

Д.Г. Трезубов, ктн, викладач, АЦЗУ, Я.В. Щетинін, АЦЗУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕНЕРГІЇ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЕННЯ НА КОНЦЕНТРАЦІЙНІ МЕЖІ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я

(представлено д-ром фіз.-мат. наук С.В. Яковлевим)

Розглянуто взаємозв'язок ширини концентраційних меж поширення полум'я з потужністю джерела запалення. За результатами дослідження здійснена оцінка значення енергії насичення процесу вимушеного запалення для деяких речовин. Показано, що за енергії джерела запалення, меншої енергії насичення, температурна залежність звуження КМПП має більш ризичний характер, ніж у відомій розрахунковій залежності.

Постановка проблеми. Питання визначення ймовірності запалення пароповітряної суміші завжди є актуальним. Відомо, що пожежна небезпека речовин у газо-, паро- і пилоподібному стані визначається у першу чергу концентраційними межами поширення полум'я (КМПП). Тобто діапазоном концентрацій горючої речовини у суміші з повітрям в межах якого при будь-якій концентрації можливе виникнення горіння у кінетичному режимі. Цей діапазон визначається за розрахунком та експериментально за стандартних умов. Якщо умови (температура, тиск, вміст кисню у повітрі) відрізняються від стандартних, то КМПП або звужуються до неможливості горіння, або розширюються з відповідним збільшенням пожежної небезпеки. Але навіть за наявності суміші горючої речовини з повітрям горіння не виникає, оскільки третьою необхідною умовою виникнення горіння є наявність джерела запалення. В той же час, і ця остання умова не викликає появи горіння, якщо енергія джерела запалення замала. Тобто існує якась мінімальна енергія джерела запалення за якої вже не може виникнути горіння за найбільш пожежонебезпечної концентрації горючої речовини у суміші з повітрям (стехіометричної) та поширитись на весь об'єм горючої суміші. Якщо енергія джерела запалення збільшується відносно мінімальної, КМПП починають розширюватися аж до діапазону, що відповідає даним зовнішнім умовам. Починаючи з енергії насичення джерела запалення, розширення КМПП припиняється.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Докладне дослідження по розрахунковому визначенню параметрів пожежовибухонебезпеки, в тому числі і КМПП, проведено Корольченко [1]. Методика дослідного визначення КМПП та мінімальної енергії запалення викладена Баратовим, Монаховим [2, 3]. Але в цих роботах не показана залежність КМПП від енергії джерела

запалення. Енергія насичення процесу вимушеного запалення взагалі не враховується як важливий параметр, хоча вона характеризує ступінь небезпеки як речовини, так і джерела запалення. Не показано додаткового звуження КМПП за температур менших стандартних, якщо енергія джерела запалення менша енергії насичення.

Постановка задачі та її рішення. Тому з метою встановлення впливу енергії джерела запалення на ймовірність виникнення горіння за показником ширини КМПП в залежності від температури було проведено дослідження.

Експеримент був проведений за методикою: у горизонтальну вибухову трубу розташовувалась розрахункова кількість досліджуваної рідини. Кількість рідини обиралась за стехіометричної концентрації для створення в реакційному об'ємі найбільш пожежонебезпечних умов. Повнота випаровування контролювалась візуально. Рівномірність розтікання, випаровування та створення пароповітряної суміші забезпечувалась обертанням вибухової труби. Після кожного досліду виконували продувку труби повітрям для видалення продуктів горіння та утворення чистого повітряного середовища.

Дослід проводився як за стандартних умов (температура 25 °С, атмосферний тиск 101,3 кПа), так і за температури 15°С та нормального атмосферного тиску з використанням в якості джерела запалення електричних розрядів з енергією іскри 0,7 та 1,0 мДж. Вмикання електричного розрядника протягом 1,5 с дозволяло утворити близько 100 одиничних розрядів. Це достатньо для визначення спроможності даного електричного розряду до запалення. (За визначенням, під *мінімальною енергією запалювання* E_{min} газу, пари або аерозолю даної речовини в повітрі розуміють найменшу енергію конденсатора, при розряді якого через повітряний проміжок виникає іскра, що запалює стехіометричну суміш даної речовини і повітря з імовірністю 0,01 [2].)

Досліджували зміну концентраційних меж поширення полум'я ацетону, пентану, гексану, циклогексану, ізопропілового спирту. Довідникові дані та результати експерименту наведені в таблиці 1. Усі досліджувані речовини за температурою спалаху відносяться до класу постійнонебезпечних легкозаймистих рідин. За основний параметр, за яким визначався вплив потужності джерела запалення на можливість запалення, прийнято відсоток звуження КМПП:

$$\% \Delta \varphi = \frac{\Delta \varphi_{д} - \Delta \varphi_{ф}}{\Delta \varphi_{д}} \cdot 100, \%$$

де $\Delta \varphi_{ф}$ - фактична ширина КМПП за дослідом, %;

$\Delta\varphi_d$ - ширина КМПП за довідником [2], %.

Таблиця 1 - Концентраційні межі поширення полум'я речовин в залежності від потужності джерела запалення

Речовина ($t_{сп}/t_{кип}$, °C)	$E_{дз}$, мДж	$\varphi_H - \varphi_B$, (ширина КМПП), %		Звуженн я КМПП, %	$P_{нп}$, кПа, за $t_{факт}$ 15, 25 °C	E_{min} , мДж
		за довід- ником [2]	за дослідом			
Ацетон (-18,0/56,5)	1,0	2,7 - 13,0	3,3 - 9,8 (6,5)	37,0	23 - 34,5	0,41
	0,7	(10,3)	4,8 - 9,4 (4,6)	55,3		
Гексан (-23,0/68,7)	1,0	1,24 - 7,5	1,3 - 6,4 (5,1)	18,6	13 - 25	0,25
	0,7	(6,26)	1,4 - 5,4 (4,0)	36,1		
Циклогексан (-17,0/80,7)	1,0	1,3 - 7,8	1,3 - 7,7 (6,4)	0,2	7,5 - 11,5	0,22
	0,7	(6,5)	1,3 - 5,5 (4,2)	35,4		
Пентан (-44,0/36,0)	1,0	1,47 - 7,7	1,3 - 7,7 (6,4)	-2,7	49 - 68	0,22
	0,7	(6,23)	1,7 - 7,0 (5,3)	15,0		
Ізопропіловий спирт (14,0/82,3)	1,0	2,23 - 12,7	2,3 - 6,0 (3,7)	64,6	7 - 11	0,65
	0,7	(10,47)	3,0 - 5,2 (2,2)	88,4		

Для аналізу даних дослідів побудовані графічні залежності, які показують звуження КМПП в залежності від мінімальної енергії запалення та енергії джерела запалення, див. рисунок 1.

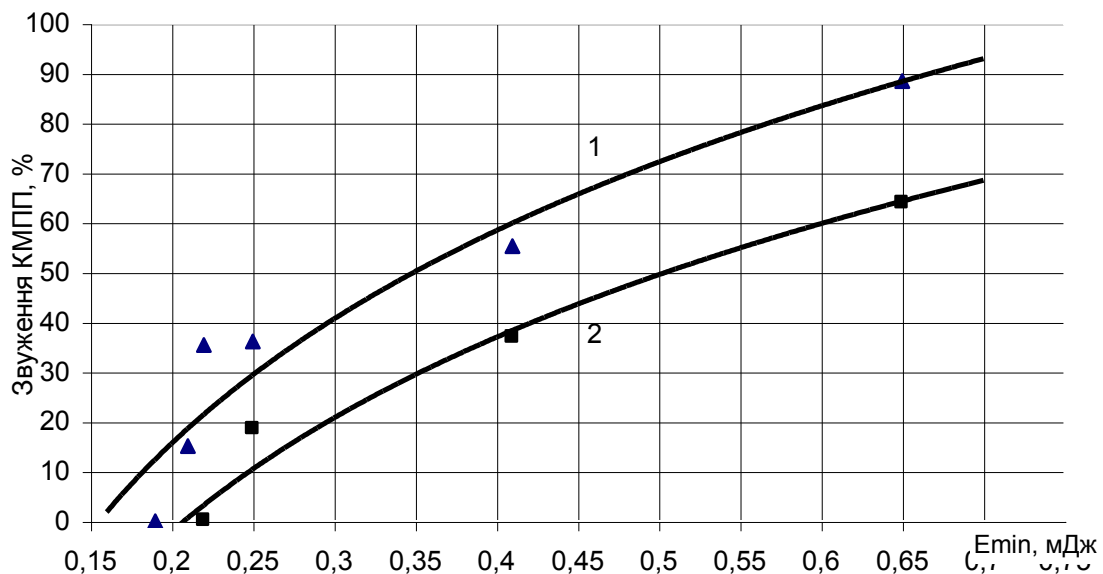


Рисунок 1 – Графік залежності ступеня звуження концентраційних меж поширення полум'я від мінімальної енергії джерела запалення.

1 - $E_{дз} = 0,7$ мДж; 2 - $E_{дз} = 1,0$ мДж.

Виходячи з графіку можна побачити, що запалення пари горючих рідин джерелом запалення з $E_{дз} = 0,7$ мДж відбувається лише якщо їх мінімальна енергія запалення $E_{мін} < 0,7$ мДж. Крім того, графік показує, що відсутність звуження концентраційних меж поширення полум'я повинно спостерігатись для речовин з мінімальною енергією запалення $E_{мін} = 0,15$ мДж. Тобто для таких речовин $E_{дз} = 0,7$ мДж буде насиченою.

Енергія джерела запалення близько 1 мДж виявилася насиченою для циклогексану та пентану, які мають і найменшу мінімальну енергію запалення $E_{мін} = 0,22$ мДж. Для пентану навіть отримали на 2,7 % концентраційні межі поширення полум'я ширші за довідникові, що може бути зумовлено як розбіжністю умов досліду, так і нерівномірністю концентрації пари пентану за довжиною труби. Звуження КМПП відбувалось за формулами:

$$\begin{aligned} E_{дз} = 0,7 \text{ мДж: } \Delta\varphi &= 61,72\text{Ln}(E_{мін}) + 115; & R^2 &= 0,9113, \\ E_{дз} = 1,0 \text{ мДж: } \Delta\varphi &= 56,35\text{Ln}(E_{мін}) + 88,6; & R^2 &= 0,9712. \end{aligned}$$

Спроби проведення досліду проводились і за температури 15 °С та нормального атмосферного тиску (101,3 кПа). Але за потужності джерела запалення 0,7 мДж запалення відбулося лише при випробуванні пентану. Відомо, що зміна КМПП від температури має наступну залежність [3]:

$$\varphi_{н(в)}^t = \varphi_{н(в)}^0 (1 - (t-25)/z) \quad (1)$$

де $z = 1250$ (для φ_n), $z = 800$ (для φ_v).

З даної формули можна побачити, що зміна температури на 10 °С змінює концентраційні межі поширення полум'я приблизно на 1 відсоток. За дослідом же встановили неможливість горіння для усіх речовин, крім пентану, для якого отримали критичну умову горіння. Можлива причина відсутності горіння полягає в погіршенні умов випаровування і, відповідно, неповне випаровування та замала концентрація пари. Але для ацетону та пентану за температури 15 °С тиск насиченої пари залишається ще досить великим (див. табл.1.) – більшим або приблизно таким як для інших досліджуваних речовин за температури 25 °С. Тоді впливає припущення, що за ненасиченого значення енергії джерела запалення інтенсивність звуження концентраційних меж поширення полум'я зі зменшенням температури значно збільшується. Якщо вважати, що за температури 15 °С запалення пентану відбулося лише за стехіометричної концентрації $\varphi_{смк}^0 = 2,56$ %, то відповідне значення мали і φ_n^0 та φ_v^0 . Тоді звуження концентраційних меж поширення полум'я пентану при зниженні температури від стандартної відбувалось за формулами:

$$\varphi_n^t = -0,126 \cdot t + 4,45,$$
$$\varphi_b^t = 0,514 \cdot t - 5,15.$$

Дана система формул працює при ненасиченому значенні енергії джерела запалення в діапазоні температур від стандартної до зниженої температури, за якої спостерігається перетин залежностей.

Інтенсивний характер звуження концентраційних меж поширення полум'я від температури показує, що за зменшеної температури за умов не насиченості джерела запалення більша енергія витрачається на прогрів холодної горючої суміші, тому енергії джерела запалення вже не вистачає для створення мінімального незгасаючого об'єму полум'я. Можна припустити, що і для насиченого значення енергії джерела запалення є така температура, при зниженні до якої почнеться більш різьке звуження концентраційних меж поширення полум'я (не за формулою 1). Тобто, за умов зниження початкової температури насичена енергія джерела запалення та мінімальна енергія запалення збільшуються.

Висновки: 1. Більше звуження КМПП за ненасиченого значення енергії джерела запалення властиво речовинам з більшим значенням мінімальної енергії запалення.

2. Для різних гомологічних рядів характер звуження концентраційних меж поширення полум'я від мінімальної енергії запалення потрапляє в одну залежність.

3. Для пентану та циклогексану енергія насичення джерела запалення складає близько 1 мДж.

4. При зниженні температури існує така температура, за якої починається різьке звуження концентраційних меж поширення полум'я аж до припинення горіння.

5. Якщо енергія джерела запалення менша за насичену, при зменшенні температури відразу відбувається різьке звуження КМПП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корольченко А.Я. Расчет пожаровзрывоопасности веществ и материалов. II Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности // Пожаровзрывоопасность. № 1. 2003. с. 24 - 39.

2. Баратов А.Н., Корольченко А.Я. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х кн. - М.: Химия, 1990. –272с.

3. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. – М.: Химия, 1979. – 424 с.