

Д. О. Дорошенко, ад'юнкт ад'юнктури, НУЦЗУ,
Ю. П. Ключка, д.т.н., с.н.с., нач. каф., НУЦЗУ,
О. П. Михайлюк, к.х.н., доцент, доц. каф., НУЦЗУ

АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ВИБУХІВ ТА УМОВ УТВОРЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ У ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ

На основі інформації технічних звітів про пожежу було проведено аналіз наслідків вибухів у житлових будинках та проведено оцінку часу утворення вибухонебезпечної верхньої та нижньої концентраційної межі поширення полум'я від тиску в балоні та площі отвору при різних значеннях об'єму приміщення.

Ключові слова: «пропан-бутан», вибух, балон, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Вуглеводневі гази на сьогодні користуються великим попитом у побуті в якості палива при приготуванні їжі, проведенні ремонтних робіт, тощо. Але, незважаючи на свою користь при використанні, горючі гази у разі аварійної ситуації утворюють зону вибухонебезпечної загазованості, в якій концентрація горючої речовини перевищує нижню концентраційну межу поширення полум'я, створюючи всі належні умови для вибуху. Проблема прогнозування наслідків вибухів та умов утворення газоповітряних сумішей у житлових будівлях завжди є актуальною, так як наслідки, мають катастрофічний характер: травмування або загибель людей, знищення житлового фонду, великі матеріальні збитки та компенсації постраждалим, негативний психологічний вплив на населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз надзвичайних ситуацій свідчить, що протягом останнього десятиліття значна частина (до 50%) надзвичайних ситуацій пов'язана з аваріями та катастрофами техногенного характеру. На протязі 2019 року зафіксовано зростання показника кількості НС унаслідок пожеж та вибухів на 23%, а кількість загиблих у них людей збільшилася на 19% у порівнянні з 2018 [1].

Великомасштабні вибухи та пожежі, а також аналіз небезпеки газоповітряної суміші на територіях країн світу продемонстровано в роботах [2, 3]. Розглянемо приклади вибухів газових сумішей в будівлях на території України. 3 травня 2020 року у селі Дитрівка вибух газового балону зруйнував одноповерхову будівлю (рис. 1), на момент події господарів не було вдома, постраждалих немає.

22 травня 2020 року стався вибух в селі Пшеничники, що на Прикарпатті, вибухнув газовий балон у приватному одноповерховому житловому будинку у результаті чого зруйновано будівлю та травмовано господаря.

13 червня цього ж року на території міста Харкова у багатоповерховому будинку прогрімів вибух (рис. 2) газового балону ємністю 25 літрів.



Рис. 1. Вибух газового балону у будинку в селі Дитрівка



Рис. 2. Вибух газового балону у кімнаті багатоповерхового житлового будинку міста Харкова

Одним із основних критеріїв оцінки наслідків НС є травмування та/або загибель людей [4]. У якості прикладу на рис. 2 приведено наслідків вибухів газових сумішей у житловому секторі на території України.

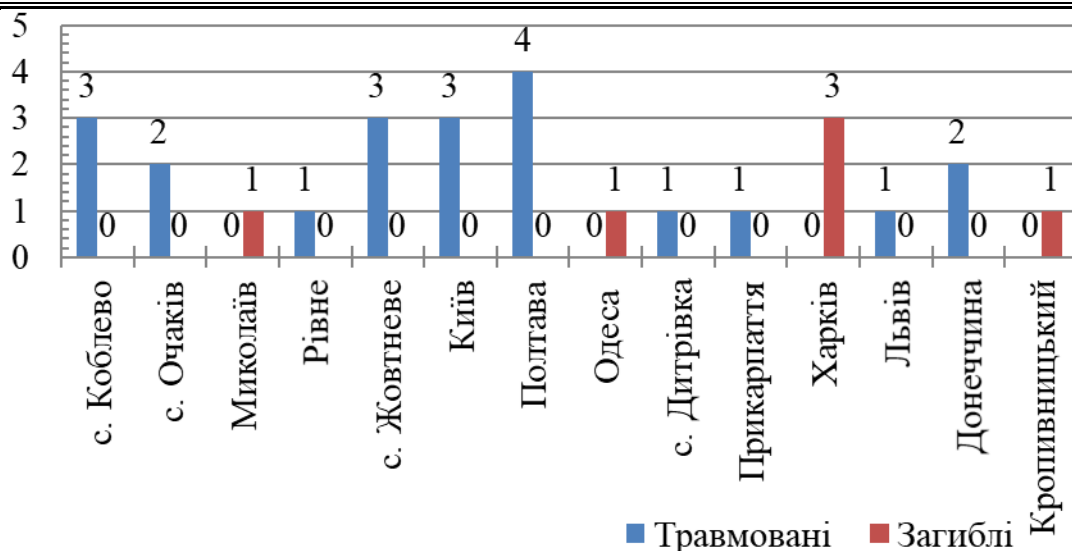


Рис. 3. Кількість осіб, які постраждали внаслідок вибухів

Аналіз висновків технічних звітів [5] вищезазначених вибухів показав, що основні та найбільш розповсюджені причини можна представити в наступному вигляді (рис. 4).

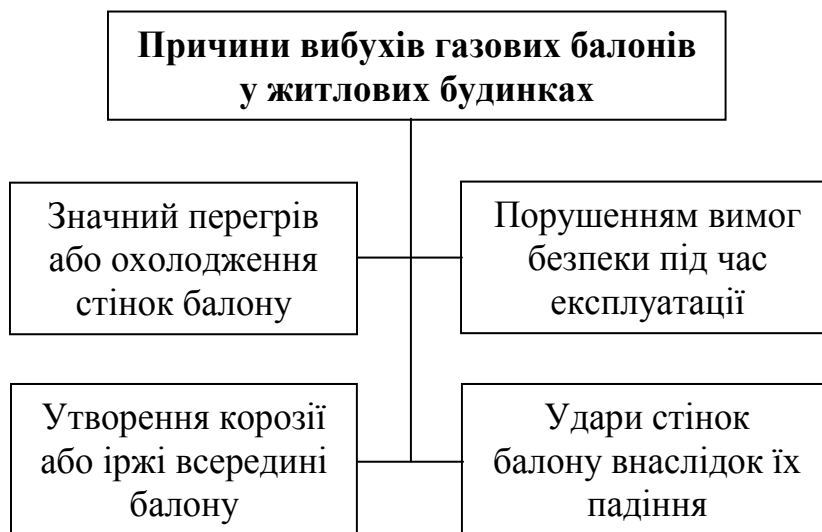


Рис. 4. Причини вибухів газових балонів із зрідженими вуглеводневими газами

Для побутових систем використовуються балони, які відповідно до [6] заповнюються зрідженими газами не більш, ніж 85% його об'єму. При нормальних умовах робочий тиск балону становить до 1,6 МПа.

Якщо в зоні вибухонебезпечної загазованості виникне джерело запалювання у вигляді іскор різного походження, електричної енергії або відкритого вогню, станеться вибух горючої суміші, надлишковий тиск якої може спричинити певні руйнування конструктивних елементів будівлі. При цьому наслідки вибуху в залежності від величини збиткового тиску можна представити в наступному вигляді [7] (табл. 1).

Табл. 1. Ступінь руйнування будівельних конструкцій при деяких значеннях надлишкового тиску

Характер пошкодження елементів будинку	ΔP , кПа
Руйнування скління	2÷7
Руйнування перегородок і покрівлі:	
- дерев'яних каркасних будинків;	12
- цегляних будинків;	15
- залізобетонних каркасних будинків.	17
Руйнування перекриттів:	
- дерев'яних каркасних будинків;	17
- промислових цегляних будинків;	28
- промислових будинків зі сталевим і залізобетонним каркасом;	30
будинки з масивними стінами.	42
Руйнування стін:	
- шлакоблокових будинків;	22
дерев'яних каркасних будинків;	48
- цегляних будинків зі стінами у 1,5 цегли;	40
будинки з масивними стінами.	100
Руйнування фундаментів	215÷400

У роботах [8, 9] проведено аналіз залежності тиску пропан-бутанової суміші від температури та часткової маси бутану, а також залежність теплоти згоряння газу «пропан-бутан» та маси газу від об'ємної кількості пропану.

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної роботи є дослідження умов утворення газоповітряних сумішей у житлових будівлях та часу утворення вибухонебезпечних концентрацій газу в приміщенні.

Час утворення вибухонебезпечної концентрації залежить від багатьох факторів, в тому числі й від об'єму приміщення. Сучасні будинки, квартири мають широкий діапазон площ приміщень та на 10-20% може змінюватися й висота. Проведений аналіз показав, що об'єм квартир можна представити в наступному вигляді (рис. 5).

Таким чином об'єм може варіюватися від 84 до 250 м³, за умови, що всі двері відкриті та квартира розглядається як одне приміщення. В даному випадку перевагою є те, що при великому об'ємі буде довше формуватися вибухонебезпечна концентрація, з іншого боку наслідки вибуху будуть гірші.

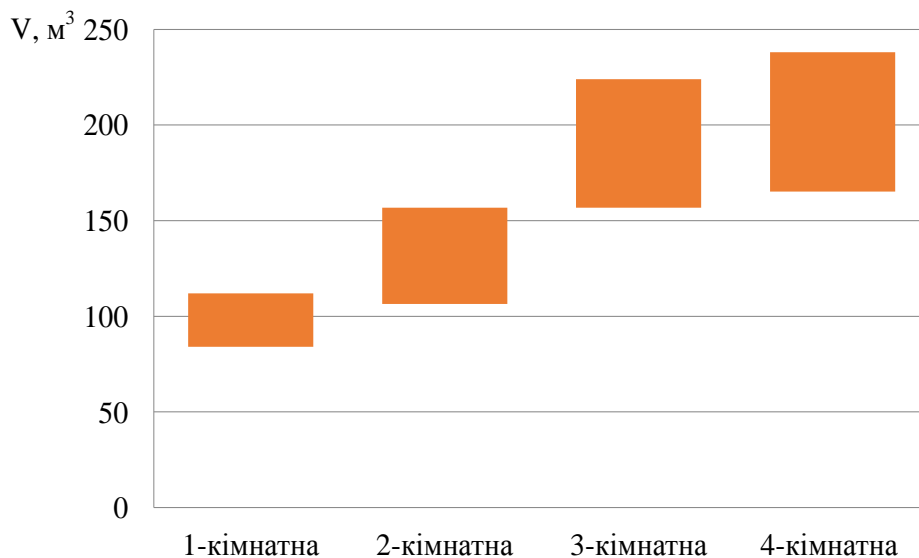


Рис. 5. Залежність об'єму квартири від кількості кімнат

Таким чином об'єм може варіюватися від 84 до 250 м³, за умови, що всі двері відкриті та квартира розглядається як одне приміщення. В даному випадку перевагою є те, що при великому об'ємі буде довше формуватися вибухонебезпечна концентрація, з іншого боку наслідки вибуху будуть гірші.

На рис. 6 наведено залежність необхідної маси газу для формування вибухонебезпечної концентрації (досягнення НКМПП та ВКМПП) від об'єму приміщення.

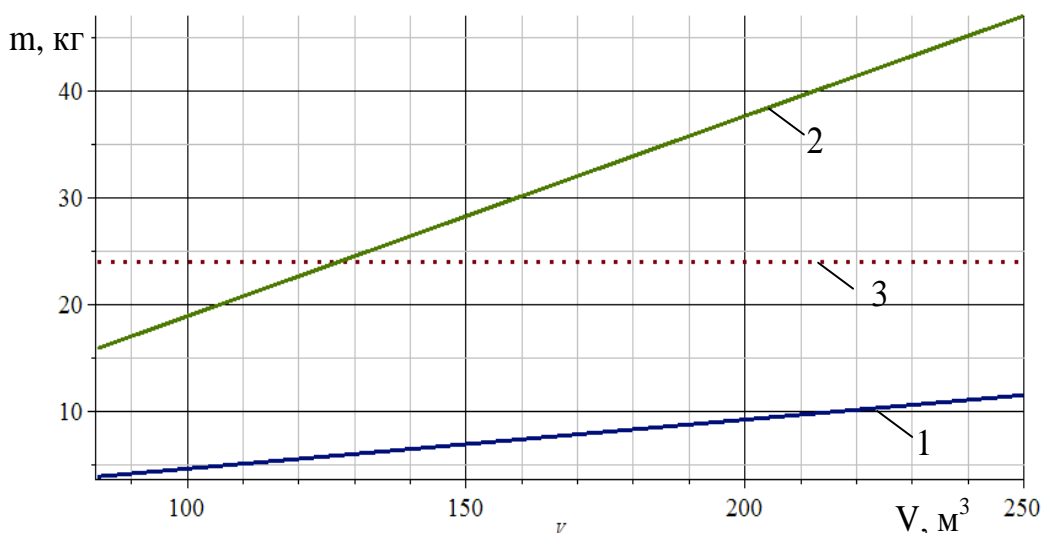


Рис. 6. Залежність необхідної маси газу для формування вибухонебезпечної концентрації від об'єму приміщення: 1 – нижня концентраційна межа поширення полум'я; 2 – верхня концентраційна межа поширення полум'я; 3 – маса газу в балоні 50 літрів

Аналіз рисунку показує, що балон з пропан – бутаном об'ємом 50 літрів незалежно від об'єму середньостатистичної квартири або будинку здатен спричинити вибухонебезпечну концентрацію в приміщенні.

Відповідно до [12], масова витрата стисненого газу з балону, описується наступними виразами:

– докритичне витікання:

$$Q = S \cdot \mu \left[P \cdot \rho \cdot k \left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right]^{0.5}, \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} \geq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}; \quad (1)$$

– надкритичне витікання:

$$Q = S \cdot \mu \left(P \cdot \rho \cdot k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right)^{0.5}, \quad \text{при} \quad \frac{P_a}{P} < \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2)$$

де Q – масова витрата, кг/с; P – тиск газу в балоні, Па; P_a – атмосферний тиск, Па; γ – показник адіабати газу; S – площа отвору, м²; μ – коефіцієнт витікання (0,6-0,8) [12]; ρ – густина газу в балоні, кг/м³.

Відповідно до (1) та (2) на рис. 7 наведено залежність часу формування вибухонебезпечної концентрації (верхньої та нижньої) від об'єму.

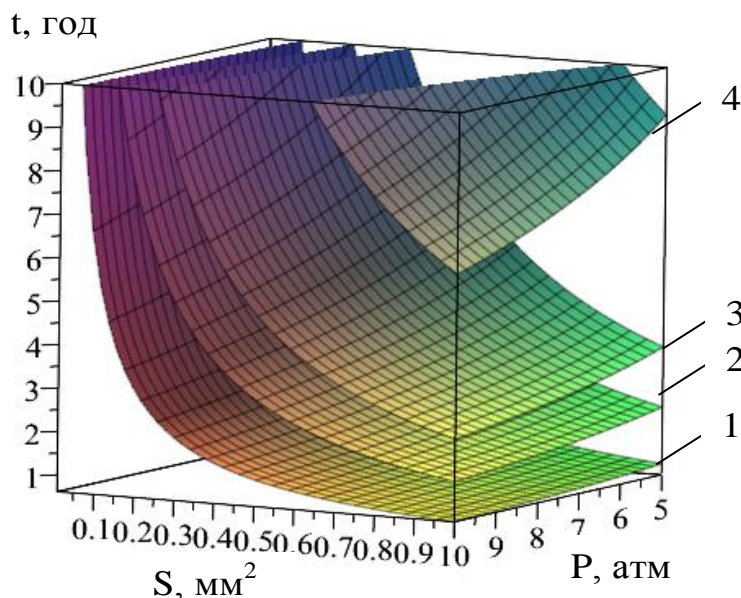


Рис. 7. Залежність часу формування вибухонебезпечної концентрації від тиску в балоні та площі отвору. 1 – нижня концентраційна межа поширення полум'я, при об'ємі приміщення 100 м³; 2 – верхня концентраційна межа поширення полум'я, при об'ємі 100 м³; 3 – нижня концентраційна межа поширення полум'я, при об'ємі, 250 м³; 4 – верхня концентраційна межа поширення полум'я, при об'ємі, 250 м³

Аналіз рисунку показує, що протягом 20–30 хвилин у приміщенні може утворитися вибухонебезпечна концентрація. При цьому збільшення тиску в балоні в два рази призводить до 20% відсоткового зменшення часу.

Висновки. Таким чином в результаті проведеної роботи проаналізовано наслідки вибухів у житлових будинках та проведено оцінку часу утворення вибухонебезпечної верхньої та нижньої концентраційної межі поширення полум'я від тиску в балоні та площі отвору при різних значеннях об'єму приміщення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Публічний звіт Голови ДСНС про результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Zvitni-materiali-Derzhavnoyi-sluzhbi-Ukrayini-z-nadzvichaynih-situaciy.html>
2. Yang, L., Fan, W. C. and Wang, Q. Analysis Of Fire And Explosion Hazards Of Some Hydrocarbon-Air Mixtures, 1988. AOFST 3.
3. Makhviladze, G. M. Large Scale Fires And Explosions, 2001. AOFST 5.
4. Sekizawa A. Statistical Analyses On Fatalities Characteristics Of Residential Fires. Fire Safety Science, 1991. doi:10.3801/IAFSS.FSS.3-475.
5. Технічні висновки щодо ймовірності причини виникнення пожежі дослідно-випробувальної лабораторії АРЗ СП ГУ ДСНС України у Миколаївській області (№17/В/15; №77/В/14; 50/В/15; 03/В/10; 54/В/14).
6. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 15.05.2015. № 285 «Про затвердження Правил безпеки систем газопостачання». С. 38.
7. Тарахно О. В., Сирих В. М., Тарахно Р. В. Експертне дослідження версії виникнення вибуху газопароповітряної суміші у приміщенні // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 27. Харків: УЦЗУ, 2010. С. 198–205.
8. Ключка Ю. П., Тарариев А. И. Анализ пожаровзрывоопасности систем хранения газа «пропан-бутан» // Проблеми пожежної безпеки: зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 34. Харків: УЦЗУ, 2013. С. 98–106.
9. Ключка Ю. П., Тарариев А. И., Болотских М. В. Характеристики композитных баллонов с газом «пропан-бутан» с учетом их пожаровзрывоопасных свойств // Проблеми пожежної безпеки: зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 35. Харків: УЦЗУ, 2014. С. 93-99.
10. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Київ, 2016. С. 31.
11. Баратов А. Н., Корольченко А. Я. Справочник «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения» ч. I и II. М.: Химия, 1990. С. 650.
12. Болодьян И. А., Шебеко Ю. Н., Карпов В. Л., Макеев В. И. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.:ВНИИПО, 2006. С. 97.

Д. О. Дорошенко, Ю. П. Ключка, А. П. Михайлюк

Анализ последствий взрывов и условий образования газоздушных смесей в жилых домах

На основе информации технических отчетов о пожарах осуществлен анализ последствий взрывов в жилых домах и проведена оценка времени образования взрывоопасного верхнего и нижнего концентрационного предела распространения пламени от давления в баллоне и площади отверстия при разных значениях объема помещения.

Ключевые слова: «пропан-бутан», взрыв, баллон, чрезвычайная ситуация.

D. Doroshenko, Yu. Klyuchka, A. Mikhailuk

Analysis of the consequences of explosions and the conditions for the formation of gas-air mixtures in residential buildings

On the basis of information from technical reports on fires, the analysis of the consequences of explosions in residential buildings was carried out and the time of formation of an explosive upper and lower concentration limit of flame propagation from the pressure in the balloon and the area of the opening was estimated at different values of the volume of the room.

Keywords: «propane-butane», explosion, balloon, emergency.