

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛЕГКОСКИДНИХ КОНСТРУКЦІЙ

<sup>1</sup>Ніжник В.В., <sup>1</sup>Нікулін О.Ф., <sup>2</sup>Поздєєв С.В., <sup>1</sup>Добряк Д.О., <sup>1</sup>Мороз О.І., <sup>1</sup>Кодрик А.І.

<sup>1</sup>Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту,

<sup>2</sup>Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

<sup>1</sup>Нижник В.В., <sup>1</sup>Никулин А.Ф., <sup>2</sup>Поздеев С.В., <sup>1</sup>Добряк Д.А., <sup>1</sup>Мороз А.И.,  
<sup>1</sup>Кодрик А.И.

<sup>1</sup>Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите,

<sup>2</sup>Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины

## EXPERIMENTAL METHOD OF EVALUATION OF PERFORMANCE EASILY DISPOSABLE CONSTRUCTION

<sup>1</sup>Nizhnyk V.V., <sup>1</sup>Nikulin O.F., <sup>2</sup>Pozdееv S.V., <sup>1</sup>Dobriak D.O., <sup>1</sup>Moroz O.I., <sup>1</sup>Kodrik A.I.

<sup>1</sup>Institute of Public Administration and Research in Civil Defense, <sup>2</sup>Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine

**Анотація.** У даній статті приведено сучасний стан щодо випадків вибухів в Україні та превентивні заходи захисту від них. Визначено актуальність досліджень з обґрунтування методики розрахунку параметрів легкоскидних конструкцій для вибухопожежонебезпечних приміщень. Проведено аналіз вітчизняних та закордонних нормативних документів щодо проектування та монтажу віконних отворів у будівлях різного призначення. Розглянуто допустимі величини надлишкового тиску вибуху, який не завдає значних пошкоджень будівельним конструкціям та є безпечним для людей. Предметом дослідження є вплив кількості газу на конструктивні параметри дослідного стенду для проведення експериментального оцінювання легкоскидних конструкцій. Метою даної роботи є обґрунтування конструкції та основних технічних параметрів дослідного стенда для оцінювання працездатності легкоскидних конструкцій. Сутність запропонованого методу досліджень полягає у створенні надлишкового тиску від вибуху суміші пропан-бутану з повітрям у робочому об'ємі та дослідження впливу даного надлишкового тиску вибуху на дослідний зразок легкоскидних конструкцій. Дослідний стенд для дослідження процесів впливу величини надлишкового тиску вибуху в замкнутому просторі на конструктивні параметри легкоскидної конструкції є простим за своєю конструкцією і забезпечує імітування частини фрагменту будинку (споруди) та дозволяє проводити дослідження щодо можливості використання тих чи інших будівельних матеріалів з різними геометричними параметрами в якості легкоскидних конструкцій, що у свою чергу дозволяє досліднику отримувати більш достовірні дані для аналізу. Проаналізовано існуючі експериментальні методи оцінювання параметрів легкоскидних конструкцій. Обґрунтовано розміри дослідного стенда та параметри його огорожувальних конструкцій, критичні значення надлишкового тиску вибуху, який повинен створювати стенд, та мінімальну кількість газу, згорання якого забезпечить необхідний надлишковий тиск вибуху у стенді. Розроблено принципово новий стенд експериментального оцінювання параметрів легкоскидних конструкцій, програму та методику експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** легкоскидні конструкції, надлишковий тиск вибуху, експериментальне оцінювання легкоскидних конструкцій, дослідний стенд, параметри легкоскидних конструкцій.

Статистичні дані про пожежі свідчать, що кожного року в Україні мають місце від 150 до 300 випадків вибухів у приміщеннях, будинках та спорудах (об'єктах) внаслідок утворення вибухонебезпечних сумішей газів, рідин та пилу із повітрям під час аварійної роботи технологічного обладнання або його позарегламентного використання [1].

Аварії, які супроводжуються вибухами на об'єктах з подальшим їх повним або частковим руйнуванням, мають максимальні соціально-екологічні наслідки, оскільки, як правило, призводять до людських жертв і травмувань.

Превентивними заходами зменшення руйнівної сили вибуху є легкоскидні конструкції (ЛСК) для відведення енергії у процесі горіння. Суть їх полягає у тому, що в огорожувальних конструкціях об'єкту необхідно передбачити кількість отворів, яка забезпечить виток необхідної кількості продуктів горіння внаслідок їх розкриття за порівняно невеликого надлишкового тиску, що є безпечним для основних (несучих) конструкцій. Основними характеристиками ЛСК, що забезпечують стійкість об'єкту до надлишкового тиску вибуху, є площа ЛСК, спосіб розкриття, вид горючої суміші, характер загазованості об'єкту, його об'ємно-планувальні рішення тощо.

За результатом аналізу літературних джерел встановлено, що оцінювання параметрів ЛСК ґрунтується на таких критеріях [2-4], як надлишковий тиск вибуху та площа ЛСК.

Однак в області протипожежного нормування рекомендації з розрахунків параметрів ЛСК нині в Україні відсутні. У 2006 р. розроблено Технічний кодекс встановленої практики, що є чинним у Республіці Білорусь ТКП 45-2.02-38-2006 (02250) [5], існують закордонні стандарти у даній області, наприклад, стандарт США NFPA 68 [6], стандарт Великобританії BSEN 14491:2012 [7]. У Російській Федерації розроблено рекомендації щодо розрахунку параметрів легкоскидних конструкцій для вибухонебезпечних приміщень промислових об'єктів [2].

На сьогоднішній день актуальним є питання оцінювання параметрів ЛСК, що забезпечує умову стійкості об'єктів до надлишкового тиску вибуху в умовах експериментальних досліджень. Існуючі прототипи експериментальних установок [8, 9] мають істотний недолік. Вони потребують для експериментального дослідження значну кількість газу, що обмежує повторюваність їх проведення за економічними показниками. Таким чином, метою даної роботи є обґрунтування конструкції та основних технічних параметрів дослідного стенда для оцінювання працездатності ЛСК.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі **завдання дослідження**:

а) проаналізувати існуючі експериментальні методи оцінювання параметрів ЛСК;

б) обґрунтувати розміри експериментального стенду та параметри його огорожувальних конструкцій;

в) обґрунтувати критичні значення надлишкового тиску вибуху, який повинен створювати стенд;

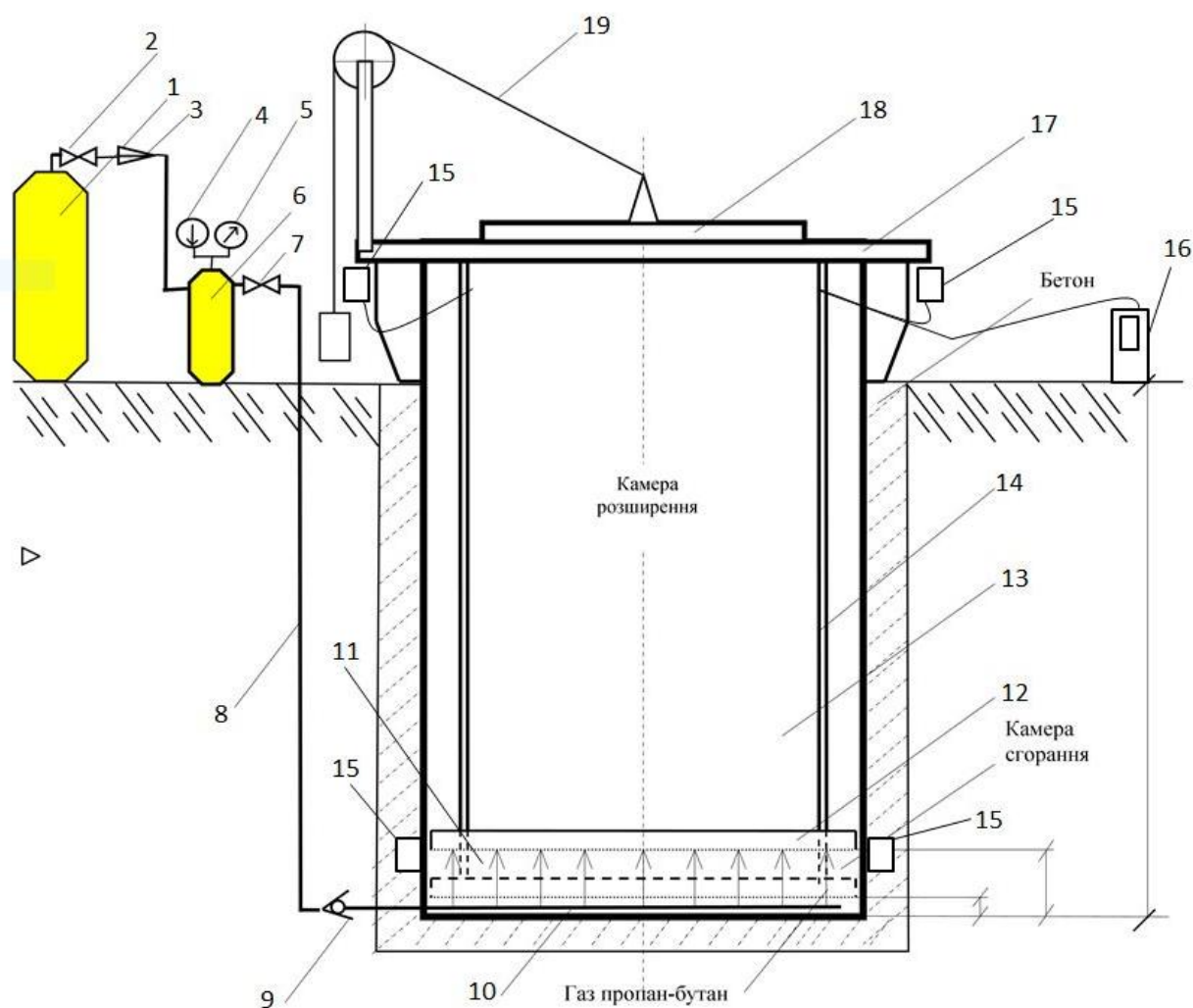
г) обґрунтувати мінімальну кількість газу, згорання якої забезпечить необхідний надлишковий тиск вибуху у стенді;

д) розробити програму та методику експериментальних досліджень.

**Об'єкт дослідження** – процеси згорання газоповітряної суміші.

**Предмет дослідження** – вплив кількості газу на конструктивні параметри дослідного стенду для проведення експериментального оцінювання ЛСК.

Сутність запропонованого методу досліджень полягає у створенні надлишкового тиску від вибуху суміші пропан-бутану з повітрям у робочому об'ємі  $2\text{ м}^3$  та впливу даного тиску на дослідний зразок легкоскидної конструкції. Значення робочого об'єму обумовлене можливістю створення у ньому надлишкового тиску вибуху у верхній частині від 5 до 10 кПа та монтування ЛСК розмірами в діапазоні від 0,5 м х 0,5 м до 1 м х 1 м. Схема дослідного стенду зображена на рисунку 1.



1 – газовий балон; 2 – вентиль, запірний прохідний; 3 – редуктор; 4 – термометр; 5 – манометр; 6 – ресівер; 7 – вентиль, запірний прохідний; 8 – газопровід; 9 – зворотній клапан; 10 – колектор; 11 – камера згорання; 12 – руйнівна мембрана; 13 – камера розширення; 14 – бокові стінки; 15 – датчик тиску; 16 – осцилограф; 17 – верхня панель; 18 – зразок ЛСК; 19 – механізм компенсації ваги ЛСК; 20 – система підпалювання паливно-повітряної суміші

Рисунок 1 – Схема дослідного стенду

Розподільчий колектор повинен забезпечити рівномірну подачу газової суміші пропан-бутану до камери згорання, утворюючи при цьому

стехіометричну концентрацію газу з повітрям. Для досягнення рівномірного розподілення газу у розподільчому колекторі створено отвори з урахуванням умовної сітки, яка розподіляє камеру згорання на рівномірні ділянки.

Камера розширення являє собою вертикально розміщений циліндр, висотою 1 м, внутрішній діаметр 1,6 м. Такі геометричні параметри камери розширення дозволяють вмонтувати у неї дослідний зразок ЛСК із розмірами не менше ніж 1×1 м, що відповідає розмірам віконних ЛСК, найбільш застосовним на практиці. Виходячи з вищевикладеного, прийняті розміри стенду дозволяють забезпечити монтування ЛСК найбільш розповсюдженого розміру. У верхній частині камери розширення передбачено роз'ємний фланець для кріплення верхньої панелі, в якій передбачено вікно розміром 1×1 м для кріплення зразків ЛСК.

Камера згорання являє собою продовження камери розширення, висота камери змінюється в межах від 0,2 м до 0,4 м, внутрішній діаметр становить 1,6 м. Такі геометричні параметри камери згорання дозволяють забезпечити умови підготовки газоповітряної суміші, при згоранні якої утворюється надлишковий тиск вибуху від 5 кПа до 10 кПа. Такий діапазон надлишкового тиску вибуху вибрано за результатами аналізу літературних джерел щодо критичного значення надлишкового тиску вибуху для життя і здоров'я людини та несучої здатності основних будівельних конструкцій.

Для відокремлення камери згорання від камери розширення передбачено руйнівну мембрану, виконану у вигляді каркасу та поліетиленової розподільчої плівки. Руйнівна мембрана повинна мати можливість вертикального переміщення, для цього її каркас кріпиться на 4-х трубчатих штангах перемінної довжини, що забезпечує можливість зміни об'єму камери згорання в межах від 0,4 м<sup>3</sup> (висота 0,2 м) до 0,8 м<sup>3</sup> (висота 0,4 м). Ідея улаштування руйнівної мембрани на перспективу дозволить досліджувати із використанням запропонованого стенду процесів переміщення хвилі стиснутого повітря від епіцентру вибуху.

Бокові стінки та дно камер виконано із сталевого листа, товщина якого визначається межею міцності сталі – граничною величиною, перевищуючи яку механічне напруження призведе до руйнування тіла з конкретного матеріалу, що визначається за формулою Барлоу 1:

$$[\sigma] = \frac{P R}{b} \quad (1)$$

де  $[\sigma]$  – допустима межа міцності сталі, Па;  $p$  – тиск Па (приймаємо 900000 Па, що перевищує максимальний тиск вибуху пропано-бутанової суміші);  $R$  – радіус, м;  $b$  – товщина сталі, м.

Звідси товщина сталі, з якої виконують бокові стінки та дно камер, становить 3 мм.

Система формування паливно-повітряної суміші складається з розподільчого колектора, який являє собою спіраль із мідної трубки діаметром

$D_y=6$  мм, довжина трубки 7 м, по всій довжині колектора виконано отвори діаметром 0,0015 мм. Крок розміщення отворів визначається умовами рівномірного розподілу площею камери згорання.

Система дозування та подачі палива до камери згорання складається з: газового балона об'ємом 40 л, 2-х вентилів ВБ-2, редуктора БПО-5ДМ; ресівера об'ємом 5 л (6), манометра тиску у ресівері ДМ 05063 1,6 МПа, термометру газу у ресівері, зворотного клапану.

Для дозування та подачі газу до ресіверу необхідно відкрити запірний прохідний вентиль на газовому балоні до того моменту, поки не буде отримано необхідний тиск на манометрі ресівера; потім цей вентиль перекривається.

Визначається надлишковий тиск вибуху, який потрібно створювати у камері монтування ЛСК, виходячи із [10-14].

Значення тиску на манометрі ресівера, за якого буде досягнуто потрібну кількість газу для створення у камері згорання газоповітряної суміші, за умови згорання якої утворюється надлишковий тиск вибуху від 5 кПа до 10 кПа, визначають із рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва – Клапейрона)

$$p V = \frac{R T m}{M} \quad (2)$$

де  $p$  — тиск, Па;  $V$  — об'єм,  $m^3$ ;  $m$  — маса, г;  $M$  — молярна маса г/моль,  $T$  — температура,  $K$ ,  $R$  — універсальна газова стала ( $R = 8,314$  (Дж/моль·К)).

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  у кілопаскалях обчислюють за формулою 3:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \rho_{z,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (3)$$

де  $P_{\max}$  — максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі;  $P_o$  — атмосферний тиск, кПа;  $m$  — маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до об'єму приміщення;  $Z$  — коефіцієнт участі ГГ і/або парів ЛЗР та ГР у вибуху;  $V_{\text{вільн}}$  — вільний об'єм приміщення,  $m^3$ ;  $\rho_{z,n}$  — густина ГГ або парів ЛЗР та ГР за розрахункової температури  $t_p$ ,  $кг \cdot м^{-3}$ .

Надлишковий тиску вибуху у камері розширення визначаємо із об'єднаного газового закону:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (4)$$

де  $P_1$  — надлишковий тиск вибуху у вибуховій камері, кПа;  $T_1$  — температура у вибуховій камері,  $K$ ;  $V_1$  — об'єм у вибуховій камері;  $P_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$  — відповідно тиску, об'єм і температура повітря за нормальних умов.

Із рівняння (4) визначаємо надлишковий тиск вибуху у вибуховій камері за умови, що надлишковий тиск вибуху у камері розширення повинен становити 5-10 кПа.

Масу газу визначали, як суму мас газу, потрібну для створення у камері згорання об'ємом від 0,4 м<sup>3</sup> до 0,8 м<sup>3</sup> газоповітряної суміші, при згорянні якої утворюється надлишковий тиск вибуху від 0,05 кг/см<sup>2</sup> до 0,1 кг/см<sup>2</sup>, та склала відповідно 0,00588 кг та 0,01177 кг, та маси газу, що необхідна для заповнення розподільчого колектору.

При довжині 7 м та діаметрі 6 мм об'єм колектора буде становити 0.00019782 м<sup>3</sup>. Розраховуємо масу газу, яка буде знаходитись у розподільчому колекторі за формулою, яку отримали з рівняння Менделєєва – Клапейрона.

$$m = \frac{p V M}{R T} \quad (5)$$

Таким чином необхідне значення тиску у ресівері за відповідної температури газу можна визначити за формулою:

$$p = \frac{R T m}{V M} \quad (6)$$

Тиск у ресівері, який буде відповідати масі газу для створення надлишкового тиску вибуху в камері розширення 5 кПа кг/см<sup>2</sup>, становить 68979 Па.

Тиск у ресівері, який буде відповідати масі газу для створення надлишкового тиску вибуху в камері розширення 10 кПа кг/см<sup>2</sup>, становить 134089 Па.

Отже для створення у камері згорання газоповітряної суміші, при згоранні якої утворюється надлишковий тиск вибуху 0,05 кг/см<sup>2</sup> та 0,1 кг/см<sup>2</sup>, у ресівері потрібно створити тиск 68979 Па та 134089 Па при температурі газу у ресівері 293,15 К.

Система підпалювання суміші повинна бути дистанційною та електроіскровою. Необхідно забезпечити підпалювання газоповітряної суміші у камері згорання не менше, ніж у 4-х місцях. Система складається із блоку розпалювання, електроіскрових свічок (мінімум 4-х), кнопки запуску та з'єднувальних дротів. В якості прототипу можна взяти за основу системи розпалювання побутових газових плит.

Система визначення та фіксації надлишкового тиску у камері розширення та камері згорання складається з датчиків вимірювання тиску. У кожній камері встановлюються два датчики надлишкового тиску ВСТ-22.

Перелік засобів вимірювальної техніки, що використовують під час досліджень, а також їх технічні характеристики, приведено у таблиці 1.

Порядок проведення дослідження включає підготовку для проведення досліджень, проведення досліджень, оцінювання результатів досліджень.

Таблиця 1 – Технічні характеристики засобів вимірювальної техніки

№ з/п	Найменування обладнання для досліджень	Характеристика	Значення характеристики	Одиниці вимірювання	Похибка
1	Датчик надлишкового тиску ВСТ-22	Тиск	0÷50	кПа	
2	Термометр	Температура	0÷300	°С	
3	Інформаційно-вимірювальна система (Осцилограф)	Тиск	0÷50	кПа	
4	Рулетка Р10 УЗК	Довжина	0÷10	м	2 кл. точн.
5	Психрометр аспіраційний МВ-4М	Температура Вологість	-25÷50 6÷100	°С %	±0,2 % ±5 %
6	Барометр-анероїд М67	Тиск	610÷790	мм.рт.ст.	±4 мм.рт.ст.
7	Анемометр крильчастий АСО-3	Швидкість вітру	0,3÷5	м/с	±1 (0,1+0,05V <sub>ви м</sub> ) м/с
8	Фото відеокамера Nikon D3110 18-55VR Kit	Матриця	14,2	пікселей	
9	Секундомір	Час	0÷3600	с	5 с
10	Манометр для ресівера	Тиск	0-1,6	МПа	

Підготовка до проведення досліджень включає в себе: монтування дослідного зразка ЛСК на верхню панель камери розширення та приєднання його до механізму компенсації ваги, заправка балону газом (пропан-бутан), монтування руйнівної мембрани між камерою згорання та камерою розширення, установлення датчиків тиску та приєднання їх до інформаційно-вимірювальних систем, установлення обладнання для проведення фото та відео зйомок, вимірювання та реєстрацію параметрів зовнішнього середовища, перевірка герметичності та надійності з'єднань комунікаційних мереж та переконатися, що всі вентиля в системі дозування та подачі паливо-повітряної суміші і системи формування рівномірної паливо-повітряної суміші закриті, приєднання системи підпалювання паливо-повітряної суміші до джерела живлення, перевірка цілісності захисного огороження встановлення попереджувальних знаків.

Проведення досліджень включає такі етапи: відкривають вентиль запірний прохідний на газовому балоні, після досягнення відповідного тиску пропан-бутанової суміші у ресівері, що контролюють за допомогою манометру, закривають вентиль запірний прохідний на газовому балоні, відкривають вентиль запірний прохідний на ресівері та випускають газ до камери згорання, вентиль запірний прохідний ресівера перекривають після того, як стрілка манометра зафіксується у положенні «0», не більше ніж через 30с після заповнення камери згорання пропан-бутановою сумішшю за допомогою електрозапальника оператор, що знаходиться у захищеному місці, ініціює займання газоповітряної суміші у камері згорання.

У процесі випробування реєструють: за допомогою осцилографа і комп'ютера визначений датчиками надлишковий тиск вибуху у камері згорання

та камері розширення, характер розкриття (деформації) дослідного зразка ЛСК, що оцінюють візуально після завершення експериментальних досліджень.

За результат дослідження приймають середнє арифметичне значення результатів трьох експериментів зразків кожного типу для відповідного надлишкового тиску вибуху; таке значення округлюють до 0,1 кПа.

За отриманими даними визначається похибка досліджень за формулою:

$$\Delta A = \pm k \sqrt{(\Delta A_1)^2 + (\Delta A_2)^2}, \quad (7)$$

де  $\Delta A$  – абсолютна похибка;  $\Delta A_1$  – похибка засобів вимірювання (термометр, манометр, датчик тиску);  $\Delta A_2$  – похибка вимірювальних пристроїв;  $k$  – коефіцієнт, який залежить від імовірності ( $k=1,1$  при  $P=0,95$ ).

Таким чином за результатами досліджень запропоновано нову ідею дослідного стенду для оцінювання параметрів ЛСК та розроблено програму та методику експериментальних досліджень та зроблено такі **висновки**:

1. Значення надлишкового тиску вибуху, який повинен імітувати стенд, визначено у межах від  $0,05 \text{ кг/см}^2$  до  $0,1 \text{ кг/см}^2$ , що відповідає тиску, який не є критичним для життя, здоров'я людини та несучої здатності основних будівельних конструкцій.

2. Геометричні параметри дослідного стенду, які забезпечують такі умови створення надлишкового тиску вибуху, дорівнюють  $1,6 \times 1,5 \text{ м}$ . Такі параметри стенду також забезпечують можливість монтування дослідного зразка ЛСК найбільш поширеного розміру у межах від  $500 \times 500 \text{ мм}$  до  $1000 \times 1000 \text{ мм}$ . З метою дослідження процесів поширення вибухової хвилі запропоновано дослідний стенд розділити на дві камери: камеру згорання та камеру розширення. При цьому об'єм камери згорання для створення відповідної стехіометричної суміші повинен бути в межах від  $0,4 \text{ м}^3$  до  $0,8 \text{ м}^3$ .

3. Обґрунтована товщина стінок дослідного стенду повинна забезпечувати його стійкість до визначених умов надлишкового тиску вибуху, і становить не менше 3 мм.

4. Необхідна для створення у зазначених умовах критичного значення надлишкового тиску вибуху мінімальна кількість газу становить  $0,00588 \text{ кг}$  для тиску вибуху  $0,05 \text{ кг/см}^2$  та  $0,01177 \text{ кг}$  для тиску вибуху  $0,1 \text{ кг/см}^2$ . При цьому запропоновано ідею дозування зазначеної кількості газу, яка полягає у використанні проміжного балону ресиверу, та визначено відповідні умови дозування газу у встановлених межах.

5. Розроблено принципово новий дослідний стенд експериментального оцінювання параметрів ЛСК та програму і методику експериментальних досліджень.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки. Статистичний збірник аналітичних матеріалів. За загальною редакцією В.С. Кропивницького. К.: УкрНДІЦЗ, 2018.

2. ДСТУ Б В.2.6-15:2011. Блоки оконные и дверные поливинилхлоридные. Общие технические условия. [Чинний від 2012-10-01.] – К.: УкрНДІпроцивільсьбд, 2011. – 42 с – (Національний стандарт України).



3. НАПБ Б.07.005-86 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности (Общесоюзные нормы технологического проектирования) ОНТП 24-86. Введены в действие с 1 января 1987 г. взамен СН 463-74 М.: ВНИИПО МВД СССР, 1986. - 24 с.
4. ТКП 45-2.02-38-2006 (02250). Конструкции легкобрасываемые. Правила рас-чета. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. 27 с.
5. NFPA 68. Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. 2018 Edition. - Режим доступу: <https://catalog.nfpa.org/NFPA-68>.
6. BS EN 14491:2012. Dust Explosion Venting Protective Systems. Режим доступу: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail>.
7. Расчет параметров легкобрасываемых конструкций для взрывоопасных помещений промышленных объектов. Рекомендации. М., 2015. Рекомендации. М.: ВНИИПО, 2015. 48 с.
8. СТБ 1762-2007 Конструкции легкобрасываемые. Метод определения избыточного давления вскрытия. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 18 июля 2007 г. № 38. 14 с.
9. ГОСТ Р 56289-2014 Конструкции светопрозрачные легкобрасываемые для зданий. Методы испытаний на воздействие внутреннего аварийного взрыва. М. :Стандартинформ 2015 г. 11 с
10. Sharovarnikov A. F. and Korolchenko D. A. (2013), "Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 475-476, pp. 1344-1350.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344>
11. Bradley D. and Mitcheson A. (1976), "Mathematical solutions for explosions in spherical vessels", *Combustion and Flame*, Vol. 26, pp. 201-217.  
[https://doi.org/10.1016/0010-2180\(76\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0010-2180(76)90072-9)
12. Crescitelli S., Russo G. and Tufano K. (1979), "Analysis and design of venting systems: A simplified approach", *Journal of Occupational Accidents*, Vol. 2, No. 2, pp. 125-133.  
[https://doi.org/10.1016/0376-6349\(79\)90004-x](https://doi.org/10.1016/0376-6349(79)90004-x)
13. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А., Ляпин А.В. Оптимизация требований к конструктивным и объемнопланировочным решениям при проектировании зданий и сооружений для взрывоопасных производств // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23, № 11. С. 67-74.  
<https://doi.org/10.18322/PVB.2014.23.11.67-74>.
14. Орлов Г.Г., Корольченко Д.А., Корольченко А.Я. Определение величины и характера взрывных нагрузок при применении инерционных предохранительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 4. – С. 47-55.  
<https://doi.org/10.18322/PVB.2015.24.4.47-55>.

## REFERENCES

1. *Statystyka pozhezh ta yikh naslidkiv v Ukraini za 2013-2016 roky. Statistichnyi zbirnyk analitychnykh materialiv. Za zagalnoiu redaktsiieiu V.S. Kropyvnytskogo* [Statistics of fires and their consequences in Ukraine for 2013-2016. Statistical collection of analytical materials. Edited by V.S. Kropyvnytskyi], UkrNDICZ, Kyiv, UA.
2. UkrNDIprocivilsilbud (2011), *DSTU B V.2.6-15:2011. Bloki okonnye i dvernye polivinilchloridnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [DSTU B V.2.6-15:2011 Windows and door blocks made of PVC. General specifications], Kyiv, UA.
3. *NAPB B.07.005-86 Opredelenie kategorii pomesheniy i zdaniy po vzryvopozharnoy i pozharnoy opasnosti (Obshesoyuznye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya) ONTP 24-86* [NAPB B.07.005-86 Determination of categories of premises and buildings for explosion and fire hazard (All-Union norms of technological design) ONTP 24-86] (1986), VNIPO MVD SSSR, Moscow, SU.
4. Ministerstvo arhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus (2006), *TKP 45-2.02-38-2006 (02250). Konstruktsii legkosbrasyvaemye. Pravila rascheta*. [TKP 45-2.02-38-2006 (02250) (2006) Easily discarded constructions. Calculation rules], Minsk, Belarus.
5. NFPA 68. Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting (2018). Available at: <https://catalog.nfpa.org/NFPA-68>.
6. BS EN 14491:2012. Dust Explosion Venting Protective Systems (2012), available at: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail>.
7. *Raschet parametrov legkosbrasyvaemykh konstruktsiy dlya vzryvoopasnykh pomeshcheniy promyshlennykh obektov. Rekomendatsii* [Calculation of parameters of easily resettable structures for explosive areas of industrial facilities. Recommendations] (2015), VNIPO, Moscow, RU.
8. Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus (2007), *STB 1762-2007 Konstruktsii legkosbrasyvaemye. Metod opredeleniya izbytochnogo davleniya vskrytiya* [STB 1762-2007 Easily discarded constructions. Method for determining overpressure opening]. Minsk, Belarus.
9. *GOST R 56289-2014 Konstruktsii svetoprozrachnye legkosbrasyvaemye dlya zdaniy. Metody ispytaniy na vozdeystvie vnutrennego avariynogo vzryva* [GOST R 56289-2014 Translucent easily removable structures for buildings. Test methods for the effect of an internal emergency explosion] (2014), Standartinform, Moscow, RU.
10. Sharovarnikov A. F. and Korolchenko D. A. (2013), "Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 475-476, pp. 1344-1350.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344>
11. Bradley D. and Mitcheson A. (1976), "Mathematical solutions for explosions in spherical vessels", *Combustion and Flame*, Vol. 26, pp. 201-217.  
[https://doi.org/10.1016/0010-2180\(76\)90072-9](https://doi.org/10.1016/0010-2180(76)90072-9)

12. Crescitelli S., Russo G. and Tufano K. (1979), "Analysis and design of venting systems: A simplified approach", *Journal of Occupational Accidents*, Vol. 2, No. 2, pp. 125-133.

[https://doi.org/10.1016/0376-6349\(79\)90004-x](https://doi.org/10.1016/0376-6349(79)90004-x)

13. Orlov G. G., Korolchenko D. A. and Lyapin A. V. (2014), "Optimization of requirements for structural and volumetric planning solutions in the design of buildings and structures for explosive industries", *Pozharovzryvobezopasnost*, Vol. 23, no. 11, pp. 67-74.

<https://doi.org/10.18322/PVB.2014.23.11.67-74>.

14. Orlov G. G., Korolchenko D. A. and Korolchenko A. Ya. (2015), "Determination of the magnitude and nature of explosive loads when using inertial protective structures", *Pozharovzryvobezopasnost*, Vol. 24, no. 4, pp. 47-55.

<https://doi.org/10.18322/PVB.2015.24.4.47-55>.

---

### Про авторів

**Ніжник Вадим Васильович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ), Київ, Україна, [nignyk@ukr.net](mailto:nignyk@ukr.net).

**Нікулін Олександр Федорович**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ), Київ, Україна, [a.f.nikulin@gmail.com](mailto:a.f.nikulin@gmail.com).

**Поздєєв Сергій Валерійович**, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна, [svp\\_chipbb@ukr.net](mailto:svp_chipbb@ukr.net).

**Добряк Дмитро Олександрович**, магістр, науковий співробітник, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ), Київ, Україна, [vdb211@ukr.net](mailto:vdb211@ukr.net).

**Мороз Олександр Іванович**, провідний науковий співробітник, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ), Київ, Україна, [moroz625322@gmail.com](mailto:moroz625322@gmail.com).

**Кодрик Анатолій Іванович**, кандидат технічних наук, науковий співробітник, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУНДЦЗ), Київ, Україна, [kodrik@ukr.net](mailto:kodrik@ukr.net).

### About the authors

**Nizhnyk Vadym Vasyliyovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Institute of Public Administration and Civil Defense Research, Kyiv, Ukraine, [nignyk@ukr.net](mailto:nignyk@ukr.net).

**Nikulin Aleksandr Fedorovych**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Institute of Public Administration and Civil Defense Research, Kyiv, Ukraine, [a.f.nikulin@gmail.com](mailto:a.f.nikulin@gmail.com).

**Pozdeev Serhii Valeriyovych**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Chief Researcher of Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine, [svp\\_chipbb@ukr.net](mailto:svp_chipbb@ukr.net).

**Dobriak Dmytro Oleksandrovych**, Master of Science, Researcher, Institute of Public Administration and Research in Civil Defense, Kyiv, Ukraine, [vdb211@ukr.net](mailto:vdb211@ukr.net).

**Moroz Aleksandr Ivanovych**, Leading Researcher, Institute of Public Administration and Research in Civil Defense, Kyiv, Ukraine, [moroz625322@gmail.com](mailto:moroz625322@gmail.com).

**Kodryk Anatolii Ivanovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Researcher, Institute of Public Administration and Research in Civil Defense, Kyiv, Ukraine, [kodrik@ukr.net](mailto:kodrik@ukr.net).

---

**Аннотация.** В данной статье приведено современное состояние по случаям взрывов в Украине и превентивные меры защиты от них. Определена актуальность исследований по обоснованию методики расчета параметров легкобрасываемых конструкций для взрывопожароопасных помещений. Проведен анализ отечественных и зарубежных нормативных документов по проектированию и монтажу оконных проемов в зданиях различного назначения. Рассмотрены допустимые величины избыточного давления взрыва, которые не наносят значительные повреждения строительным конструкциям и являются безопасным для людей. Предметом исследования является влияние количества газа на конструктивные параметры исследовательского стенда для проведения экспериментального оценивания легкобрасываемых конструкций. Целью данной работы является обоснование конструкции и основных технических параметров исследовательского стенда для оценки срабатывания легкобрасываемых конструкций. Сущность предлагаемого метода исследований заключается в создании избыточного давления от взрыва смеси пропан-бутана с воздухом в рабочем объеме и исследования влияния данного избыточного давления взрыва на опытный образец легкобрасываемых конструкций. Опытный стенд для исследования процессов влияния величины избыточного давления взрыва в замкнутом пространстве на конструктивные параметры легкобрасываемых конструкций является простым по своей конструкции и обеспечивает имитирование части фрагмента здания (сооружения) и позволяет проводить исследования по возможности использования тех или иных строительных материалов с различными геометрическими параметрами в качестве легкобрасываемых конструкций, что в свою очередь позволяет исследователю получать более достоверные данные для анализа. Проанализированы существующие экспериментальные методы оценки параметров легкобрасываемых конструкций. Определены размеры

исследовательского стенда и параметры его ограждающих конструкций, критические значения избыточного давления взрыва, который должен создавать стенд, и минимальное количество газа, сгорание которого обеспечит необходимое избыточное давление взрыва в стенде. Разработан принципиально новый стенд экспериментального оценивания параметров легкобрасываемых конструкций, программа и методика экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** легкобрасываемые конструкции, избыточное давление взрыва, экспериментальное оценивание легкобрасываемых конструкций, исследовательский стенд, параметры легкобрасываемой конструкции

**Annotation.** This article presents the current state of affairs in cases of explosions in Ukraine and preventive measures to protect against them. The relevance of studies on the substantiation of the methodology for calculating the parameters of easily disposable structures for explosive and fire hazardous premises has been determined. The analysis of domestic and foreign regulatory documents for the design and installation of window openings in buildings for various purposes is carried out. The permissible values of the overpressure of the explosion, which does not cause significant damage to building structures and is safe for people, are considered. The subject of the study is the effect of the amount of gas on the design parameters of the research stand for the experimental evaluation of easily disposable structures. The purpose of this work is to substantiate the design and the main technical parameters of the research stand for assessing the performance of easily disposable structures. The essence of the proposed research method is to create an excess pressure from the explosion of a mixture of propane-butane with air in the working volume and to study the effect of this excess pressure of the explosion on a prototype of an easily disposable structure. An experimental stand for studying the processes of the influence of the magnitude of the overpressure of an explosion in a confined space on the design parameters of easily disposable structures is simple in design, provides an imitation of a part of a building (structure) fragment and makes it possible to study the possibility of using certain building materials with different geometric parameters as easily disposable structures, which, in turn, allows the researcher to obtain more reliable data for analysis. The existing experimental methods for evaluating the parameters of easily disposable structures are analyzed. The dimensions of the research stand and the parameters of its enclosing structures, the critical values of the overpressure of the explosion, which the stand should create, and the minimum amount of gas, the combustion of which will provide the necessary overpressure of the explosion in the stand, are substantiated. A fundamentally new stand for the experimental evaluation of the parameters of easily disposable structures, a program and experimental research methodology have been developed.

**Key words:** easily disposable structures, overpressure of the explosion, experimental evaluation of easily disposable structures, research stand, parameters of easily disposable structures.

*Стаття надійшла до редакції 10.07. 2020*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Т.В. Бунько*