

ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 614.838.5

<https://doi.org/10.31713/vt1202315>

Кусковець С. Л., к.т.н., доцент, Филипчук В. Л., д.т.н., професор, Шаталов О. С., к.с.-г.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АНАЛІЗ УМОВ ВИНИКНЕННЯ ВИБУХІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Вибухи газу в житлових будинках спричиняють загибель людей, пошкодження помешкань, руйнування стін, поверхів та під'їздів. Аварії відбуваються через невиконання мешканцями правил безпеки поводження з газовими приладами та ігнорування вибухопожежонебезпечними властивостями газу. Приміщення, у яких встановлюються газові прилади повинні мати витяжний канал вентиляції або вікно з кватиркою, оснащуватись газоаналізаторами витоку газу. Інструктаж щодо забезпечення вибухобезпеки з мешканцями житлових будинків газорозподільне підприємство проводить лише при заселенні газифікованих будинків-новобудов перед пуском газу. Періодичність проведення роз'яснювальної роботи серед користувачів газових приладів та при зміні власника помешкання нормативними документами не оговорена. У виробничих приміщеннях з вибухопожежонебезпечними категоріями передбачають легкоскридні конструкції, фрамуги, що відкидаються чи відчиняються, здійснюють скління вікон склом визначеної товщини та площі. Житлові будинки не належать до категорії об'єктів за вибухопожежонебезпекою, тому питання їх вибухостійкості нормативними документами не розглядається. В житловому будівництві широко застосовуються пластикові вікна з кількома камерами. Спеціальні вентиляційні клапани, які встановлюються на віконні рами не завжди забезпечують необхідний повітрообмін. Розрахункове значення надлишкового тиску вибуху газоповітряної суміші в приміщенні дозволяє визначити умови безпечного перебування там людей та поведінки основних будівельних конструкцій щодо їх стійкості. Для проведення прогнозування можливого тиску при вибуху природного газу та руйнувань конструкцій будівель були

розраховані величини тиску ударної хвилі вибуху. Розрахунки показали, що практично в усіх випадках, які досліджувались, надлишковий тиск вибуху не перевищує граничний тиск руйнування одного скла пластикового вікна. Це може призвести до руйнування конструктивних елементів будівлі та завдання шкоди людині, тобто використання звичайних пластикових склопакетів становить значну вибухонебезпеку. Пропонується встановлення вікон з елементами, які відкриваються або випадають назовні під час вибуху газу при тиску ударної хвилі, що перевищує допустимі значення.

Ключові слова: природний газ; вибухонебезпечна концентрація; витік газу; вибух; ударна хвиля вибуху; надлишковий тиск вибуху; вибухобезпека; склопластикові вікна.

Вступ. Щороку українці стають свідками страшних новин про вибухи газу в житлових будинках. Часто вибух призводить до обвалення несучих конструкцій під'їздів, і ті, хто зумів врятуватися від вогню, гине під завалами будинків. Подібні випадки спричиняють пошкодження не лише одного помешкання будинку, але через обрушення стін, перегородок, перекриттів руйнують сусідні квартири, поверхи тощо.

Особливу увагу громадськості до небезпеки побутового газу було сфокусовано після трагічної події у м. Дніпропетровську, що сталася 13 жовтня 2007 року через несправність газорозподільного пункту. В результаті вибуху було зруйновано чотири під'їзди багатоквартирного будинку № 127 на вулиці Мандриківській, коли загинули 23 людини, а 160 родин залишилися без даху над головою. 24 грудня 2008 року внаслідок розгерметизації газового балона «струснуло» багатоквартирний будинок у м. Євпаторії, де загинули 27 людей. Подібний випадок стався в м. Миколаєві у 2014 році, в результаті чого семеро людей загинуло, п'ятеро – отримали важкі поранення, обрушилися чотири верхніх поверхи десятиповерхового будинку. Як показують статистичні дані, лише за період 2016–2019 років в Україні сталося біля 200 аварій, що пов'язані з використанням побутового газу, в результаті чого кількість загиблих склала 109 осіб, а постраждалих – 366 осіб [1]. Більшість аварій сталися через витіки газу внаслідок невиконання мешканцями правил безпеки поводження з газовими приладами та ігнорування вибухопожежонебезпечними властивостями природного газу.

Існуючий стан проблеми. Як свідчать статистичні дані [1], найбільша кількість вибухів газу зафіксована в приміщеннях одноповерхових будівель та житлових будинків висотою до дев'яти поверхів включно.

Відомо, що природний газ вдвічі легший за повітря, тому при витокі він накопичується у верхній частині помешкання, утворюючи вибухонебезпечні концентрації в об'ємі приміщення в межах нижньої і верхньої концентраційних меж розповсюдження полум'я – 5,28–14,1% [2], що є основною причиною виникнення аварійної ситуації.

Причини витокі газу можна підрозділити на три групи: витік через незапалений пальник газової плити; обрив шлангу (частковий або повний), що з'єднує газову плиту зі стояком; корозійний знос газових комунікацій або нещільності у системі газопостачання [1].

Нормативним документом [3] передбачено можливість встановлення газових плит в кухнях житлових будинків висотою не менше 2,2 м. Такі приміщення повинні мати витяжний канал вентиляції або вікно з кватиркою чи вбудованим у вікно провітрювачем продуктивністю не менше 90 м³/год, які виходять на зовні або на засклену лоджію з постійно відкритим отвором аналогічної продуктивності. При цьому внутрішній об'єм кухні залежить від кількості пальників газової плити і має бути не менше ніж: для плити з двома пальниками – 8 м³; з трьома пальниками – 12 м³; з чотирма та більше пальниками загальною потужністю до 11,5 кВт – 15 м³. У випадку перевищення теплової потужності газових плит та інших газових приладів потужністю понад 11,5 кВт внутрішній об'єм кухні має бути збільшений на 1,5 м³ на кожен додатковий 1 кВт потужності [3].

Побутові приміщення (кухні) квартир у більшості житлових будинків забезпечені газовими плитами типу «Плити газові побутові» [4]. Відповідно до технічних характеристик таких плит, витрата газу для одного пальника становить близько $q_k = 0,1$ м³/год [4].

Через нерівномірне використання споживачами природного газу упродовж доби в розподільних мережах відбувається значна відмінність тиску від унормованого, який має бути в межах 0,003 МПа [3]. Це призводить до витоків газу через утворені нещільності у системі газопостачання квартир та газових приладів.

Правильна експлуатація користувачем газового обладнання, а також дотримання вимог безпеки (якість та ефективність природної

вентиляції, відчинена кватирка, чистий вентиляційний канал, контроль концентрації газів у приміщенні тощо) є важливою частиною профілактики вибухонебезпеки [5; 6]. Для контролю витоків газу, побутові приміщення житлових будинків повинні оснащуватись газоаналізаторами та системами автоматичного відключення подачі газу [3; 5]. Такі системи попереджають про небезпечну концентрацію метану та оксиду вуглецю (CO), які сигналізують про досягнення загазованості приміщення 10% від нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я природного газу і вмісті в повітрі CO понад 20 мг/м³ [7]. Однак, через фінансові труднощі, такі газоаналізатори користувачами газових приладів практично не встановлюються.

Важливим чинником забезпечення вибухонебезпеки є проведення роз'яснювальної роботи серед мешканців житлових будинків. Газорозподільне підприємство проводить інструктаж з власниками щодо безпечної експлуатації газового обладнання лише при заселенні газифікованих будинків-новобудов і після капітального ремонту існуючого житлового фонду у технічних кабінетах або безпосередньо в квартирах перед пуском газу [5]. Решта випадків, зокрема пов'язаних зі зміною власника помешкання, а також періодичність таких заходів, вказаним нормативним документом не оговорена.

Зрозуміло, що газифікація приватних житлових будинків і новобудов багатоповерхівок буде постійно продовжуватись. Це сприятиме необхідності підвищення відповідальності громадян і посилення контролю з боку відповідних організацій за правильною експлуатацією газового обладнання. Однак, незважаючи на наявність дієвих нормативних документів стосовно використання запобіжних заходів, вибухи природного газу у житлових будинках продовжують відбуватися.

При цьому рівні вибухових навантажень суттєво залежать від об'ємно-планувального рішення приміщення, сценарію протікання аварійного вибуху, характеру скління вікон всієї квартири тощо. Порушення цілісності конструкції будівлі під час вибуху здатне призвести до обриву електропроводки, трубопроводів та іншого інженерного обладнання, що створює загрозу розвитку пожежонебезпечної ситуації, яка настає за вибухом. Руйнівна сила газового вибуху, безперечно, являє собою небезпечний фактор, але

вибух, доповнений наступною пожежею, робить ситуацію ще більш небезпечною.

Необхідно враховувати й інші фактори, які збільшують чи зменшують наслідки впливу вибуху на людину. До них можна віднести відстань до місця вибуху, наявність перешкод на шляху руху ударної хвилі вибуху, інтенсивність теплового випромінювання, вплив високотемпературних продуктів згоряння газоповітряної суміші тощо.

Для зменшення негативного впливу небезпечних факторів вибуху у виробничих будівлях з вибухопожежебезпечними технологіями передбачено ряд технічних противибухових рішень: влаштування легкоскидних конструкцій (ЛСК) в зовнішніх стінах, скління вікон склом визначеної товщини та площі, влаштування фрамуг, що відкидаються чи відчиняються тощо [8]. Зазвичай роль ЛСК у приміщеннях виробничого призначення виконує скління віконних отворів, площа якого за [8] повинна бути не менше $0,05 \text{ м}^2$ на кожен 1 м^3 об'єму приміщення категорії А і не менше $0,03 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму приміщення категорії Б. Варто зауважити, що віконне скло належить до легкоскидних конструктивних елементів, якщо його товщина становить 2 мм, 3 мм, 4 мм та 5 мм та має площу $0,5 \text{ м}^2$, $0,8 \text{ м}^2$, 1 м^2 , $1,5 \text{ м}^2$ відповідно [8].

Водночас питання вибухостійкості житлових будинків нормативними документами взагалі не розглядається, оскільки вони не належать до категорії об'єктів за вибухопожежебезпекою [9]. При цьому площа віконних прорізів, які при аварійному вибуху можуть виконувати роль скидних конструктивних елементів, визначається виключно з норм освітленості житлових приміщень [6].

На жаль, незважаючи на розроблені нормативні документи, заходи, що проводяться відповідними експлуатаційними організаціями щодо вибухобезпеки, зменшення аварійних ситуацій, пов'язаних з вибухами побутового газу не спостерігається, а подекуди їх кількість навіть збільшується, тому для підвищення вибухобезпеки житлових будинків необхідні додаткові наукові та інженерні рішення.

Метою роботи є удосконалення шляхів попередження вибухів у житлових приміщеннях внаслідок витоків природного газу.

Аналіз результатів досліджень. На сьогодні в житловому будівництві досить широко застосовуються однокамерні та двох- і більше камерні пластикові вікна з мінімальною товщиною скла 4 мм,

яке має опір на розтягування при навантаженні (вигині) 15 МПа [10]. Встановлення у газифікованих приміщеннях металопластикових вікон, які не мають кватирок/фрамуг заборонено [5].

Для часткового уникнення вибухонебезпечних ситуацій у приміщеннях з пластиковими вікнами застосовують спеціальні вентиляційні клапани, які встановлюються на самі віконні рами. Для житлових приміщень таке обладнання дозволяє забезпечувати витрату повітря від 4,8 до 42 м³/год на кожне вікно при перепадах тиску в межах 5–10 Па. Окремі моделі такого обладнання забезпечують повітрообмін на рівні 100 м³/год і у разі придбання та монтажі мають значну фінансову вартість.

Водночас більшість моделей вентиляційних клапанів не справляються з поставленою задачею навіть в теплу пору року, коли перепад тисків мінімальний. В холодну пору року багато моделей клапанів взагалі не здатні виконати поставлену перед ними функцію через утворене намерзання конденсату вологи.

Більшість склопластикових пакетів, що встановлюється в житлових приміщеннях, зовсім не має таких клапанів. Тому циркуляція повітря в приміщеннях у різні пори року забезпечується лише регулюванням щільності закриття вікон та природним відведенням забрудненого повітря у вентиляційний канал. Відповідно, заборонено встановлювати механічні витяжки у приміщеннях, де є газові прилади, з відведенням димових газів у такий канал [5]. Застосування примусової витяжної вентиляції в приміщеннях з газовими приладами можливо за наявності двох окремих каналів: димового та вентиляційного. Однак така вимога мешканцями будинків часто ігнорується.

Навіть за умови встановлених систем газ-контролю, склопластикових вікон з вентиляційними клапанами уникнути накопичення газу в квартирі в межах вибухобезпечних концентрацій немає можливості. Як результат, ударна хвиля при вибуху газоповітряної суміші буде одночасно впливати на несучі конструкції та конструктивні елементи відразу в декількох суміжних приміщеннях.

Розрахункове значення надлишкового тиску вибуху газоповітряної суміші (ΔP) в приміщенні дозволяє визначити умови безпечного перебування там людей та поведінки основних будівельних конструкцій щодо їх стійкості. Виходячи з можливості руйнування основних будівельних конструкцій та безпеки для

людини, допустимою величиною надлишкового тиску прийнято значення 5 кПа [9]. Різний вплив надлишкового тиску вибуху природного газу на оточення наведено в таблиця.

Таблиця

Вплив надлишкового тиску під час вибуху газу на людину та елементи будівлі [11]

Надлишковий тиск, ΔP , кПа	Вплив надлишкового тиску	
	на людину	на конструктивні елементи будівлі
0,7–1,0	Гучний шум (143 дБА)	Пошкодження 5% віконних отворів
1,4–3,0	Інтервал мінімально можливого отримання ураження уламками конструкцій будівлі	Пошкодження 50% віконних отворів, панелей стін з легких бетонів (частково), штукатурка стін і стелі (частково)
3,0–5,0		Пошкодження 90% віконного скла, легких перегородок, столярних виробів, цегляних і блочних стін (частково), залізобетонних плит (частково), скидання легкоскидних конструкцій
5,0	Граничний поріг ударної хвилі [9]	
5,0–15,0	10% вірогідність отримання баротравми, легкі та середні ушкодження від скла та інших конструктивних елементів, що руйнуються	Пошкодження металевих і дерев'яних панелей, черепиці, цегляних стін і сталевих конструкцій та каркасів (частково)
15,0–20,0	Можливий смертельний випадок від удару об перешкоду, травма від падіння (падіння від ударної хвилі)	Пошкодження колон каркасів (частково), обрушення стін з неармованого бетону або шлакоблоків, покрівлі
20,0–30,0	50% вірогідність отримання серйозних ран від уламків скла, 20% вірогідність смертельного наслідку, легка контузія, можливі забої і вивихи	Деформація і обвалення сталевих каркасів

продовження таблиці

30,0–35,0	50% вірогідність смертельного наслідку, 25% вірогідність отримання баротравми	Руйнування цегляних стін, пошкодження дерев'яних опорних стійок тощо
68,0–80,0	100% вірогідність смертельного наслідку, кровотечі з вух, носа, тяжка контузія головного мозку	Руйнування цегляних стін товщиною 1,5 цеглини
100,0–260,0	100% вірогідність смертельного наслідку, розриви внутрішніх органів	Повне руйнування будівель

Як видно з таблиці, до величини надлишкового тиску 5 кПа, як граничного порогу ушкодження людини ударною хвилею вибуху, відбувається тільки пошкодження віконних отворів, легких перегородок і частково цегляних і блочних стін, залізобетонних плит. В цілому при тискові в діапазоні 3,0–5,0 кПа ураження людини можливе лише осколками скла й іншими уламками меблів, будівельних елементів тощо. Тому межу надлишкового тиску $\Delta P = 5$ кПа слід розглядати з позиції непрямих ушкоджень, що викликають легкі травми людини, а не прямих, пов'язаних із хвилею тиску вибуху. Хоча у разі несвоєчасного надання людині медичної допомоги та евакуації з місця аварії такі травми можуть призвести до її загибелі.

У ряді випадків небезпечним вважається надлишковий тиск $\Delta P > 10$ кПа [11], оскільки при значеннях $\Delta P \leq 10$ кПа більшою мірою можна говорити про непряму дію ударної хвилі вибуху. Проте при $\Delta P = 5 \dots 10$ кПа може відбуватися також значне пошкодження стін, перегородок, панелей і плит приміщень та важкі травмування і загибель людей. Найбільш значні пошкодження та руйнування будівель мають місце за величині надлишкового тиску, що перевищує $\Delta P > 15$ кПа.

Проведемо прогнозування можливого тиску при вибуху природного газу. Розрахунок надлишкового тиску вибуху ΔP проводимо за метаном (CH_4), оскільки він складає понад 90% об'єму природного газу, а решта газів (етан, пропан, бутан тощо) становлять незначну кількість [12].

Для цього скористаємося методикою, визначеною [9] для індивідуальних речовин, які складаються з атомів С, Н, О тощо:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_v \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n}, \text{ кПа}, \quad (1)$$

де P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші в замкнутому об'ємі, який визначається експериментально або приймається за довідниковими даними, кПа. Для метану такий тиск становить 706 кПа [2];

P_0 – початковий тиск, допускається приймати рівним 101 кПа;

m – маса горючого газу, який надійшов до приміщення при аварії, кг:

$$m = (V_T) \cdot \rho_z, \quad (2)$$

де V_T , м³ – об'єм газу, який вийшов із газової плити до її перекривання і визначається за формулою

$$V_T = q \cdot \tau_{\text{відкл}}, \text{ м}^3,$$

де q – продуктивність газових пальників за [4];

$\tau_{\text{відкл}}$ – час припинення витоку газу за п 7.1.2 [9], прийmemo 1 год або 3600 с;

$\rho_{z,n}$ – густина газу при розрахунковій температурі t_p , кг/м³, визначається за формулою

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_0 (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = 0,666 \text{ кг/м}^3, \quad (3)$$

де M – молярна маса речовини, кг/кмоль; для метану $M = 16,04$;

V_0 – молярний об'єм, що дорівнює 22,413 м³/кмоль;

t_p – розрахункова температура, °С; приймаємо 20°С;

V_v – вільний об'єм приміщення, м³ визначається з розрахунку $0,8V_{\text{геом. об.}}$; приймаємо, що приміщення в якому встановлено газову плиту з чотирма пальниками має геометричний об'єм 15 м³ [3];

C_{cm} – стехіометрична концентрація горючого газу, % об.:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 9,36\%, \quad (4)$$

де β – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння метану визначається за формулою

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (5)$$

де n_c , n_H , n_O , n_X – число атомів С, Н, О і галоїдів у молекулі горючої речовини.

Для метану $\beta = 2$.

K_H – коефіцієнт, який враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння. Допускається приймати $K_H = 3$ [9];

Z – коефіцієнт участі горючих газів у вибуху [9]; $Z = 0,5$.

Підставляючи отримані значення у формулу (1), матимемо наступні результати тиску (P) для різної кількості ввімкнених пальників газової плити (рисунок).

Як видно з графіка (рис. 1 А), при витоку газу через один пальник газової плити, граничний поріг ударної хвилі (5 кПа) в кухні об'ємом 8 м³ настане через 40 хвилин, а в кухні об'ємом 12 м³ – майже через одну годину. У разі витоку газу через два пальники (рисунок, Б), граничний поріг ударної хвилі в кухні об'ємом 8 м³ настане через 20 хвилин, в кухні об'ємом 12 м³ – через 30 хвилин, а в кухні об'ємом 15 м³ – через 40 хвилин.

При витоку газу через три пальники (рисунок, В), граничний поріг ударної хвилі (5 кПа) в кухні об'ємом 8 м³ настане через 12 хвилин, в кухні об'ємом 12 м³ – через 20 хвилин, а в кухні об'ємом 15 м³ – через 25 хвилин, а при витоку газу через чотири пальники (рисунок, Г), граничний поріг ударної хвилі в кухні об'ємом 8 м³ настане майже через 10 хвилин, в кухні об'ємом 12 м³ – через 15 хвилин, а в кухні об'ємом 15 м³ – через 20 хвилин.

Порівнюючи отримані значення надлишкового тиску вибуху природного газу для різного об'єму приміщень, де встановлені газові прилади з даними таблиці, можна зробити висновок, що при одному ввімкненому пальнику, через одну годину, в кухні об'ємом 8 м³, може утворитися надлишковий тиск вибуху понад 7,5 кПа. При двох ввімкнених пальниках, для того ж приміщення, через одну годину утвориться тиск вибуху 15 кПа, при трьох пальниках – 23 кПа, а при чотирьох – 30 кПа. Для приміщень більшого об'єму (12 і 15 куб. м), такий тиск буде дещо менший, але шкода, завдана людині, та руйнування будівель будуть значними.

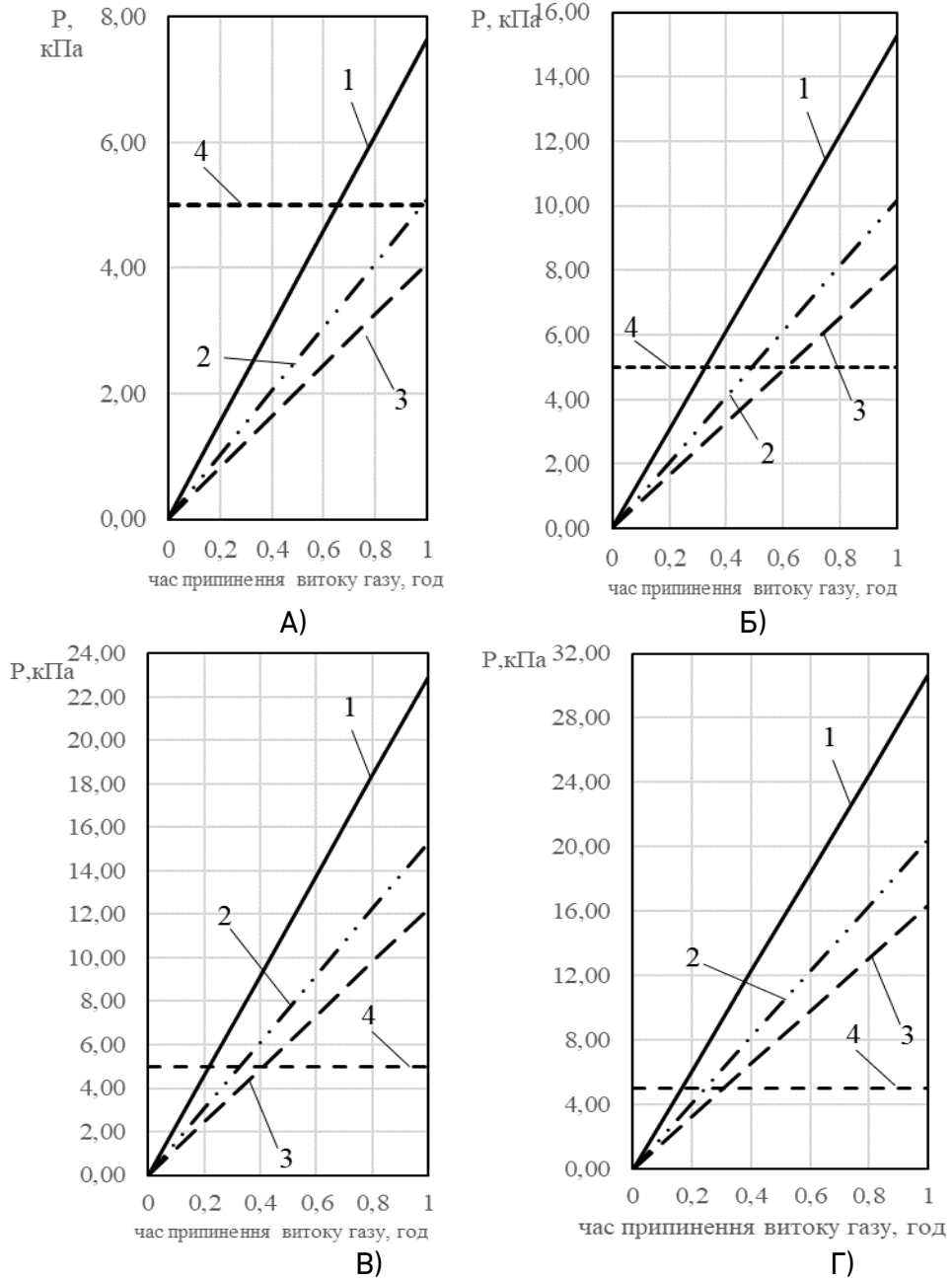


Рисунок. Залежність надлишкового тиску вибуху (P) від часу припинення витoku газу (t) при кількості ввімкнених пальників плити (А – один; Б – два; В – три; Г – чотири) у приміщеннях кухонь об'ємом (V): (1 – 8 м³; 2 – 12 м³; 3 – 15 м³; 4 – нижній поріг (5 кПа) граничного тиску ударної хвилі вибуху за [9])

Майже в усіх випадках, що досліджувались, надлишковий тиск вибуху не перевищує граничний тиск руйнування одного скла пластикового вікна ($P \geq 15$ кПа), а це може призвести до руйнування конструктивних елементів будівлі та завдання значної шкоди здоров'ю і життю людини.

Фактично стандартні пластикові склопакети не завжди можуть виконувати роль ЛСК, оскільки їх руйнування відбувається при більших значеннях надлишкового тиску. Такі вікна відкриваються всередину приміщення, що додатково підвищує опір вибуховій хвилі. В цьому випадку вікно вилетить разом із зовнішньою стіною панеллю.

Як вказують виробники, окрім естетичних та комфортних характеристик, склопакети повинні витримувати насамперед експлуатаційні навантаження, у тому числі вітрові. При розрахунку склопакетів на міцність, кожне скло у склопакеті розраховують окремо залежно від діючого на нього навантаження. У випадку використання декількох стекол у склопакеті, опір пластикового вікна ударній хвилі буде ще більшим, що незворотно призведе до руйнування будівель, травмування і загибелі людей при критичних витоках газу у приміщеннях та будівлях.

Таким чином, використання звичайних склопакетів у віконних отворах приміщень, де можливе утворення газоповітряної суміші становить значну вибухонебезпеку. При цьому пластикові вікна не виконують роль ЛСК, що призводить до різкого підвищення вибухового тиску. На цей час практично всі приміщення газифікованих будівель, де встановлені звичайні пластикові вікна, фактично є вибухонебезпечними і представляють собою загрозу життю людини внаслідок як прямої дії вибухової хвилі, так і внаслідок руйнування будівель.

Необхідно відзначити, що в Україні налагоджено виробництво металопластикових вікон, у вигляді легкоскридних конструкцій, які мають спеціальне маркування. Вікна мають поворотні елементи, які представляють собою стулку, що відкривається під час вибуху, або елемент, який під впливом хвилі від вибуху випадає назовні. Така конструкція склопакетів дозволяє забезпечити відкривання або руйнування ступок вікон, якщо надлишковий тиск вибуху досягає небезпечного значення. Одночасно такі конструкції, як звичайні вікна, можуть забезпечувати захист від холоду і необхідну звукоізоляцію [13].

Обов'язкове встановлення пластикових вікон з легкоскридними елементами назовні повинно передбачатись відповідними законодавчими документами для будівництва житлових будинків.

Висновки. Незважаючи на розроблені нормативні документи та заходи, що проводяться експлуатаційними організаціями щодо вибухобезпеки, зменшення аварійних ситуацій, пов'язаних з вибухами побутового газу у житлових будинках, особливо у зимовий період, не спостерігається. Однією із головних причин такого стану є встановлення у приміщеннях, де розміщені газові прилади, металопластикових вікон, не обладнаних легкоскридними елементами при ударній хвилі вибуху. Тому в нормативних документах для житлових будівель слід передбачити обов'язковість встановлення вікон зі склопакетами або конструкціями, які під дією надлишкового тиску вибуху, що перевищує допустимі значення, руйнуються або випадають назовні.

1. Вибух на Позняках в Києві: скільки аварій через побутовий газ сталося в Україні. *Слово і діло. Аналітичний портал* : вебсайт. URL: <http://surl.li/deyfr> (дата звернення: 25.03.2023). **2.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник / под ред. А. Н. Баратова. М. : Химия, 1990. Книга 1–2. 495 с. **3.** ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. [Чинний від 2019-07-01]. Київ, 2019. 115 с. **4.** ДСТУ 2204-93. Плити газові побутові. Загальні технічні умови. [Чинний від 1994-07-01]. Київ, 1993. 46 с. **5.** НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. [Чинний від 2015-07-07]. Київ, 2015. 68 с. **6.** ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [На заміну: ДБН В.2.2-15-2005, ДБН В.3.2-2-2009; чинний від 2019-12-01;]. Київ, 2019. 42 с. **7.** ДСТУ EN 50194:2009. Сигналізатори горючих газів для житлових споруд електричні. Технічні вимоги та методи випробування. [Чинний від 2011-01-01]. Київ, 2009. 19 с. **8.** СНиП 2.09.02-85*. Виробничі будівлі. [Чинний від 1985-01-01]. Київ, 1985. 44 с. **9.** ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. 66 с. **10.** ДСТУ Б В.2.7-107:2008. Будівельні матеріали. Склопакети клеєні будівельного призначення. [На заміну ДСТУ Б В.2.7-107-2001; чинний від 2010-01-01]. Київ, 2009. 57 с. **11.** Козлитин А. М. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли. *Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска*. Саратов : СГТУ, 2005. С. 16–43. **12.** Про затвердження Кодексу газотранспортної системи : Постанова

Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#top> (дата звернення: 27.03.2023). **13.** Який розмір вікна повинен бути в котельні? : вебсайт. URL: <https://ukravtonomgaz.ua/blog/yakiy-rozmir-vikna-povinen-but-i-v-kotelni> (дата звернення: 27.03.2023).

REFERENCES:

1. Vybukh na Pozniakakh v Kyievi: skilky avarii cherez pobutovyi haz stalosia v Ukraini. Slovo i dilo. Analitychnyi portal : vebsait. URL: <http://surl.li/deyfr> (data zvernennia: 25.03.2023).
2. Pojarovzryivoopasnost veschestv i materialov i sredstva ih tusheniya : spravochnik / pod red. A. N. Baratova. M. : Himiya, 1990. Kniga 1–2. 495 s.
3. DBN V.2.5-20:2018. Hazopostachannia. [Chynnyi vid 2019-07-01]. Kyiv, 2019. 115 s.
4. DSTU 2204-93. Plyty hazovi pobutovi. Zahalni tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 1994-07-01]. Kyiv, 1993. 46 s.
5. NPAOP 0.00-1.76-15. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. [Chynnyi vid 2015-07-07]. Kyiv, 2015. 68 s.
6. DBN V.2.2-15:2019. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia. [Na zaminu: DBN V.2.2-15-2005, DBN V.3.2-2-2009; chynnyi vid 2019-12-01;]. Kyiv, 2019. 42 s.
7. DSTU EN 50194:2009. Syhnalizatory horiuchykh haziv dlia zhytlovykh sporud elektrychni. Tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia. [Chynnyi vid 2011-01-01]. Kyiv, 2009. 19 s.
8. SNyP 2.09.02-85*. Vyrobnychi budivli. [Chynnyi vid 1985-01-01]. Kyiv, 1985. 44 s.
9. DSTU B V.1.1-36:2016. Vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoiu ta pozhezhnoiu nebezpekoiu. [Chynnyi vid 2017-01-01]. Kyiv, 2016. 66 s.
10. DSTU B V.2.7-107:2008. Budivelni materialy. Sklopakety kleieni budivelnoho pryznachennia. [Na zaminu DSTU B V.2.7-107-2001; chynnyi vid 2010-01-01]. Kyiv, 2009. 57 s.
11. Kozlitin A. M. Veroyatnostnyie metody analiza posledstviy fugasnogo vozdeystviya vzryiva na cheloveka, tehnologicheskoe oborudovanie, zdaniya, sooruzeniya pri avariyniyh situatsiyah na predpriyatiyah neftegazovoy otrasli. *Upravlenie promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnostyu proizvodstvennykh obyektov na osnove riska*. Saratov : SGTU, 2005. S. 16–43.
12. Pro zatverdzhennia Kodeksu hazotransportnoi systemy : Postanova Natsionalnoi komisii, shcho zdiisniue derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#top> (data zvernennia: 27.03.2023).
13. Yakiy rozmir vikna povynen buty v kotelni? : vebsait. URL: <https://ukravtonomgaz.ua/blog/yakiy-rozmir-vikna-povinen-but-i-v-kotelni> (data zvernennia: 27.03.2023).

Kuskovets S. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Fylypchuk V. L., Doctor of Engineering, Professor, Shatalov O. S., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF NATURAL GAS EXPLOSIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS AND WAYS OF THEIR PREVENTION

Gas explosions in residential buildings cause the death of people, damage to apartments, destruction of walls, floors and entrances. Accidents occur due to residents' failure to comply with the safety rules for handling gas appliances and ignoring the explosive and fire-hazardous properties of gas. Rooms in which gas appliances are installed must have an exhaust ventilation channel or a window with a window leaf, be equipped with gas leak detectors. The gas distribution company conducts instruction on ensuring explosion safety with residents of residential buildings only when settling gasified new buildings before starting gas. The frequency of explanatory work among users of gas appliances and when changing the owner of an apartment is not specified by regulatory documents. In industrial premises with explosion-hazardous categories, easy-to-reset structures, folding or opening transoms are provided, windows are glazed with glass of a certain thickness and area. Residential buildings do not belong to the category of objects in terms of explosion and fire safety, therefore, the issue of their explosion resistance is not considered by regulatory documents. In housing construction, plastic windows with several chambers are widely used. Special ventilation valves installed on window frames do not always provide the necessary air exchange. The calculated value of the excess pressure of the explosion of the gas-air mixture in the room makes it possible to determine the conditions for the safe stay of people there and the behavior of the main building structures in terms of their stability. To predict the possible pressure during an explosion of natural gas and the destruction of building structures, the pressure values of the shock wave of the explosion were calculated. Calculations have shown that in almost all cases under study, the excess pressure of the explosion does not exceed the limiting pressure of destruction of one glass of a plastic window. This can lead

to the destruction of structural elements of the building and harm to a person. That is, the use of ordinary plastic double-glazed windows represents a significant explosion hazard. It is proposed to install windows with elements that open or fall out during a gas explosion at a pressure of a shock wave that exceeds the permissible values.

***Keywords:* natural gas; explosive concentration; gas leak; explosion; shock wave of the explosion; overpressure of the explosion; explosion protection; fiberglass windows.**
