

## УДК 614.84

*О. М. Роянов<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0001-7631-1030)*

*А. М. Катунін<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., доц. каф. (ORCID 0000-0003-2171-4558)*

*Р. С. Мележик<sup>1</sup>, н.с. відділу (ORCID 0000-0001-6425-4147)*

*О. І. Богатов<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, зав. каф. (ORCID 0000-0001-7342-7556)*

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ НА РОЗРАХУНКОВИЙ НАДЛИШКОВИЙ ТИСК ВИБУХУ

Здійснено оцінку впливу вологості повітря на розрахунковий надлишковий тиск вибуху під час визначення категорії приміщень виробництв за вибухопожежонебезпекою, в яких присутні, обертаються та зберігаються легкозаймисті рідини. В дослідженні наведено дані, які свідчать про кількісні показники наявності води у вигляді парів та їх залежність від температури навколишнього середовища та вологості. На конкретному прикладі з легкозаймистою рідиною було проведено розрахунок надлишкового тиску вибуху та висунуто гіпотезу, що наявність вологості в приміщенні, де присутні легкозаймисті та горючі рідини, може впливати на результат визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху, який, в свою чергу, може привести до хибного визначення категорії приміщення за вибухопожежонебезпекою. Для підтвердження висунутої гіпотези спочатку розрахунки було проведено без урахування вологості повітря, а потім було проведено оцінку з урахуванням вологості повітря в приміщенні. Початкові значення вологості повітря було обрано відповідно до вимог щодо забезпечення параметрів середовища в виробничих приміщеннях. З урахуванням цього були проведені розрахунки сумішей парів легкозаймистої рідини та парів води. Проведення дослідження було засноване тільки на використанні теоретичних методів, без використання експериментального дослідження. В результаті досліджень отримані результати, які підтвердили гіпотезу стосовно впливу вологості на значення розрахункового надлишкового тиску вибуху. Похибка визначення розрахункового надлишкового тиску має місце і потребує додаткових досліджень. Отримані в результаті дослідження оцінки є важливими оскільки показано вплив вологості в виробничому приміщенні на розрахункове значення надлишкового тиску вибуху, за яким робиться висновок щодо належності приміщення з легкозаймистою або горючою рідиною до певної категорії за вибухопожежонебезпекою.

**Ключові слова:** вибухопожежонебезпека, надлишковий тиск вибуху, легкозаймисті рідини, категорія приміщення за пожежовибухонебезпекою

### 1. Вступ

В нашій країні прийнята система категорювання виробничих приміщень і будівель за вибухопожежною і пожежною небезпекою, яка встановлює комплекс протипожежних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей і збереження матеріальних цінностей [1]. Визначення категорії відносно вибухопожежонебезпеки виробництва дає змогу сформулювати протипожежні вимоги щодо планування і забудови території промислових підприємств незалежно від форм власності, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості використаних будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування і протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскидаємих конструкцій і т.п.

Наведені заходи свідчать про важливість достовірного визначення категорії приміщення за вибухопожежонебезпекою, бо припущені під час категорювання помилки в цій області на багато років визначають або недостатність, або надмірність вжитих заходів щодо попередження виникнення вибухопожежонебезпечних ситуацій на виробництві та вжитих заходів техногенної та пожежної безпеки.

Тому недостатня достовірність категорювання виробничих приміщень і будівель за вибухопожежною і пожежною небезпекою є актуальною проблемою.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Техногенні небезпеки, які проявляються при аваріях чи катастрофах на потенційно-небезпечних об'єктах (ПНО) і об'єктах підвищеної небезпеки (ОПН), є найбільш небезпечними і містять у собі загрозу для життя і діяльності людини, природного середовища або здатні її створити внаслідок імовірного вибуху, пожежі, затоплення, забруднення навколишнього середовища.

В Україні забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки від негативних наслідків надзвичайної ситуації (НС) різного походження розглядається як невід'ємна частина державної політики у сфері національної безпеки і державного будівництва, як одна з найбільш важливих функцій діяльності центральних органів державної виконавчої влади.

Тому центральні органи виконавчої влади, що реалізують державну політику у сферах цивільного захисту, пожежної і техногенної безпеки, здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, забезпечують оброблення одержаної відповідно до закону інформації про діяльність ОПН та надають її місцевим органам виконавчої влади, органам місцевого самоврядування, суб'єктам господарської діяльності та іншим заінтересованим особам, а також у встановленому порядку інформують населення про аварійні ситуації, що виникають на об'єктах підвищеної небезпеки. Шкода (в тому числі моральна), заподіяна фізичним чи юридичним особам внаслідок аварії, що сталася на ОПН, незалежно від вини суб'єкта господарської діяльності, у власності або у користуванні якого перебуває об'єкт підвищеної небезпеки, відшкодовується суб'єктом господарської діяльності цим особам у повному обсязі, крім випадків, коли аварія виникла внаслідок непереборної сили або з умислу потерпілого.

Питаннями техногенної та пожежної безпеки, захистом населення і територій в умовах НС будь-якого характеру, екологічної безпеки, захистом життя та здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, атмосферного повітря, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, санітарного та епідемічного благополуччя населення, радіаційної, пожежної безпеки, охорони праці займаються також і відомі світові організації: в Європейському Союзі – Об'єднаний союз пожежного захисту Європи (The Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-Europe)) [2], в Сполучених Штатах Америки – Національна протипожежна асоціація (National Fire Protection Association (NFPA)) [3], у Великій Британії – Британський інститут стандартів (British Standards Institution (BSI)) [4], NFPA 68. (2002). Guide for Venting of Deflagrations [5], Policy on Fire Protection Rules [6].

З метою зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій державними органами нагляду проводиться комплекс заходів щодо запобігання їх виникнення. Одним з таких заходів є визначення категорії приміщень будівель і споруд за вибухопожежонебезпекою. Основним критерієм під час визначення категорії приміщень за вибухопожежонебезпекою є розрахунковий надлишковий тиск вибуху. В існуючих методиках та нормативних документах організацій [1–6] наведено детерміновані та табульовані значення, які дозволяють визначити небезпеку приміщень. Але ці нормативні документи не досить повно враховують чинники і складові, які можуть вплинути на результати обчислень для отримання результату, максимально наближеного до реальних умов. Тобто розглядаються лише питання визначення категорії приміщень за вибухопожежонебезпекою, але в жодному пунк-

ті діючих нормативних документів не враховується вологість приміщення, або визначаються тільки вибухопожежонебезпечні зони.

В роботі [7] наведені результати досліджень чутливості газових середовищ до запалювання в залежності від вологості повітря. Показано з використанням експериментальних даних, що вологість повітря є значним чинником чутливості до запалювання газових середовищ. Підхід щодо визначення впливу вологості на вибухопожежонебезпеку, пов'язаний із визначенням імовірності виникнення спалаху. При визначенні імовірності враховується зміна різниці концентрацій горючого газу в залежності від відносної вологості. При цьому показано, що наявність вологи у повітрі знижує значення щільності газової суміші, знижується теплоємність суміші. Чутливість до займання дещо збільшується зі збільшенням вологості повітря через зміну калориметричних властивостей суміші. В роботі [8] також проводяться дослідження щодо визначення впливу вологості повітря на вибуховість газових сумішей. Аналіз також проводиться в аспекті зміни вірогідності під впливом зміни вологості повітря в газо-повітряній суміші. При цьому показано, що збільшення показника вологості в повітрі призводить до зменшення вірогідності займання.

В роботі [9] було вивчено і показано вплив вологості на вибухи пилу металевих і органічних матеріалів. Вплив вологості на вибухонебезпеку вивчали двома способами: перший – з постійною відотною вологістю, другий – з підвищеною. Крім того, показано, що прояв впливу вологості на вибухонебезпеку пилу залежить від хімічної природи часток. Залежно від їх хімічної природи, відносна вологість може перешкоджати або сприяти вибухонебезпеці пилу.

Отже, аналіз робіт [7–9] показав, що вплив вологості на вибухопожежонебезпеку має місце, але методики його оцінки мають вірогідний характер [7, 8], або мають певний напрямок досліджень стосовно речовин – пил [7–9], інші вибухопожежонебезпечні властивості речовин не розглядаються.

За результатами огляду існуючих методик [1–6] та наукових публікацій [7–9] можна зробити висновок, що питання врахування вологості повітря в приміщеннях виробництв під час визначення ступеня їх вибухопожежонебезпеки досліджені недостатньо.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є питання оцінки впливу вологості повітря на вибухопожежонебезпеку приміщень з легкозаймистими та горючими рідинами під час розрахунку надлишкового тиску вибуху, який визначається під час проведення категорювання виробничих приміщень за вибухопожежонебезпекою.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою роботи є розробка методики визначення категорій приміщень за вибухопожежонебезпекою з урахуванням вологості повітря.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні завдання:

- провести формалізований аналіз розрахункового тиску вибуху за національним стандартом;
- дослідити вплив вологості на розрахунковий тиск вибуху та розробити методику її урахування.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Об'єктом дослідження в роботі обрано вибухопожежонебезпеку виробничих

приміщень, в яких присутні, обертаються та зберігаються легкозаймисті рідини. Основною гіпотезою дослідження є оцінка впливу вологості повітря у приміщенні на розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який визначається під час розрахунку категорювання приміщення за вибухопожежонебезпекою. Під час проведення дослідження були використані теоретичні методи без експериментальних досліджень.

### 5. Проведення формалізованого аналізу розрахункового тиску вибуху за національним стандартом

Проведемо формалізовані розрахунки згідно методики [1], коли спочатку необхідно визначити фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні. Такою речовиною обра-но ацетон ( $C_3H_6O$ ). Молекулярна маса ацетону складає 58,08 кг/кмоль, густина – 790,8 кг/м<sup>3</sup> (при 20 °С). Ацетон – легкозаймиста рідина з характерним запахом, температура спалаху – 18 °С, константи рівняння Антуана:  $A=6,37551$ ;  $B=1281,721$ ;  $C_a=237,088$  [10, 11]. У всіх відношеннях ацетон змішується з водою, діетиловим ефіром, бензолом, метанолом, етанолом, багатьма складними ефірами.

Для проведення подальшого аналізу розглянемо на конкретному прикладі розрахунок варіанту аварії. В якості розрахункового варіанта аварії приймається розгерметизація однієї ємності та розлив ацетону по підлозі приміщення, при цьому враховуємо, що 1 л ацетону розливається на 1 м<sup>2</sup> підлоги приміщення. За розрахункову температуру в приміщенні приймається абсолютна температура повітря у даному районі згідно вимог будівельних норм, що дорівнює 32 °С. В приміщенні знаходиться ємність з ацетоном об'ємом 0,08 м<sup>3</sup>. Розміри приміщення 12×6×6 м. Об'єм приміщення 432 м<sup>3</sup>. Вільний об'єм приміщення 345,6 м<sup>3</sup>, тобто коефіцієнт  $K_v$  дорівнює 0,8. Площа приміщення складає 72 м<sup>2</sup>.

Визначимо значення густини парів ацетону при розрахунковій температурі за формулою:

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{58,08}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 32)} = 2,3190 \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

де  $M$  – молекулярна маса ацетону, кг/кмоль.

Визначимо тиск насичених парів ацетону ( $P_H$ ) за умов розрахункової температури за формулою:

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{\frac{A-B}{C_a+t_p}} = 0,133 \cdot 10^{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088+32}} = 5,44 \text{ кПа}, \quad (2)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C_a$  – константи Антуана (довідникові дані [10, 11]).

Після цього інтенсивність випаровування ацетону ( $W$ ) знаходимо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot (M)^{0,5} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 58,08^{0,5} \cdot 5,44 = 4,14 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^2 \text{ с}, \quad (3)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають за табл. 1 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється аварійною вентиляцією, та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування (у разі відсутності аварійної вентиляції  $\eta$  дорівнює 1).

Табл. 1. Значення коефіцієнту  $\eta$  в залежності від швидкості повітряного потоку та температури повітря в приміщенні

Швидкість повітряного потоку в приміщенні $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	Значення коефіцієнту $\eta$ при температурі повітря в приміщенні $t, ^\circ\text{C}$				
	10	15	20	30	35
0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Знайдемо площу випаровування ацетону, виходячи з того, що стався розлив ємності з ацетоном:

$$F_B = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2. \quad (4)$$

Так як площа виробничого приміщення становить  $72 \text{ м}^2$ , що менше розрахованої площі розливу ацетону, приймаємо площу розливу рівною площі підлоги виробничого приміщення.

Далі необхідно визначити масу парів ацетону, що надійдуть до виробничого приміщення при повному випаровуванні всієї місткості ємності:

$$m_{\text{п}} = V_a \cdot \rho_p = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг}. \quad (5)$$

Визначимо масу парів ацетону, які надійдуть до навколишнього простору виробничого приміщення при випаровуванні з поверхні розливу, за формулою:

$$m = W \cdot F_B \cdot \tau = 4,14 \cdot 10^{-5} \cdot 72 \cdot 3600 = 10,73 \text{ кг}, \quad (6)$$

де  $\tau$  – тривалість випаровування, с. За методикою [1] приймаємо не більше 3600 с.

Таким чином, за розрахунками при аварійній ситуації випаровується 10,73 кг.

Визначимо стехіометричну концентрацію парів ацетону за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91\% \text{ об.}, \quad (7)$$

$$\text{де } \beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4. \quad (8)$$

Визначимо надлишковий тиск вибуху випарованого ацетону в виробничому приміщенні за формулою:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{Г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}} = (893 - 101) \cdot \frac{10,73 \cdot 0,3}{345,6 \cdot 2,3190} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 21,61 \text{ кПа}. \quad (9)$$

Таким чином, виробниче приміщення, в якому знаходиться ацетон відноситься до категорії «А» за вибухопожежною небезпекою, так як в приміщенні

обертається легкозаймиста рідина з температурою спалаху менше 28 °С і розрахунковий надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа.

Слід зауважити, що під час визначення категорії приміщення за вибухопожежонебезпекою згідно [1] такий параметр як вологість повітря в приміщенні в розрахунках відсутній.

## 6. Розробка методики урахування впливу вологості на розрахунковий тиск вибуху

З огляду на те, що у виробничих приміщеннях присутнє повітря, воно завжди має певний відсоток вологи.

Під час розрахунку надлишкового тиску можливого вибуху в приміщенні не враховується вологість повітря. А слід зазначити, що цей параметр навколишнього середовища може значно впливати шляхом використання застарілих систем вентиляції та аспірації. На вологість повітря, в свою чергу, впливає температура в приміщенні або зовні. При температурах близьких до 0 °С таких вплив носить доволі незначний характер (рис. 1). Під час значень температури 20 °С такий вплив вже стає більш чутним (рис. 2).

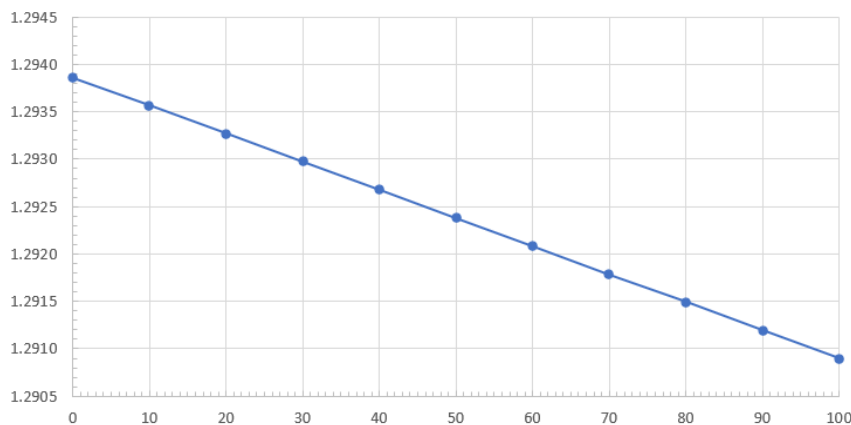


Рис. 1. Щільність повітря при 0 °С при зміні вологості від 0 % до 100 %

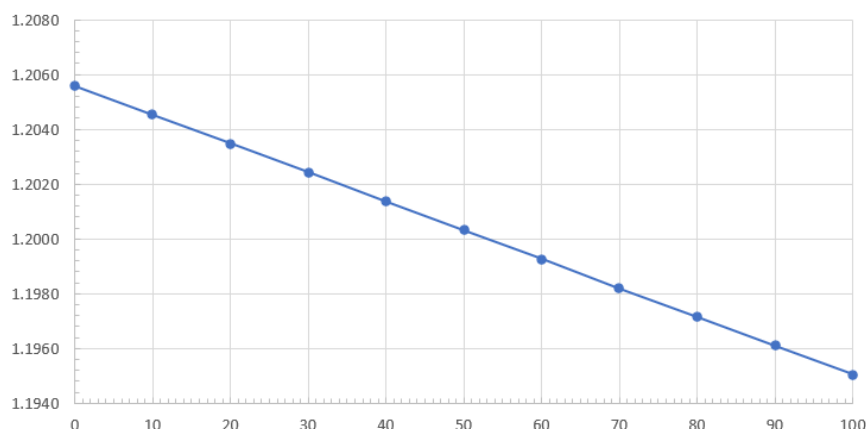


Рис. 2. Щільність повітря при 20 °С при зміні вологості від 0 % до 100 %

Значення щільності повітря при різній вологості описується формулою:

$$\rho = \frac{p_{\text{сух}} \cdot M_{\text{сух}}}{(R + T)} + \frac{p_{\text{вп}} \cdot M_{\text{вп}}}{(R + T)}, \quad (10)$$

де  $p_{\text{сух}}$  та  $p_{\text{вп}}$  – парціальні тиски сухого повітря та водяної пари (їх сума дорівнює тиску вологого повітря), кПа;  $M_{\text{сух}}$  та  $M_{\text{вп}}$  – молярні маси сухого повітря (29,98 г/моль) та водяної пари (18 г/моль);  $R$  – газова стала, 8,314 Дж/(моль·К);  $T$  – температура повітря в Кельвінах (К).

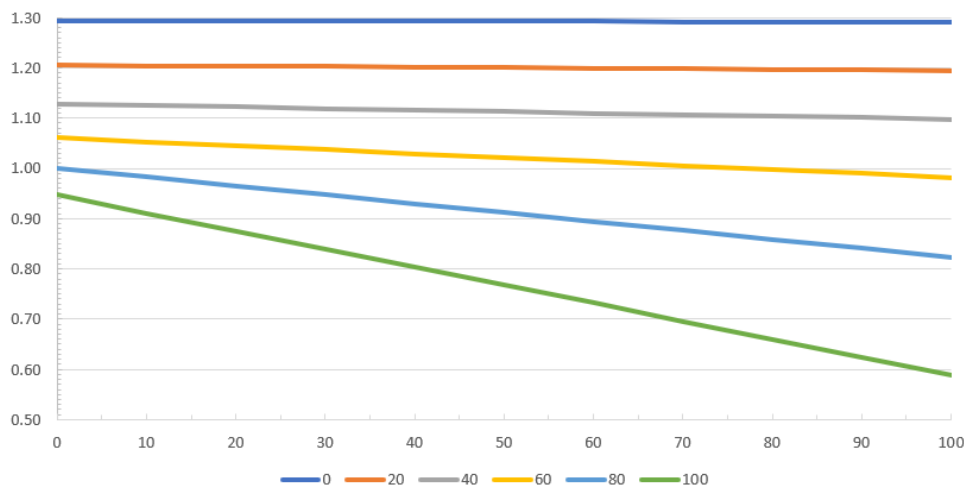


Рис. 3. Щільність повітря (кг/м<sup>3</sup>) при зміні вологості від 0 % до 100 % та температури від 0 °С до 100 °С

Значення парціального тиску водяної пари описується формулою:

$$p_{\text{вп}} = \frac{d \cdot p_0}{(622 + d)}, \quad (11)$$

де  $d$  – волого місткість вологого повітря, г/кг;  $p_0$  – атмосферний тиск повітря (в ідеальному стані складає 101,325 кПа).

При цьому парціальний тиск сухого повітря описується формулою:

$$p_{\text{сух}} = p_0 - p_{\text{вп}}. \quad (12)$$

Табл. 2. Вміст води в 1 м<sup>3</sup> повітря грамах за різних температур

Вологість, %	Температура, °С														
	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
100	0,23	0,37	0,60	0,93	1,4	2,1	3,2	4,6	6,5	9,2	12,8	17,5	23,8	31,8	42,1
90	0,21	0,34	0,54	0,84	1,3	1,9	2,8	4,1	5,9	8,3	11,5	15,8	21,4	28,6	37,9
80	0,18	0,30	0,48	0,75	1,1	1,7	2,5	3,7	5,2	7,4	10,2	14,0	19,0	25,4	33,7
70	0,16	0,26	0,42	0,65	1,0	1,5	2,2	3,2	4,6	6,4	9,0	12,3	16,6	22,3	29,5
60	0,14	0,22	0,36	0,56	0,86	1,3	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	10,5	14,3	19,1	25,3
50	0,11	0,19	0,30	0,47	0,71	1,1	1,6	2,3	3,3	4,6	6,4	8,8	11,9	15,9	21,1
40	0,09	0,15	0,24	0,37	0,57	0,86	1,3	1,8	2,6	3,7	5,1	7,0	9,5	12,7	16,9
30	0,07	0,11	0,18	0,28	0,43	0,64	0,95	1,4	2,0	2,8	3,8	5,3	7,1	9,5	12,6
20	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,43	0,63	0,92	1,3	1,8	2,6	3,5	4,8	6,4	8,4
15	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,47	0,69	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6	4,8	6,3
10	0,02	0,04	0,06	0,09	0,14	0,21	0,32	0,46	0,65	0,92	1,3	1,8	2,4	3,2	4,2
5	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,16	0,23	0,33	0,46	0,64	0,88	1,2	1,6	2,1
1	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,32	0,42

Наведені у табл. 2 дані щодо вмісту води в  $1 \text{ м}^3$  повітря у вигляді пару свідчать про те, що волога може впливати на визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху, оскільки при розрахунках щільності речовин, які випаровуються під час розлиття з обладнання, волога буде присутня.

Далі проведемо оцінку впливу вологості повітря в приміщенні, яке приведено для оцінки розрахункового надлишкового тиску вибуху парів ацетону відповідно за методикою [1]. Так, при вологості 40 % в  $1 \text{ м}^3$  повітря буде присутня вода у вигляді пари у кількості близько 5,114 кг, а при вологості 60 % в  $1 \text{ м}^3$  – у кількості близько 7,6 кг. Відсотки вологості повітря обрано для розрахунків відповідно до вимог щодо забезпечення параметрів середовища в робочих приміщеннях підприємств [12, 13]. Таким чином, загальні маси сумішей, відповідно до 40 % та 60 % вологості знайдемо за формулами:

$$m_{C_{40}} = 5,114 + 10,73 = 15,844 \text{ кг}, \quad (13)$$

$$m_{C_{60}} = 7,6 + 10,73 = 18,33 \text{ кг}. \quad (14)$$

Об'єм, який будуть займати пари води при відповідній вологості та ацетону знайдемо за формулами:

$$V_{\Pi_{40}} = \frac{m_{C_{40}}}{\rho_{\text{ПВол}40}} = \frac{5,114}{1,158} = 4,4168 \text{ м}^3, \quad (15)$$

де  $\rho_{\text{ПВол}40} = 1,158 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – щільність повітря при вологості 40 %,

$$V_{\Pi_{60}} = \frac{m_{C_{60}}}{\rho_{\text{ПВол}60}} = \frac{7,6}{1,146} = 6,63 \text{ м}^3, \quad (16)$$

де  $\rho_{\text{ПВол}60} = 1,146 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – щільність повітря при вологості 60 %,

$$V_{\text{ац}} = \frac{m_{\text{ац}}}{\rho_{\text{ац}}} = \frac{10,73}{2,319} = 4,627 \text{ м}^3, \quad (17)$$

де  $\rho_{\text{ац}} = 2,319 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – щільність ацетону при температурі в робочому приміщенні  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Сумарний об'єм речовин, які знаходяться у виробничому приміщенні, відповідно до вологостей 40 % та 60 % буде таким:

$$V_{\Sigma 40} = 4,4168 + 4,627 = 9,1 \text{ м}^3, \quad (18)$$

$$V_{\Sigma 60} = 6,63 + 4,627 = 11,257 \text{ м}^3. \quad (19)$$

Результуючі значення щільності для вологостей 40 % та 60 % буде таким:



$$\rho_{\text{рез40}} = \frac{m_{\text{C40}}}{V_{\Sigma 40}} = \frac{15,844}{9,1} = 1,74 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (20)$$

$$\rho_{\text{рез60}} = \frac{m_{\text{C60}}}{V_{\Sigma 60}} = \frac{15,844}{11,257} = 1,628 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (21)$$

Провівши розрахунки щодо визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху згідно (9) отримали відповідні значення відповідно до умов вологості 40 % та 60 %, які мають значення  $\Delta P_{40} = 28,8$  кПа та  $\Delta P_{60} = 30,78$  кПа.

Критерієм правильності отриманих значень слід вважати результати експериментальних досліджень, які на даному етапі не проводились, але порядок величини отриманих значень та відсоток відхилення отриманих значень  $\Delta_{40} = 33$  % та  $\Delta_{60} = 42$  % від значення розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P = 21,61$  кПа згідно (9) та [1] показує, що вплив вологості в робочих приміщеннях має місце.

## 7. Обговорення результатів дослідження впливу вологості повітря на результати розрахунку

Мета роботи вирішувалась шляхом визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою щодо виникнення пожежі або вибуху, виходячи з фізичного стану горючих речовин і матеріалів, які знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) в апаратах, приміщеннях, їх кількості, пожежовибухонебезпечних властивостей та особливостей технологічних процесів.

Отримані оцінки результатів досліджень при визначенні категорії приміщення за вибухопожежонебезпекою згідно національного стандарту та згідно запропонованої методики показали про наявність впливу вологості повітря у виробничих приміщеннях на вибухопожежонебезпеку легкозаймистих та горючих рідин. Встановлено, що згідно національного стандарту враховуються властивості речовин, які обертаються у технологічному процесі та їх основні параметри, багато вхідних даних подано у табульованому або довідниковому вигляді для спрощення обчислень. Але слід зауважити, що в реальних умовах виробництва у виробничих приміщеннях можуть виникати умови навколишнього середовища, які вносять непередбачений вплив на результат визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху.

Відповідно до результатів дослідження було запропоновано розглядати не ідеальну повітряно-речовинну суміш, яка буде вибухати, а необхідність врахування у розрахунках додаткової складової – водяної пари, яка завжди присутня в повітрі та характеризується таким параметром як вологість, що присутня у виробничих приміщеннях при розрахунковій температурі.

Так, під час аналізу розрахункового тиску вибуху за національним стандартом отримано значення розрахункового надлишкового тиску вибуху  $\Delta P = 21,61$  кПа, а з урахуванням припустимих значень вологості повітря в робочих приміщеннях для 40 % –  $\Delta P_{40} = 28,8$  кПа та 60 % –  $\Delta P_{60} = 30,78$  кПа. Запропонована методика розглядалась на прикладі такої легкозаймистої речовини як ацетон, який необмежено змішується з водою, що вплинуло на результат проведеної оцінки. Тому для запропонованої методики оцінки впливу вологості в повітрі можуть бути певні обмеження, які стосуються особливостей легкозаймистих та горючих рідин щодо взаємодії з водою.

Проведена оцінка впливу вологості повітря на визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху показала необхідність подальших теоретичних і експериментальних досліджень з урахуванням взаємодії парів легкозаймистих та горючих рідин з вологістю повітря. Однак, для запропонованої методики можуть бути певні обмеження, які стосуються особливостей легкозаймистих та горючих рідин щодо взаємодії з водою. Тому методика потребує подальшого розгляду та опрацювання.

## 8. Висновки

1. Проведено формалізований аналіз розрахункового тиску вибуху за національним стандартом на прикладі, в якому розглядається можлива ситуація виникнення вибуху у виробничому приміщенні, де присутня в технологічному процесі легкозаймиста рідина ацетон. Розрахунковий надлишковий тиск вибуху сягнув 21,61 кПа. Під час отримання цього значення згідно національного стандарту до розрахунків залучались рекомендовані та табульовані значення параметрів, які характеризують умови виникнення горючого середовища, параметрів технологічного процесу. Стосовно параметрів навколишнього середовища – враховані тільки його температура, атмосферний тиск та швидкість повітряного потоку.

2. Досліджено вплив вологості на розрахунковий тиск вибуху та розроблено методику, яка дозволить врахувати цей вплив. Для розробки методики було проведено аналіз впливу відносної вологості повітря на кількісне значення вмісту парів води в повітрі приміщення. Наведені дані щодо вмісту води у повітрі у вигляді пару залежать від відносної вологості і можуть сягати 42 г/м<sup>3</sup>. В роботі показано, що вологість повітря в приміщенні, яка присутня у вигляді парів води може сягати кількості від  $m_{C_{40}} = 15,844$  кг для 40 % вологості до  $m_{C_{60}} = 18,33$  кг для 60 % вологості. Тому з огляду на можливість виникнення вибуху було розглянуто суміш парів легкозаймистої рідини, повітря та водяної пари, яка характеризується вологістю повітря. З використанням запропонованої методики щодо урахування вологості, яка може бути присутня в виробничому приміщенні, було проведено оцінку розрахункового тиску вибуху, яка показала підвищення його значення до 28,8 кПа при значенні вологості 40 % та 30,78 кПа при значенні вологості 60 %. Відхилення отриманих значень  $\Delta_{40} = 33$  % та  $\Delta_{60} = 42$  % від значення розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P = 21,61$  кПа згідно (9) та національного стандарту підтверджують вплив вологості в робочих приміщеннях. Таким чином, на основі висунутої гіпотези щодо впливу вологості повітря в приміщеннях підрозділів підприємств, де обертаються легкозаймисті та горючі рідини, на розрахунковий надлишковий тиск вибуху було проведено оцінку та вперше отримано їх теоретичні значення. Однак, для запропонованої методики можуть бути певні обмеження, які стосуються особливостей легкозаймистих та горючих рідин щодо взаємодії з водою. Тому методика потребує подальшого розгляду та опрацювання. На основі запропонованої методики, отримані оцінки показали присутність впливу вологості повітря в робочому приміщенні на значення розрахункового надлишкового тиску вибуху та необхідності їх врахування під час визначення категорії приміщень за вибухопожежонебезпекою, в технологічному обладнанні яких присутні легкозаймисті та горючі рідини.

## Література

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]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 31 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0158858-16#Text>
2. The Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-Europe). (2022). Retrieve from URL: <https://cfpa-e.eu/>
3. National Fire Protection Association (NFPA). (2022). Retrieve from URL: <https://www.nfpa.org>
4. British Standards Institution (BSI). (2022). Retrieve from URL: <https://www.bsigroup.com/>
5. NFPA 68. (2002). Guide for Venting of Deflagrations. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=68>
6. Policy on Fire Protection Rules URL: [https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/policy\\_on\\_fire\\_protection\\_rules.pdf](https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/policy_on_fire_protection_rules.pdf)
7. Darie M., Burian S., Ionescu J., Csaszar T., Moldovan L., Colda C., Andriş A. Air humidity – a significant factor on ignition sensitivity of gaseous explosive atmospheres. Proc. The X<sup>th</sup> Environmental legislation, safety engineering and disaster management, Cluj-Napoca, Romania, 2020. 47 p. Retrieve from URL: [https://www.researchgate.net/publication/272158810\\_AIR\\_HUMIDITY\\_-\\_A\\_SIGNIFICANT\\_FACTOR\\_ON\\_IGNITION\\_SENSITIVITY\\_OF\\_GASEOUS\\_EXPLOSIVE\\_ATMOSPHERES](https://www.researchgate.net/publication/272158810_AIR_HUMIDITY_-_A_SIGNIFICANT_FACTOR_ON_IGNITION_SENSITIVITY_OF_GASEOUS_EXPLOSIVE_ATMOSPHERES)
8. Darie M., Burian S., Csaszar T., Moldovan L., Moldovan C. New aspects regarding ignition sensitivity of air-methane mixtures Environmental Engineering and Management Journal, Romania. June 2017. Vol. 16. № 6. 1263–1267. Retrieve from URL: [https://www.researchgate.net/profile/Doru-Cioclea/publication/319523058\\_Method\\_for\\_improving\\_the\\_management\\_of\\_mine\\_ventilation\\_networks\\_after\\_an\\_explosion/links/5b17c994aca272021ce9153b/Method-for-improving-the-management-of-mine-ventilation-networks-after-an-explosion.pdf#page=25](https://www.researchgate.net/profile/Doru-Cioclea/publication/319523058_Method_for_improving_the_management_of_mine_ventilation_networks_after_an_explosion/links/5b17c994aca272021ce9153b/Method-for-improving-the-management-of-mine-ventilation-networks-after-an-explosion.pdf#page=25)
9. Khudhur D. A., Ali M. W., Abdullah T. A. T. (2021). Mechanisms, Severity and Ignitability Factors, Explosibility Testing Method, Explosion Severity Characteristics, and Damage Control for Dust Explosion: A Concise Review. Journal of Physics: Conference Series. International laser technology and optics symposium in conjunction with photonics meeting 2020" (ILATOSPM) 2020 22-23 October 2020, Malaysia, Johor. doi:10.1088/1742-6596/1892/1/012023. Retrieve from URL: [https://www.researchgate.net/publication/351323740\\_Mechanisms\\_Severity\\_and\\_Ignitability\\_Factor\\_Explosibility\\_Testing\\_Method\\_Explosion\\_Severity\\_Characteristics\\_and\\_Damage\\_Control\\_for\\_Dust\\_Explosion\\_A\\_Concise\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/351323740_Mechanisms_Severity_and_Ignitability_Factor_Explosibility_Testing_Method_Explosion_Severity_Characteristics_and_Damage_Control_for_Dust_Explosion_A_Concise_Review)
10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : в 2 т. / ред. изд. : Баратов А. М., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Москва: Химия, 1990. Т. 1. 496 с. URL: [https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov\\_spravochnik\\_tom1/1-5.htm](https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov_spravochnik_tom1/1-5.htm)
11. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : в 2 т. / ред. изд. : Баратов А. М., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Москва: Химия, 1990. Т.2. 384 с. URL: [https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov\\_tom2/1-5.htm](https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov_tom2/1-5.htm)
12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 240 с. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text>

13. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 123 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0511738-10#Text>

*O. Roianov<sup>1</sup>, PhD, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department*  
*A. Katunin<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Scientist, Associate Professor of the Department*  
*R. Melezhyk<sup>1</sup>, Researcher of the Department*  
*O. Bogatov<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor, Head of Department*  
<sup>1</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
<sup>2</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

## EVALUATION OF THE INFLUENCE OF AIR HUMIDITY ON THE CALCULATED EXPLOSION OVERPRESSURE

An assessment of the effect of air humidity on the estimated excess pressure of the explosion was carried out during the determination of the category of industrial premises according to the explosion and fire hazard, in which flammable liquids are present, circulating and stored. The study provides data that testify to the quantitative indicators of the presence of water in the form of vapors and their dependence on ambient temperature and humidity. On a specific example with a flammable liquid, the calculation of the overpressure of the explosion was carried out and the hypothesis was put forward that the presence of humidity in the room where there are flammable and combustible liquids can affect the result of determining the calculated overpressure of the explosion, which, in turn, can lead to an incorrect determination categories of premises according to explosion and fire hazard. To confirm the proposed hypothesis, first the calculations were carried out without taking into account the air humidity, and then the assessment was carried out taking into account the air humidity in the room. The initial values of air humidity were chosen in accordance with the requirements for ensuring environmental parameters in production premises. Taking this into account, calculations of mixtures of flammable liquid vapors and water vapors were carried out. The research was based only on the use of theoretical methods, without the use of experimental research. As a result of research, results were obtained that confirmed the hypothesis regarding the influence of humidity on the value of the calculated excess pressure of the explosion. An error in determining the calculated overpressure occurs and requires additional research.

**Keywords:** explosion and fire hazard, overpressure of explosion, flammable liquids, category of premises according to fire and explosion hazard

### References

1. DSTU B V.1.1-36:2016. Vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoiu ta pozhezhnoiu nebezpekoiu. [Chynnyi vid 2017-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2016. 31 s. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0158858-16#Text>
2. The Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-Europe). (2022). Available at: <https://cfpa-e.eu/>
3. National Fire Protection Association (NFPA). (2022). Available at: <https://www.nfpa.org>
4. British Standards Institution (BSI). (2022). Available at: <https://www.bsigroup.com/>
5. NFPA 68. (2002). Guide for Venting of Deflagrations. Available at: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=68>
6. Policy on Fire Protection Rules Available at: [https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/policy\\_on\\_fire\\_protection\\_rules.pdf](https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/policy_on_fire_protection_rules.pdf)
7. Darie, M., Burian, S., Ionescu, J., Csaszar, T., Moldovan, L., Colda, C., An-Fire safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-36-23

driş, A. (2014). Air humidity – a significant factor on ignition sensitivity of gaseous explosive atmospheres. Proc. The X<sup>th</sup> Environmental legislation, safety engineering and disaster management, Cluj-Napoca, Romania, 47. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/272158810\\_AIR\\_HUMIDITY\\_-\\_A\\_SIGNIFICANT\\_FACTOR\\_ON\\_IGNITION\\_SENSITIVITY\\_OF\\_GASEOUS\\_EXPLOSIVE\\_ATMOSPHERES](https://www.researchgate.net/publication/272158810_AIR_HUMIDITY_-_A_SIGNIFICANT_FACTOR_ON_IGNITION_SENSITIVITY_OF_GASEOUS_EXPLOSIVE_ATMOSPHERES)

8. Darie, M., Burian, S., Csaszar, T., Moldovan, L., Moldovan, C. (2017) New aspects regarding ignition sensitivity of air-methane mixtures Environmental Engineering and Management Journal, Romania. June 2017, 16, 6, 1263–1267. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Doru-Cioclea/publication/319523058\\_Method\\_for\\_improving\\_the\\_management\\_of\\_mine\\_ventilation\\_networks\\_after\\_an\\_explosion/links/5b17c994aca272021ce9153b/Method-for-improving-the-management-of-mine-ventilation-networks-after-an-explosion.pdf#page=25](https://www.researchgate.net/profile/Doru-Cioclea/publication/319523058_Method_for_improving_the_management_of_mine_ventilation_networks_after_an_explosion/links/5b17c994aca272021ce9153b/Method-for-improving-the-management-of-mine-ventilation-networks-after-an-explosion.pdf#page=25)

9. Khudhur, D. A., Ali, M. W., Abdullah, T. A. T. (2021). Mechanisms, Severity and Ignitability Factors, Explosibility Testing Method, Explosion Severity Characteristics, and Damage Control for Dust Explosion: A Concise Review. Journal of Physics: Conference Series. International laser technology and optics symposium in conjunction with photonics meeting 2020" (ILATOSPM) 2020 22-23 October 2020, Malaysia, Johor. doi:10.1088/1742-6596/1892/1/012023. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/351323740\\_Mechanisms\\_Severity\\_and\\_Ignitability\\_Factors\\_Explosibility\\_Testing\\_Method\\_Explosion\\_Severity\\_Characteristics\\_and\\_Damage\\_Control\\_for\\_Dust\\_Explosion\\_A\\_Concise\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/351323740_Mechanisms_Severity_and_Ignitability_Factors_Explosibility_Testing_Method_Explosion_Severity_Characteristics_and_Damage_Control_for_Dust_Explosion_A_Concise_Review)

10. Pozharovzrivoopasnost veshchestv y materyalov y sredstva ykh tusheniya (1990) : v 2 t. / red. yzd. : Baratov A.M., Korolchenko A.Ia., Kravchuk H.N. y dr. Moskva: Khymia, 1. 496. Available at: [https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov\\_spravochnik\\_tom1/1-5.htm](https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Baratov_spravochnik_tom1/1-5.htm)

11. Pozharovzrivoopasnost veshchestv y materyalov y sredstva ykh tusheniya (1990) : v 2 t. / red. yzd. : Baratov A. M., Korolchenko A. Ia., Kravchuk H. N. y dr. Moskva: Khymia, 2, 384. Available at: [https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Barztov\\_tom2/1-5.htm](https://norm-load.ru/SNiP/raznoe/knigi/knigi/Baratov/Barztov_tom2/1-5.htm)

12. DBN V.2.5-67:2013. (2016). Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia. [Chynnyi vid 2013-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 240. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text>

13. DSTU-N B V.1.1-27:2010. (2016). Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. [Chynnyi vid 2011-11-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 123. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0511738-10#Text>

Надійшла до редколегії: 15.10.2022

Прийнята до друку: 16.11.2022