезпечення безпеки у промислових будівлях із

відповідними технологічними процесами від дії вибуху має важливе значення і основним технічним рішенням при цьому є улаштування легкоскридних конструкцій [2-7].

При улаштуванні легкоскридних конструкцій (ЛСК) для захисту будівель та споруд від вибуху існують методики їх проектування при здійсненні розрахунків вибухостійкості при дефлаграційному вибуху газоповітряних сумішей у приміщеннях [1]. Прикладами таких ефективних методик проектування ЛСК може бути методика, наведена у технічному кодексі встановленої практики, що є чинним у Республіці Білорусь ТКП 45-2.02-38-2006 (02250) [8], методики, що наведені у інших стандартах у даній галузі, наприклад, стандарт США NFPA 68 [9], стандарт Великобританії BSEN 14491:2012 [10], є також ряд монографій, публікацій, дисертацій [11] та інших робіт, у яких розглянуті питання вибухозахисту

приміщень вибухонебезпечних виробництв із застосуванням запобіжних конструкцій.

У дослідженні [2], що присвячена вивченню поведінки огороження ЛСК на основі стільникових полікарбонатних листів (СПЛ), була запропонована математична модель, що описує поведінку СПЛ в умовах вибуху, проте не були запропоновані методи проектування подібних ЛСК на її основі.

Мета і завдання дослідження.

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку проектних розмірів прорізів легкоскридних конструкцій для їх надійного розкриття для граничних значень надлишкового тиску вибуху шляхом розроблення спеціальних номограм. Для досягнення мети, поставлені такі завдання:

- розробити математичну модель, що встановлює зв'язок між значенням тиску вибуху та розмірами прорізів, при яких відбувається розкриття легко скридних

конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами;

- на основі запропонованого математичного апарату розробити розрахунковий метод проектування секцій легкоскридних конструкцій із стільниковими полікарбонатними листами із використанням номограм.

Виклад основного матеріалу. При розгляді СПЛ, закріпленого у рамах з віконного профілю, він розглядається як прямокутна пластина, що закріплена шарнірно із можливістю вільного переміщення кінців СПЛ у поздовжньому напрямку, що навантажена рівномірно розподіленим навантаженням. На рис. 1 наведена розрахункова схема прикладення навантаження на СПЛ при впливі вибуху на нього відповідно до підходу, що був розвинений у роботі [2].

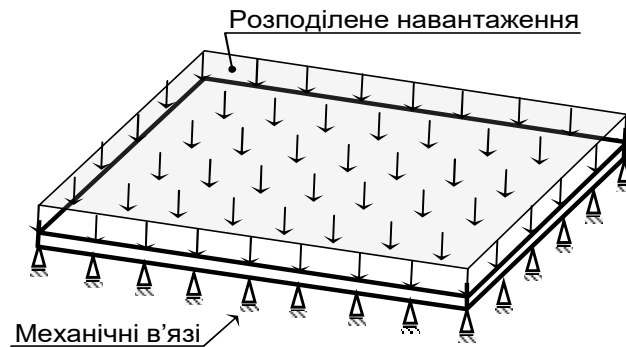


Рисунок 1 – Схема прикладення навантаження на стільниковий полікарбонатний лист у секції легкоскридної конструкції

Згідно із розвинутим підходом у роботі [2] у момент виходу країв СПЛ із замків стандартного віконного профілю їхня поведінка може бути описана рівнянням рівноваги під дією надлишкового тиску вибуху (P_e), розподілених сил тертя по довжині вузла кріплення у рамі елемента

(q_{fr}) та внутрішніх сил пружності, що виникають у середині СПЛ унаслідок деформування. Враховуючи те, що деформування СПЛ відбувається у пружній області, рівняння рівноваги для СПЛ записується у вигляді виразу [2]:

$$P_e \cdot a \cdot b - \frac{w_{max} \pi^6 D \cdot a \cdot b}{16} \times \left[\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{(2m+1)+(2n+1)-1}{2}}}{(2m+1)(2n+1) \left(\frac{(2m+1)^2}{a^2} + \frac{(2n+1)^2}{b^2} \right)^2} \right]^{-1} - (1)$$

$$- 2q_{fr} \left(\frac{b \pi w_{max}}{\sqrt{a^2 + \pi^2 w_{max}^2}} + \frac{a \pi w_{max}}{\sqrt{b^2 + \pi^2 w_{max}^2}} \right) = 0.$$

де a та b – висота та ширина прорізу секції ЛСК відповідно до рис. 2, D – ефективний параметр жорсткості СПЛ, $m = 1, 3, 5, 7$; $n = 1, 3, 5, 7$ – непарні цілі числа, w_{max} –

максимальний прогин СПЛ, при якому його краї виходять із замків віконного профілю секції ЛСК.

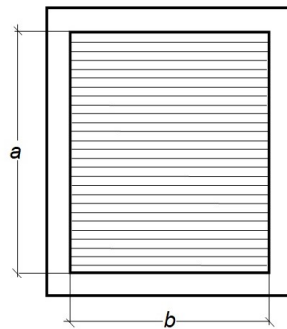


Рисунок 2 – Схема прорізу у секції легкоскидної конструкції із стільниковими полікарбонатними листами

Максимальний прогин СПЛ обчислюється за виразом:

$$w_{max} = \frac{9a^2}{\pi(a - 2\Delta x_{max})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a - 2\Delta x_{max}) \quad (2)$$

де x_{max} – максимальне переміщення краю СПЛ, коли він виходить із замків

стандартного віконного профілю секції ЛСК.

Параметри ефективної жорсткості СПЛ D та максимального переміщення x_{max} не мають конкретного фізичного змісту у даному випадку, а є ефективними характеристиками СПЛ, що визначаються експериментально з використанням установки, що наведена на рис. 3.

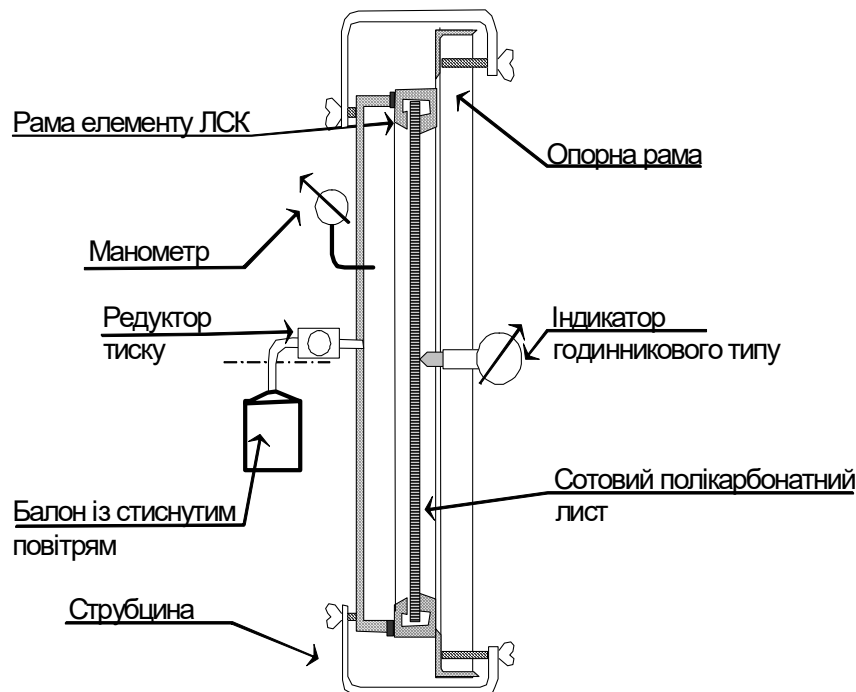


Рисунок 3 – Схема експериментальної установки для визначення ефективної жорсткості

Виявлено, що ефективна жорсткість та критичне переміщення залежать тільки від товщини СПЛ і їх значення наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Ефективні характеристики жорсткості та критичного переміщення стільникових полікарбонатних листів

Ефективний параметр	Товщина стільникового полікарбонатного листа		
	4 мм	6 мм	8 мм
Жорсткість, D , Н·м.	289.064	244.196	206.044
Мах переміщення, x_{max} , мм	2.915	7.708	9.773

Використовуючи дані характеристики і вираз (2) рівняння набуває вигляду, який наведений нижче:

$$P_{виб} ab \left[\frac{9a^2}{\pi(a-2\Delta x_{кр})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a-2\Delta x_{кр}) \right] \frac{\pi^6 ab D_h}{16} \left[\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{(2m+1)+(2n+1)}{2}}}{(2m+1)(2n+1) \left(\frac{(2m+1)^2}{a^2} + \frac{(2n+1)^2}{b^2} \right)^2} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$\frac{2q_{mp} \left(\frac{9a^2}{\pi(a-2\Delta x_{кр})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a-2\Delta x_{кр}) \right) b \pi}{\sqrt{a^2 + \pi^2 \left(\frac{9a^2}{\pi(a-2\Delta x_{кр})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a-2\Delta x_{кр}) \right)^2}} - \frac{2q_{mp} \left(\frac{9a^2}{\pi(a-2\Delta x_{кр})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a-2\Delta x_{кр}) \right) a \pi}{\sqrt{b^2 + \pi^2 \left(\frac{9a^2}{\pi(a-2\Delta x_{кр})} - \frac{12a}{\pi} + \frac{3}{\pi}(a-2\Delta x_{кр}) \right)^2}} = 0$$

Отримане рівняння може бути застосоване для визначення проектних розмірів a та b прорізів секцій ЛСК із СПЛ, шляхом його рішення відносно цих параметрів як невідомих.

Використовуючи рівняння (3) були побудовані номограми для визначення проектних параметрів прорізів секцій ЛСК відповідно до рис. 2 для певних граничних значень надлишкового тиску вибуху. Побудовані номограми наведені на рис. 4.

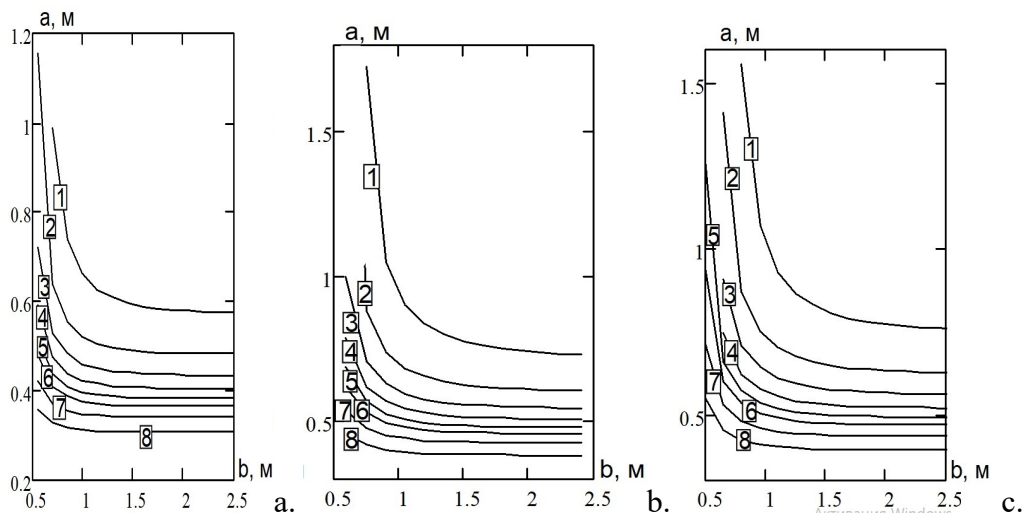


Рисунок 4 – Номограми для визначення параметру a у залежності від параметру b легкоскридних конструкцій на основі сотових полікарбонатних листів товщиною 4 мм (а), товщиною 6 мм (б) та товщиною 8 мм (в) при певному надлишковому тиску, для якого має бути забезпечено відкриття: 1 – 2500 Па; 2 – 5000 Па; 3 – 7500 Па; 4 – 10000 Па; 5 – 12500 Па; 6 – 15000 Па; 7 – 20000 Па; 8 – 30000 Па

При визначенні конструктивного параметру a за попередньо прийнятими значеннями надлишкового тиску вибуху та висоти прорізу секції ЛСК можна

використовувати номограми, наведені на рис. 4. Надлишковий тиск визначається з попереднього розрахунку, а висота проєму секції ЛСК може бути визначено, виходячи

з точки зору дизайну приміщення та зручності розташування секцій ЛСК у приміщенні. При виборі висоти секцій ЛСК існує обмеження, що висота проєму секції ЛСК має бути не меншою за 500 мм. При використанні номограм відповідно рис. 4 для визначення конструктивного параметру, а за проміжними значеннями надлишкового тиску вибуху та висоти проєму секції ЛСК можна застосовувати лінійну інтерполяцію.

Таким чином, методика підбирання конструктивних параметрів секцій ЛСК на основі СПЛ полягає у виконанні таких процедур.

1. Вибирається мінімальна висота секції ЛСК a , виходячи з вимог дизайну та архітектури зведення відповідного поверху. Тобто висота може бути встановлена проєктувальником-конструктором будівлі.

2. Шляхом попереднього розрахунку встановлюється величина надлишкового тиску вибуху.

3. У залежності від розташування ЛСК підбирається товщина СПЛ. Якщо ЛСК знаходиться у внутрішніх приміщеннях, мають бути застосовані СПЛ товщиною 4 мм. Якщо ЛСК встановлюється у огороженні будівлі від зовнішнього простору мають встановлюватися СПЛ товщиною 8 мм. Встановлення СПЛ товщиною 6 мм потребує додаткового обґрунтування з врахуванням вітрових навантажень у даній місцевості.

4. За значеннями надлишкового тиску та товщини СПЛ визначається відповідна крива для визначення конструктивного параметру ширини прорізу секції ЛСК. За даною кривою підбирається значення висоти прорізу секції ЛСК та відповідні ним значення ширини прорізу. При кінцевому встановленні ширини прорізу можуть бути враховані дизайнерські або архітектурні рішення шляхом збільшення ширини прорізу від визначеного мінімального значення, але не більше за 1.75 м.

Висновки. Для розроблення методики визначення розмірів прорізу секції ЛСК із СПЛ для їх гарантованого відкриття за умов досягнення критичного значення надлишкового тиску вибуху було запропоновано рівняння у яке дані розміри, входять як незалежні змінні. За отриманим рівнянням були побудовані номограми для визначення геометричних розмірів промів ЛСК із СПЛ для їх гарантованого відкриття за умов досягнення критичного значення надлишкового тиску вибуху та створені таблиці для визначення проектних розмірів промів ЛСК. Також розроблена методика проєктування ЛСК із СПЛ на основі запропонованих номограм та показано, що дана методика має просту реалізацію та економічні розрахункові алгоритми і дозволяє проєктувати ефективні ЛСК на основі СПЛ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. DSTU [National Standardization System of Ukraine] В V.1.1-36: 2016 Definition of categories of premises, buildings, installations according to explosion and fire danger.

2. Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S., Shchipets S. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations (2017) MATEC Web of Conferences, 116, art. no. 02027, DOI: 10.1051/mateconf/201711602027.

3. Pozdieiev, S., Pidgoretskiy, Y., Nekora, O., Sidnei, S., Tyshchenko, O. (2018). Research of Explode Exposure at the Relief Vent System Structures with Soft Transparent Material. International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.3), 298.

4. Mygalenko K., Nuyanzin V.,

Zemlianskyi A., Dominik A., Pozdieiev S. Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (10-91), pp. 31-37. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.121727

5. Danchenko Y., Andronov V., Teslenko M., Permiakov V., Rybka E., Meleshchenko R., Kosse A. Study of the free surface energy of epoxy composites using an automated measurement system (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (12-91), pp. 9-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.120998

6. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Romin A. Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early

signs of fire (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (10-91), pp. 50-55. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.122419

7. Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire / Boris Pospelov, Vladimir Andronov, Evgeniy Rybka, Vadym Popov, Oleg Semkiv // Vol 2, No 10 (92) (2018).

8. TCP 45-2.02-38-2006 (02250). Relief

panels. Calculation rules. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2006. - 27 p.

9. NFPA 68. Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. 2013 Edition.

10. BS EN 14491:2012. Dust Explosion Venting Protective Systems.

11. L. Pilyugin. Structures of buildings of explosion-hazardous production. Moscow: Stroizdat, 1988. 315 p.

REFERENCES

1. DSTU [National Standardization System of Ukraine] B V.1.1-36: 2016 Definition of categories of premises, buildings, installations according to explosion and fire danger.

2. Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S., Shchipets S. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations (2017) MATEC Web of Conferences, 116, art. no. 02027, DOI: 10.1051/mateconf/201711602027.

3. Pozdieiev, S., Pidgoretskiy, Y., Nekora, O., Sidnei, S., Tyshchenko, O. (2018). Research of Explode Exposure at the Relief Vent System Structures with Soft Transparent Material. International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.3), 298.

4. Mygalenko K., Nuyanzin V., Zemlianskyi A., Dominik A., Pozdieiev S. Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (10-91), pp. 31-37. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.121727

5. Danchenko Y., Andronov V., Teslenko M., Permiakov V., Rybka E., Meleshchenko R., Kosse A. Study of the free surface energy of epoxy composites using an

automated measurement system (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (12-91), pp. 9-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.120998

6. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Popov V., Romin A. Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire (2018) EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 1 (10-91), pp. 50-55. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.122419

7. Development of the method of frequency-temporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire / Boris Pospelov, Vladimir Andronov, Evgeniy Rybka, Vadym Popov, Oleg Semkiv // Vol 2, No 10 (92) (2018).

8. TCP 45-2.02-38-2006 (02250). Relief panels. Calculation rules. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2006. - 27 p.

9. NFPA 68. Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. 2013 Edition.

10. BS EN 14491:2012. Dust Explosion Venting Protective Systems.

11. L. Pilyugin. Structures of buildings of explosion-hazardous production. Moscow: Stroizdat, 1988. 315 p.

V. Nizhnyk,¹ doctor of technical sciences, docent, D. Dobriak,¹ Y. Pidhoretskiy,²

¹Fire Protection Research Center of Institute of Public Administration and Research in Civil Protection,

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, National University of Civil Defense of Ukraine

RESEARCH OF DISCLOSURE OF RELIVE VENTING STRUCTURES WITH POLYCARBONATE FENCING IN CONDITIONS OF EXPLOSION

The article considers the processes of release of the openings of relive venting

structures based on honeycomb polycarbonate sheets under action of an explosion. When

using such a design of RVS it is necessary to study the main features of its behavior in case of an explosion, and to determine the conditions of releasing the edges of flexible elements from the locks of window frames of standard profile. At the same time, it is important to ensure that the design dimensions of RVS openings are such that their release under the action of excess pressure from explosion with a boundary value would be reliable and guarantee a rapid decrease of the pressure to safe values. The use of honeycomb polycarbonate sheets lets to save transparent fence against destruction, decrease risks of human traumatism by reason of glass shards hurting, reduce weight of relive venting structures. There were investigated the conditions of the ratio of the opening sizes of the sections of relive venting structures with honeycomb polycarbonate sheets, under which this opening is reliably released to reduce the

pressure during the explosion to safe values. A mathematical model was proposed that establishes a relationship between the value of the explosion pressure and the opening size at which the opening of relive structures with honeycomb polycarbonate sheets. The article proposes a calculation method for designing the sections of relief structures with honeycomb polycarbonate sheets using nomograms. The use of developed method lets significantly simplify calculating for design of relief structures with honeycomb polycarbonate sheets. The nomograms were built to determine the design parameters of the openings of the CPS sections in accordance for certain boundary values of excess pressure from explosion

Key words: *relive venting structures, honeycomb polycarbonate sheet, a calculation method, mathematical model.*