

УДК 614.84

<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2026-1-168-176>

Н.О. Ференц
Ю.Е. Павлюк
В.І. Федорчук-Мороз

ОЦІНКА ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИМІЩЕНЬ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК З КИСНЕВИМИ АПАРАТАМИ

Мета. Мета роботи полягає у оцінці вибухопожежної небезпеки установок та апаратів з киснем для визначення їх категорії за вибухопожежною небезпекою.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано такі методи, як порівняльний, статистичний, теоретичного узагальнення, абстрактно-логічний, аналізу і синтезу, а також методику розрахунку згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Результати. У результаті дослідження встановлено, що основна небезпека розвитку аварій на кисневих установках зумовлена витіканням рідкого кисню, його контакти з органічними речовинами і утворенням вибухонебезпечних сумішей з киснем в рідкому або газоподібному стані, що в подальшому може стати причиною потужних вибухів. Підвищена концентрація кисню на зовнішніх установках призводить до утворення пожежо- і вибухонебезпечних систем з низькою енергією запалювання.

Підтверджено, що висока концентрація кисню на зовнішніх установках призводить до утворення пожежо- і вибухонебезпечних систем з низькою енергією запалювання. Встановлено, що у випадку руйнування резервуара з киснем радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск на фронті ударної хвилі $\Delta P \geq 100$ кПа, перевищує 80,1 м; радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей ($\Delta P = 70$ кПа) перевищує 118,1 м.

Розрахунково підтверджено, що приміщення, у яких знаходиться кисень, слід відносити до категорії А – вибухопожежонебезпечна, а зовнішні установки з киснем – до категорії Аз.

Наукова новизна. На прикладі газифікаційної установки, яку використовують для випаровування рідкого кисню, розглянуто умови виникнення і розвитку аварій. У результаті дослідження проведено оцінку вибухопожежної небезпеки приміщень та зовнішніх установок з кисневими апаратами.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані при розробці вимог безпеки до кисневого обладнання, що дасть можливість запобігти виникненню та розвитку аварій, зумовлених витіканням рідкого кисню, його контакти з органічними речовинами і утворенням вибухонебезпечних сумішей з киснем.

Ключові слова: вибухопожежонебезпечна, кисень, категорія, руйнування, зовнішня установка.

Вступ.

Область застосування кисню є надзвичайно різноманітною – від медицини до космічних технологій. Найбільшим промисловим споживачем кисню є металургія – його використовують для виплавки сталі, щоб окиснювати домішки та підвищувати температуру горіння. В хімічній промисловості кисень необхідний для отримання кислот, спиртів, пластмас тощо. Рідкий кисень слугує окиснювачем для ракетного палива, забезпечуючи роботу двигунів у безповітряному просторі. Його застосовують при зварюванні та різанні металів, адже суміш кисню з горючими газами створює високотемпературне полум'я. У медицині кисень є надзвичайно необхідний – для підтримки життя пацієнтів у критичних станах, для лікування

захворювань дихальних шляхів, серцево-судинної системи, під час операцій тощо.

В Україні з 1 січня 2017 року чинним є ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [1]. У вказаному документі викладена методика визначення категорій приміщень виробничого і складського призначення, будинків (або частин будинків в межах протипожежних відсіків) та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою залежно від кількості і властивостей речовин та матеріалів, які в них знаходяться, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництва, об'ємно-планувальних рішень, технічних засобів, що запобігають виникненню аварійних ситуацій.

В нормативних документах (стандартах підприємства, нормативних актах з пожежної безпеки) [2, 3] рекомендовано відносити приміщення, де знаходяться апарати та установки з киснем до категорії Д – зниженопожежонебезпечна.

Однак, у промисловості нагромаджено великий практичний досвід щодо випадків загорянь і вибухів кисневих установок, балонів, апаратів при отриманні, зберіганні та використанні кисню. Тому правильна оцінка вибухопожежної небезпеки приміщень з кисневими установками та апаратами є вкрай важливою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналітичний огляд досліджень та публікацій свідчить, що проблема вибухопожежної небезпеки кисневого обладнання залишається гострою. У роботах останніх років значна увага приділяється вибухам кисневих балонів. Автори [4] проводять комплексний аналіз вибуху зварного балона для рідкого кисню з пошкодженим покриттям, що стався під час розвантаження на підприємстві. Вони підкреслюють про заходи безпеки при наповненні зварних ізольованих балонів, заміні перед наповненням та про необхідність регулярних перевірок.

Автори досліджень [5] пов'язують високу небезпеку експлуатації кисневих балонів із фізико-хімічними властивостями самого газу. Вони стверджують, що підвищена концентрація кисню призводить до підвищення порогів займання газів та рідких парів. Тверді речовини, оточені киснем, горять з вищою інтенсивністю, виділяючи більшу кількість тепла. Кисень може поглинатися у структурі текстильних матеріалів, з яких виготовлений робочий одяг. Через можливість нагрівання кисневих балонів важливо знати небезпеки, які він створює.

Розглядаючи приклади аварій, пов'язані з використанням обладнання, в якому транспортується, зберігається або циркулює кисень (рідкий чи газоподібний), можна виокремити вибухи, які спричинені витоками рідкого кисню через нещільності в апаратах з утворенням вибухонебезпечної суміші рідкого кисню і органічної речовини. Один з таких вибухів, що призвів до дуже

важких наслідків, стався 18 січня 2010 року в м. Луганську [6]. В реанімаційному відділенні 7-ї міської лікарні вибухнули кисневі балони. Загинули 16 людей, будівля лікарні зруйнована з п'ятого до третього поверху. 2 серпня 2013 року в університетській клініці (м. Рига) стався вибух 23 балонів з киснем, а в подальшому і пожежа [7].

Проблема пожежної безпеки під час експлуатації медичного кисню набула особливої гостроти в умовах пандемії COVID-19. Пожежа в Косівській центральній районній лікарні (Івано-Франківська область) сталася 28 грудня 2021 року в реанімаційному відділенні через запалену заупокійну свічку, яку принесли після смерті пацієнта від COVID-19 [8]. Через роботу п'яти кисневих концентраторів повітря було перенасичене киснем, що спричинило миттєве займання медичного обладнання та загибель трьох людей.

В роботі [9] зазначено, що катастрофічна пожежа 24 квітня 2021 року в іракській лікарні забрала життя 82 осіб. Пожежі, пов'язані з медичним киснем, стверджують автори [9] не є новим явищем, але частіше трапляються в операційних, де кисень регулярно подається. Негерметичний клапан або шланг, а також отвори на стиках масок і трубок, що знаходяться в замкнутому просторі або там, де циркуляція повітря низька, можуть швидко підвищити концентрацію кисню до небезпечного рівня. Навіть невелике збільшення рівня кисню в повітрі до 24% може створити небезпеку пожежі. У середовищі, збагаченому киснем, матеріали легше займаються, і вогонь горітиме сильніше, ніж у звичайному повітрі. У статті наведено огляд сценаріїв аварій, пов'язаних з киснем, які можуть бути актуальними для відділень інтенсивної терапії лікарень. Розслідування небезпечних подій для виявлення причин та винесених уроків слід використовувати для виявлення можливостей для запобігання, а також реагування на надзвичайні ситуації.

Пожежі в медичних закладах, стверджують автори [10], завжди були однією з основних внутрішніх небезпек, а середовище, багате на кисень, ще більше посилює ці загрози. Технічне обслуговування балонів, клапанів та регуляторів слід

періодично проводити, щоб зменшити ризики аварій. Усі лікарні повинні проводити навчання з оцінки ризиків та забезпечувати навчання з безпеки використання кисню для всього медичного персоналу.

У статті [11] також зазначено про необхідність дотримання заходів безпеки при експлуатації балонів з киснем. Медичний кисень під високим тиском з балона може бурхливо реагувати з вуглеводнями, такими як олія та мастило, які можуть бути помилково використані в клапані або регуляторі балона. Продукти окиснення є потенційно вибухонебезпечним гідропероксидом. Майже всі матеріали, включаючи гуму, текстиль та метали, будуть енергійно горіти у присутності кисню. Навіть невелике збільшення рівня кисню в повітрі приблизно до 24% може створити небезпечну ситуацію. Збільшення концентрації кисню через протікання клапана або шланга в погано провітрюваному приміщенні або в замкнутому просторі може швидко створити небезпечний рівень.

Дослідники [12] стверджують, що пожежі в кисневих системах можуть швидко поширюватися, спричиняючи значні збитки, травми та смертельні випадки. Незважаючи на ризики, в багатьох галузях промисловості використовуються збагачені киснем середовища. Пожежі часто виникають внаслідок займання неметалевих матеріалів, особливо внаслідок запалювання від удару рідини, де швидке стиснення кисню призводить до підвищення температури та тиску. Щоб зменшити цей ризик, міжнародні стандарти розробили методології оцінки придатності матеріалів. Процес займання, особливо в полімерах, є складним. Це дослідження представляє першу модель однорідного займання для прогнозування затримок займання полімерів через удар рідини, покращуючи вибір матеріалів та безпеку в кисневих системах.

Проведений аналітичний огляд вітчизняних та закордонних публікацій підтверджує, що аварійні ситуації під час експлуатації кисневого обладнання не є поодинокими випадками. Їхня повторюваність та подібність причин вказують на системний характер ризиків, пов'язаних з технологічними недоліками та порушенням регламентів безпеки. Таким

чином, проблема забезпечення приміщень з кисневими установками та апаратами з киснем є актуальною і потребує впровадження сучасних технологій захисту.

Мета статті.

Мета роботи полягає у оцінці вибухопожежної безпеки установок та апаратів з киснем для визначення їх категорії за вибухопожежною безпекою.

Методи дослідження.

Для досягнення мети застосовано такі методи, як порівняльний, статистичний, теоретичного узагальнення, абстрактно-логічний, аналізу і синтезу, а також методики розрахунку згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [1].

Виклад основного матеріалу.

Від категорювання виробничих приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною безпекою залежить комплекс пожежно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення людей та збереження матеріальних цінностей. Встановлена категорія визначає нормативні вимоги щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки приміщень, будинків та зовнішніх установок стосовно планування і забудови території промислових підприємств, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування приміщень, протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскридних конструкцій, протипожежного інженерного обладнання, систем протипожежного захисту тощо. Приведений перелік свідчить про важливість правильного визначення категорії, оскільки, помилки в цій області на багато років вперед визначають недостатність або надмірність заходів щодо запобігання пожежам і протипожежного захисту.

Так як кисень є негорючим газом, то приміщення, у яких він знаходиться (зберігається, переробляється, транспортується) відносять до категорії Д (зниженопожежонебезпечна), а зовнішні установки з киснем – до категорії Д_з [2, 3].

Кисень є негорючим газом, однак він – сильний окисник. Горючі гази, легкозаймисті та горючі рідини, зокрема, масла, утворюють

з киснем вибухонебезпечні суміші. Пористі горючі речовини (деревина, вугілля, асфальт тощо), просочені рідким киснем, за наявності джерела запалювання чи при ударі згоряють з вибухом. Дрейф хмари з підвищеним вмістом кисню може призвести до займання споруд, матеріалів, до термічних травм персоналу на великій відстані від початкового місця викиду.

З приведених статистичних даних про аварії з рідким та стисненим киснем [4-12] впливає наступне. При контакті матеріалів з рідким киснем утворюються надзвичайно небезпечні вибухові системи. Якщо органічні продукти просочуються рідким киснем, то утворюються системи, які за своїми характеристиками інколи навіть мають перевагу у порівнянні з вибуховими речовинами.

В атмосфері з вмістом газоподібного кисню більше за 21% зростає пожежна небезпека речовин і матеріалів. Матеріали, які вважалися за нормальних умов малогорючими, сильно горять при надлишку кисню. У таких умовах займання можуть спричинити такі малопотужні джерела займання як іскри удару і тертя. Підвищений вміст кисню в атмосфері і висока температура може зумовити самозаймання органічних матеріалів і при відсутності джерел запалювання.

Швидкість горіння збільшується прямо пропорційно концентрації кисню. Тобто, при тиску кисню 0,1 МПа швидкість горіння буде в 5 раз вища, ніж при нормальному тиску кисню (21 кПа). Ще більше прискорюється процес горіння, якщо тиск кисню більше від атмосферного, а також при підвищеній температурі.

У разі надлишку кисню ускладнюється гасіння. Ефективним засобом гасіння одягу на людині в такому випадку може бути розпилення води по всій поверхні тіла, причому гасіння треба почати якомога швидше. Затримка більше 20 с може призвести до летального випадку. Деякі речовини, які використовують для гасіння пожежі, при надлишку кисню в процесі гасіння можуть утворювати токсичні речовини, які будуть знаходитись в парогазовій фазі.

У основу чинної методики категорювання приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою прийнято ряд принципів [1, 13], зокрема, можливість певної (нормативної) потужності вибуху і (або) пожежі; при встановленні категорій приміщень, будинків і зовнішніх установок приймається найбільш несприятливий варіант аварії або період нормального функціонування технологічної системи і її елементів.

Однак, при встановленні категорії у роботах [2, 3] розглядається лише безаварійний режим роботи.

Умови виникнення і розвитку аварій розглянемо на прикладі газифікаційної установки, яку використовують для випаровування рідкого кисню. Принципова технологічна схема газифікації кисню представлена на рисунку 1.

Газифікаційна установка (рис.1) укомплектована резервуаром для зберігання рідкого кисню (1), насосом (3) і випарником (2). Перед наповненням балонів нагрівають воду у випарнику до 85 °С. Потім відкривають вентиль, з допомогою якого подається рідкий кисень до випарника. Після чого наповнюють балони киснем. Балони встановлюються на рампу (4). Кожен балон під'єднується накидною гайкою з прокладкою до рампи, потім відкривають вентиль балона. Відкривають вентилі рампи, закривають вентилі скиду газу і відкривають вентиль подачі кисню на рампу. Після цього вмикають насос (3) і починають процес наповнення балонів киснем. Під час наповнення балонів киснем необхідно звернути увагу на з'єднання, де можуть бути витоки кисню. При досягненні тиску 150 кгс/см² відключають насос (3) і випарник (2). Після цього закривають вентиль подачі кисню на рампу і вентилі на балонах. Відкривають вентиль скиду газу в атмосферу. Від'єднують повні балони від рампи (4) і розміщують їх у клітки для повних балонів. Після закінчення наповнення балонів потрібно перевірити вміст кисню в приміщенні, що не повинен виходити за граничні норми 19-23%.

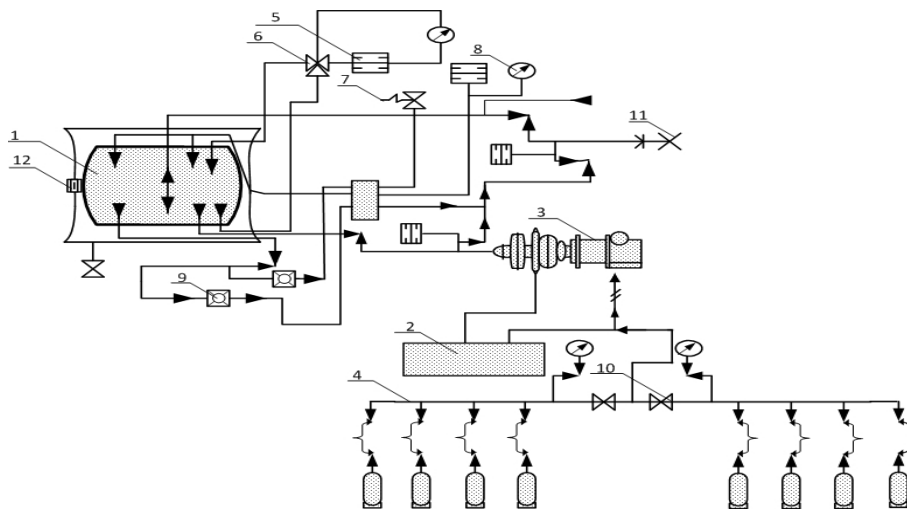


Рисунок 1. Принципова технологічна схема газифікації кисню: 1 – резервуар для зберігання кисню; 2 – випарник; 3 – насос; 4 – наливна рампа; 5 – вентиль газовиток; 6 – триходовий вентиль; 7 – балон компенсатор; 8 – манометр; 9 – холодний випарник; 10 – вентиль; 11 – з’єднувальна гайка; 12 – розривна мембрана

Резервуар для зберігання рідкого кисню (1) побудований за принципом «посудини Дьюара». У разі порушення герметичності міжстінного простору (зникнення вакууму) резервуара підвищується швидкість передачі тепла ззовні. Це може призвести до підвищення тиску в резервуарі (більше 2,5 кгс/см) і як наслідок, руйнування з виливом рідкого кисню. Можливе також порушення герметичності трубопроводу подачі кисню до рампи, з якої відбувається наповнення балонів киснем.

На основі аналізу пожежної небезпеки технологічної схеми установки газифікації кисню можна передбачити такі види аварій:

- розгерметизація системи через неправильно встановлені прокладки, неповне затягування болтів, неякісні зварні шви чи корозію на трубопроводах обв’язки;
- збільшення до небезпечних значень тиску, температури і навантажень на насос;
- втрата міцності конструкційних матеріалів;
- вибухи всередині компресора вибухонебезпечної суміші пари масла з киснем;
- загоряння масляної плівки в трубопроводах рідкого кисню;
- збільшення тиску до небезпечних значень через відмову запобіжних клапанів;

- вибух кисневого балона;
- загоряння кисневого балона.

Вказані аварії можуть розвиватися у вигляді: розливу (викиду) рідкого кисню при розгерметизації резервуара, що супроводжується випаровуванням рідкого кисню, формуванням хмари з підвищеною концентрацією кисню (більше 21%), її дрейфом за напрямом вітру; детонаційних вибухів вуглеводнів з газоподібним киснем; детонаційних вибухів конденсованих сумішей рідкого кисню з органічними продуктами (трава, деревина, асфальт тощо), які потрапляють в зону розливу рідкого кисню.

Для утворення вибухонебезпечної суміші достатньо невеликої кількості вуглеводню. Кисень вибухає навіть при наявності «слідів» мастила [14] Таким чином, найбільша небезпека – викид кисню з резервуара при порушенні його герметичності, утворення вибухонебезпечної суміші кисню з вуглеводнем і її вибух.

У роботі проведено розрахунок (табл. 1) показників вибухонебезпеки у випадку таких аварій: розрив резервуара з викидом усієї кількості рідкого кисню; розгерметизація трубопроводу подачі кисню до кисневої рампи і вихід газу з трубопроводу протягом 5 хвилин. Виходячи

з того, що суміші кисню з органічними речовинами характеризуються великою енергією вибуху, то для розрахунків беремо теплоту згорання метану та такі інші початкові дані [14]:

питома теплота згорання (за метаном) – 50125 кДж/кг (802 кДж/моль);

питома енергія вибуху тротилу – 4520 кДж/кг;
доля приведеної маси газу, що бере участь у вибуху $z=1$;
атмосферний тиск – 101 кПа;
маса кисню, що бере участь в аварії – 2 т.

Таблиця 1 – Кількісна оцінка показників вибухонебезпеки у випадку руйнування резервуара з киснем

№	Найменування параметра, позначення	Одиниця вимірювання	Показники при аварії (вибуху)
1.	Енергетичний потенціал вибухонебезпеки, E	кДж	$1,002 \cdot 10^8$
2.	Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки, Q_v	кДж	28,096
3.	Загальна наведена маса вибухонебезпечної суміші, m	кг	$2,179 \cdot 10^3$
4.	Тротиловий еквівалент вибуху, W_t	кг	$9,857 \cdot 10^3$
5.	R_1	м	80,1
6.	R_2	м	118,1
7.	R_3	м	202,5
8.	R_4	м	590,5
9.	R_5	м	1181

де: R_1 – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск на фронті ударної хвилі ($\Delta P \geq 100$ кПа); R_2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей ($\Delta P=70$ кПа); R_3 – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібне їх часткове розбирання, і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості ($\Delta P=28$ кПа); R_4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних отворів, легкоскидних покриттів) і важкого травмування людей на відкритій місцевості ($\Delta P=14$ кПа); R_5 – радіус зони часткового руйнування скла, нижній поріг ураження людей на відкритій місцевості ($\Delta P \leq 2$ кПа).

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016, табл. 6 [1], установка відноситься до категорії А₃, якщо в ній знаходяться (обертаються) речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою один з одним. При цьому розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається під час вибуху речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії

один з одним, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки. За результатами розрахунків (табл.1) надлишковий тиск вибуху $\Delta P \geq 100$ кПа на відстані 80,1 м. Тобто, установку для газифікації кисню слід віднести до категорії А₃.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016, табл.1 [1] до категорії А належать приміщення, у яких

знаходяться речовини і матеріали, які здатні вибухати і горіти при взаємодії один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа. Розрахунок надлишкового

тиску вибуху для речовин і матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з один з одним згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [1] п.7.4.1., визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_H},$$

де: m – маса речовин, які беруть участь у вибуху, кг, H_T – енергія, яка виділяється під час взаємодії вищезазначених речовин (з урахуванням того, що процес їх взаємодії проходить до кінця, тобто до утворення кінцевих продуктів), або визначають експериментально під час натурних випробувань, Дж·кг⁻¹; P_o – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа); Z – коефіцієнт участі у вибуху, приймають, що $Z=1$; $V_{\text{вільн}}$ – вільний об'єм приміщення, м³; $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря до вибуху за початкової температури T_o , кг·м⁻³; C_p – теплоємність повітря, Дж·кг⁻¹·К⁻¹ (допускається приймати рівною 1,01·10³ Дж·кг⁻¹·К⁻¹); T_o – початкова температура повітря, К.

Обговорення результатів.

За результатами розрахунків у приміщеннях, де знаходиться кисень, надлишковий тиск вибуху $\Delta P > 5$ кПа. Тобто, такі приміщення слід відносити до категорії А.

Технологія робіт з рідким киснем повинна виключати можливість неконтрольованого нагромадження в ньому органічних та інших горючих речовин. Зливання рідкого кисню слід проводити в спеціально відведених місцях, що мають покриття, які не містять органічних матеріалів. В місцях, де можливе розтікання рідкого кисню, також не повинні знаходитися органічні матеріали. Об'ємна частка кисню в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 23%. При розливанні рідкого кисню можливе виникнення зон з підвищеною концентрацією, що створює небезпеку виникнення пожежі. Такі зони слід позначати спеціальним попереджувальним знаком, у них необхідно обмежити пересування людей і вилучити з них легкозаймисті матеріали. Якщо такі зони знаходяться в закритих приміщеннях, то їх слід обладнати засобами контролю повітряного середовища і вентиляцією. Цистерни, які наповнені киснем, при перевезенні слід закріплювати таким чином, щоб вони не переміщалися і не піддавалися ударам, кріогенні посудини слід транспортувати у відкритому положенні.

Таким чином, дотримання вимог безпеки до кисневого обладнання дає

можливість запобігти виникненню та розвитку аварій, зумовлених витіканням рідкого кисню, його контакти з органічними речовинами і утворенням вибухонебезпечних сумішей з киснем.

Висновки.

Таким чином, основна небезпека розвитку аварій на кисневих установках зумовлена витіканням рідкого кисню, його контакти з органічними речовинами і утворенням вибухонебезпечних сумішей з киснем в рідкому або газоподібному стані, що в подальшому може стати причиною потужних вибухів. Підвищена концентрація кисню на зовнішніх установках призводить до утворення пожежо- і вибухонебезпечних систем з низькою енергією запалювання.

Встановлено, що у випадку руйнування резервуара з киснем радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск на фронті ударної хвилі $\Delta P \geq 100$ кПа, перевищує 80,1 м; радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей ($\Delta P=70$ кПа) – 118,1 м. Це може стати причиною великих аварій з важкими наслідками – людськими жертвами, сильними пожежами і вибухами.

Розрахунково підтверджено, що приміщення, у яких знаходиться кисень, слід відносити до категорії А – вибухопожежонебезпечна, а зовнішні установки з киснем – до категорії Аз.

Список літератури

1. 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. 31 с. (Інформація та документація).
2. ВБН-АПК 03.07. Перелік будівель і приміщень підприємств агропромислового комплексу України з встановлення їх категорій з вибухопожежної небезпеки та класів вибухопожежонебезпечних зон згідно ПБЕ. [Чинний від 2008-03-11]. Київ, 2008. 35 с.
3. НАПБ 06.015-2006 Перелік приміщень і будівель енергетичних підприємств Мінпалівенерго України з визначенням категорії і класифікації зон. [Чинний від 2007-01-17]. Київ, 2006. 21 с. (Інформація та документація).
4. Li, W. W., Du, Q., Yao, J., & Ye, Q. (2017). In-Depth Analysis and Reflection on Explosion of Welded Insulated Cylinder for Liquid Oxygen. *Applied Mechanics and Materials*, 863, 273-278.
5. Kukfisz, B. O. Ž. E. N. A., Ptak, S. Z. Y. M. O. N., Pólka, M. A. R. Z. E. N. A., & Woliński, M. A. R. E. K. (2018). Fire and explosion hazards caused by oxygen cylinders. *WIT Transactions on The Built Environment*, 174, 141-51.
6. Названо причини вибуху в лікарні в Луганську: веб-сайт. URL: <https://zaxid.net/nazvano-prichini-vibuhu-v-likarni-v-lugansku-n1097884> (дата звернення: 11.03.2026).
7. У лікарні Паула Страдиня вибухнули 23 балони з киснем: веб-сайт. URL: <https://www.grani.lv/latvia/36826-v-bolnice-paula-stradynya-vzorvalis-23-ballona-s-kislorodom.html> (дата звернення: 11.03.2026).
8. ДСНС: Пожежу у Косівській лікарні спричинила «заупокійна свічка»: веб-сайт. URL: <https://www.pravda.com.ua/news/2021/12/29/7318911/> (дата звернення: 11.03.2026).
9. Wood, M. H., Hailwood, M., & Koutelos, K. (2021). Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients. *Process safety and environmental protection*, 153, 278-288.
10. Шарма, Р., Сангат, С.К., Кумар, А. та Кушал, В. (2022). Пожежа під час роботи з кисневим балоном: профілактичні заходи та рекомендації. *Національний журнал громадської медицини*, 13 (10), 755-757.
11. Al-Dahhan, W. H., Kadhom, M., Abdallh, M. S., Yousif, E. A., & Mohammed, S. A. (2022). Medical Oxygen Safe Handling During Coronavirus Pandemic: Short Review. *Al-Nahrain Journal of Science*, 25(2), 45-50.
12. Ryan, H. (2025). *Ignition of Nonmetallic Materials by Rapid Compression of Oxygen* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
13. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Про необхідність внесення змін у методику категорювання зовнішніх технологічних установок за вибухопожежною небезпекою. *Пожежна безпека*. №18, 2011. С.128–133.
14. Ференц, Н. О., Богачов, Д., & Баррій, С. (2024). *Категорювання за вибухопожежною небезпекою приміщень з кисневими апаратами та установками* (Doctoral dissertation, НУЦЗУ).

References

1. DSTU B V.1.1-36:2016. (2016). *Vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoiu ta pozhezhnoiu nebezpekoiu*. Kyiv (In Ukrainian).
2. VBN-APK 03.07. (2008). *Perelik budivel i prymishchen pidpriemstv ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy z vstanovlenniam yikh katehorii z vybukhopozhezhnoi nebezpeky ta klasiv zon zghidno PBE*. Kyiv (In Ukrainian).
3. NAPB 06.015-2006. (2006). *Perelik prymishchen i budivel enerhetychnykh pidpriemstv Minpalyvenerho Ukrainy z vyznachenniam katehorii i klasyfikatsii zon*. Kyiv (In Ukrainian).
4. Li, W. W., Du, Q., Yao, J., & Ye, Q. (2017). In-depth analysis and reflection on explosion of welded insulated cylinder for liquid oxygen. *Applied Mechanics and Materials*, 863, 273–278.
5. Kukfisz, B. O., Ptak, S., Pólka, M., & Woliński, M. (2018). Fire and explosion hazards caused by oxygen cylinders. *WIT Transactions on The Built Environment*, 174, 141–151.
6. Nazvano prychyny vybukhu v likarni v Luhansku. (n.d.). Retrieved March 11, 2026, from <https://zaxid.net/nazvano-prichini-vibuhu-v-likarni-v-lugansku-n1097884> (In Ukrainian).
7. U likarni Paula Stradynia vybukhnuly 23 balony z kysnem. (n.d.). Retrieved March 11, 2026, from <https://www.grani.lv/latvia/36826-v-bolnice-paula-stradynya-vzorvalis-23-ballona-s-kislorodom.html> (In Ukrainian).
8. DSNS: Pozhezhu u Kosivskii likarni sprychynyla «zaupokijna svichka». (2021). Retrieved March 11, 2026, from <https://www.pravda.com.ua/news/2021/12/29/7318911/> (In Ukrainian).
9. Wood, M. H., Hailwood, M., & Koutelos, K. (2021). Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating COVID-19 patients. *Process Safety and Environmental Protection*, 153, 278–288.
10. Sharma, R., Sangat, S. K., Kumar, A., & Kushal, V. (2022). Fire during oxygen cylinder handling: preventive measures and recommendations. *National Journal of Community Medicine*, 13(10), 755-757 (In Ukrainian).
11. Al-Dahhan, W. H., Kadhom, M., Abdallh, M. S., Yousif, E. A., & Mohammed, S. A. (2022). Medical oxygen safe handling during coronavirus pandemic: Short review. *Al-Nahrain Journal of Science*, 25(2), 45–50.
12. Ryan, H. (2025). *Ignition of nonmetallic materials by rapid compression of oxygen* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
13. Pavliuk, Yu. E., & Ferents, N. O. (2011). Pro neobkhidnist vnesennia zmin u metodyku katehoruvannia zovnishnikh tekhnolohichnykh

ustanovok za vybukhopozhezhnoiu nebezpekoiu.
Pozhezhna bezpeka, 18, 128–133 (In Ukrainian).
14. Ferents, N. O., Bohachov, D., & Bahrii, S. (2024).
Katehoruvannia za vybukhopozhezhnoiu nebezpekoiu

prymishchen z kysnevymy aparatamy ta ustanovkamy
(dysertatsiia). NUTsZU (In Ukrainian).

Павлюк Юрій Емільович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (м. Львів)

E-mail: pavlyuk.yuriy60@gmail.com

Ференц Надія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри превентивної діяльності у сфері пожежної та техногенної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (м. Львів)

E-mail: ferentsn@ukr.net

Федорчук-Мороз Валентина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет

E-mail: fedorchukmorozvalentyana@lutsk-ntu.com.ua

EXPLOSION AND FIRE HAZARD ASSESSMENT OF PREMISES AND OUTDOOR INSTALLATIONS WITH OXYGEN DEVICES

Objective. *The objective of this study is to assess the explosion and fire hazard of oxygen-using installations and equipment in order to determine their explosion and fire hazard category.*

Research methods. *The study employed methods such as comparative, statistical, theoretical generalization, abstract-logical, analysis, and synthesis, as well as calculation methods in accordance with DSTU B V.1.1-36:2016.*

Results. *The study found that the primary risk of accidents at oxygen facilities is caused by liquid oxygen leaks, its contact with organic substances, and the formation of explosive mixtures with oxygen in liquid or gaseous form, which can subsequently lead to powerful explosions. Elevated oxygen concentrations at outdoor facilities lead to the formation of fire- and explosion-hazardous systems with low ignition energy.*

It has been confirmed that high oxygen concentrations at outdoor facilities lead to the formation of fire- and explosion-hazardous systems with low ignition energy. It has been established that in the event of an oxygen tank rupture, the radius of the zone of complete destruction of buildings and mortal danger to people, at the boundary of which the excess pressure at the shock wave front P is 100 kPa, exceeds 80.1 m; the radius of the zone of severe damage to building structures, collapse of brick walls, and mortal danger to people ($P = 70$ kPa) exceeds 118.1 m.

Calculations confirm that rooms containing oxygen should be classified as Category A – explosion and fire hazard – and outdoor oxygen installations as Category A₃.

Scientific novelty. *Using the example of a gasification unit used for the vaporization of liquid oxygen, the conditions for the occurrence and development of accidents are examined. As a result of the study, an assessment of the explosion and fire hazard of premises and outdoor installations with oxygen equipment was conducted.*

Practical significance. *The results of the study can be used in the development of safety requirements for oxygen equipment, which will make it possible to prevent the occurrence and development of accidents caused by the leakage of liquid oxygen, its contact with organic substances, and the formation of explosive mixtures with oxygen.*

Keywords: *explosion and fire hazard, oxygen, category, destruction, outdoor installation.*

Відомості про авторів:

Yuriy Pavlyuk, PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Operation of Vehicles and Fire and Rescue Equipment, Lviv State University of Life Safety (Lviv)

E-mail: pavlyuk.yuriy60@gmail.com

Ferents Nadiya, PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Preventive Activities in the Field of Fire and Technogenic Safety, Lviv State University of Life Safety (Lviv),

E-mail: ferentsn@ukr.net

Fedorchuk-Moroz Valentyna, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Civil Security, Lutsk National Technical University,

E-mail: fedorchukmorozvalentyana@lutsk-ntu.com.ua