

*В.В.Ковалишин, канд. техн. наук, с.н.с., О.В. Грушовичук, В.І. Луц, канд. техн. наук  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ КРАТНОСТІ ПОВІТРЯНО-МЕХАНІЧНОЇ ПІНИ ВІД РОЗМІРУ ВІЧКА СІТКИ ПІНОГЕНЕРАТОРА

Розглянуто принцип утворення пухирця піни на сітці піногенератора та встановлено експериментально залежність кратності піни від розміру вічка сітки піногенератора. Наведені умови при яких буде відбуватися "зрив" плівки розчину піноутворювача з вічок сітки. Встановлено мінімальну та максимальну швидкість при якій не утворюється піна з використанням піноутворювачів "Сніжок -1", ПО-6К. Запропонована методика визначення кратності піни для різних вічок сітки.

*Ключові слова:* вічка сітки, піногенератор, кратність піни

**Вступ.** Ефективність гасіння пожеж повітряно-механічною піною залежить від багатьох факторів, зокрема, від природи поверхнево-активної основи піноутворювача, наявності модифікувальних добавок, а також кратності і стійкості піни. Під час гасіння пожеж найчастіше використовують піну середньої кратності, рідше - піну низької для піноутворювачів загального призначення. Піну високої кратності застосовують для гасіння пожеж об'ємним способом. Вогнегасна ефективність піни низької кратності нижча за вогнегасну ефективність піни середньої кратності при застосуванні піноутворювачів загального призначення. Нижча ефективність піни низької кратності зумовлює необхідність збільшення інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювача. В деяких випадках при гасінні рідкого фосфору піна середньої кратності є найкращою вогнегасною речовиною. На кратність піни в першу чергу впливає розмір вічка сітки.

**Постановка проблеми.** Провівши аналіз наявних джерел літератури щодо конструкції піногенераторів було виявлено, що дослідження оптимального розміру вічок сіток піногенераторів не проводились. Для піногенераторів середньої кратності типів ГПС-100, ГПС-200, ГПС-600 та ПУРГА-5 використовуються сітки з розміром стінки вічка сітки 1 мм. Для піногенераторів, що використовуються для визначення кратності піни згідно [3] розмір вічка сітки взагалі незазначений, хоча на практиці використовується сітка з розміром вічка 0,8 мм. Тому актуальною є проблема встановлення залежності кратності генерованої піногенераторами піни від розміру вічка їх сіток.

**Мета роботи.** В лабораторних умовах дослідити залежність кратності повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо процес утворення піни на прикладі піногенератора ГПС-600. Водний розчин піноутворювача подається в генератор до розпилювача. Розпилений струмінь входить в дифузор, одночасно підсмоктуючи за собою повітря з навколишнього середовища. Потік повітря та крапель потрапляє на пакет сіток, де і відбувається процес утворення піни. Механізм утворення бульбашки піни полягає у формуванні адсорбційного шару на міжфазовій поверхні. Швидкість формування цього шару визначається швидкістю дифузії молекул поверхнево-активних речовин з водного розчину до поверхні розділу фаз. Процес утворення піни складний через одночасний вплив багатьох фізико-хімічних, фізико-технічних та інших факторів. Розглянемо цей процес детальніше на одному із вічок сітки. На вічко зліва рухається потік повітря і краплі розчину. Перша крапля, яка потрапляє на вічко, змочує його, прилипаючи до нього. Повітряний потік, наштотхнувшись на прилиплу краплю, гальмується. В результаті виникає тиск і крапля починає деформуватися. Деформація краплі і утворення пухирця відбувається до того моменту, поки наступна крапля не наткнеться на вічко і не закритим його. Так утворюється пухирець піни. Далі деформується наступна крапля і процес повторюється. Під час утворення пухирця повітря, наткнувшись на

вічко, гальмується і входить в площину пухирця зі швидкістю меншою, ніж швидкість повітря, що прямує до вічка.

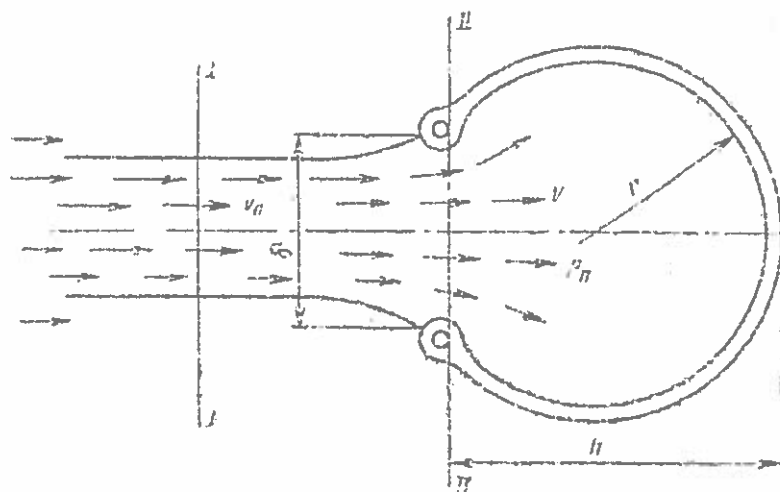


Рис 1. Схема утворення пухирця на вічку сітки

Складемо рівняння Бернуллі для перерізу I-I та II-II:

$$\frac{\gamma v_{I-I}^2}{2g} = P_{II} + \frac{\gamma v_{II-II}^2}{2g} + \Delta P \quad (1)$$

Тиск всередині пухирця, якщо знехтувати силами інерції, визначається:

$$P_{II} = \frac{2\sigma}{r} \quad (2)$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу розчину піноутворювача,  $\sigma=32 \cdot 10^{-4}$  кг/м;  
 $r$  – радіус пухирця, м.

Якщо  $r$  подати через  $\sigma$  та  $h$ , то:

$$P_{II} = \frac{4\sigma h}{h^2 + \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Коли тиск в пухирці  $P_{II}=P_{\max}$ , то існує деяка мінімальна швидкість  $v_{II-II}=v_{\min}$  повітря, що прямує до вічка, при якому піноутворення припиняється. При цьому значенні швидкості повітряного потоку швидкість на вході до вічка дорівнює нулю. Це вказує на те, що сила тиску, яка виникла при повному гальмуванні потоку повітря, що прямує до вічка, не здатна подолати капілярного тиску.

В такому випадку умова рівноваги матиме вигляд:

$$\frac{\gamma v_{II-II, \min}^2}{2g} = \frac{4\sigma}{\delta} + \Delta P \quad (4)$$

Приймаючи втрати тиску  $\Delta P$  при гальмуванні повітря пропорційними до квадрату швидкості, отримаємо

$$v_{II-II, \min}^2 = \varphi \cdot \sqrt{\frac{8g\sigma}{\gamma\delta}} \quad (5)$$

де  $\varphi \leq 1,1$  – коефіцієнт, який враховує втрати тиску.

Якщо розмістити сітку на відкритому потоці повітря і подавати на неї розчин піноутворювача, то при швидкості потоку  $v \geq v_{II-II, \min}$  почнеться процес піноутворення.

Але швидкість потоку повітря не можна безмежно збільшувати. При певній швидкості  $v_{\max}$  процес піноутворення припиниться. Це пояснюється тим, що швидкість збільшення по-

верхні пухирця значно більша від швидкості дифузії молекул піноутворювача. При малих швидкостях подачі розчину піноутворювача на сітки розчин встигає перерозподілитися і покрити збіднені ділянки сітки завдяки розтіканню по ній. У випадку великих швидкостей подачі такого вирівнювання не відбувається, оскільки розчин відразу ж йде на формування плівок і розтікання не відбувається. В такому випадку не орошені вічка сітки формують собою зони з пониженим гідравлічним опором і через них проходить частина повітряного потоку, яка формує в пінному струмені окремі повітряні об'єми. Тому для утворення компактного струменя є певне критична швидкість подачі розчину піноутворювача на сітки, вище від якої буде відбуватися "зрив" плівки з вічок, після чого з піногенератора виходитиме потік повітря і стікатиме розчин піноутворювача. Тому швидкість потоку  $v_{II-II, \max}$  повинна бути обмежена згідно з виразом

$$v_{II-II, \max}^2 = \sqrt{\frac{V_0}{\pi^2 \cdot \sigma^2} + \frac{8g\sigma}{\gamma\delta}} \quad (6)$$

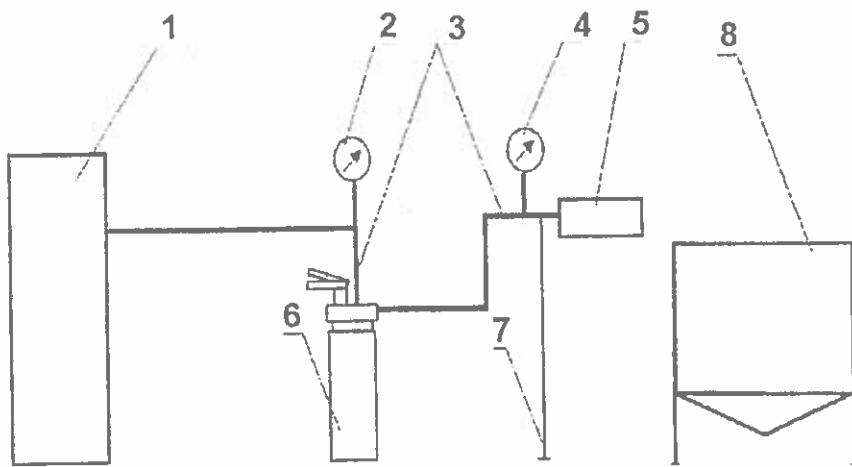
де  $V_0$  – гранична величина швидкості зміни поверхні пухирця:

для "Сніжок-1"  $V_0 = 85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

для ПО – 1  $V_0 = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

для ПО – 6  $V_0 = 80 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Експериментальна частина.** На основі теоретичних досліджень були сплановані та проведені досліди із встановлення залежності впливу розміру вічка сітки піногенератора на кратність генерованої ним повітряно-механічної піни. Для проведення дослідів використовувалася установка (рис. 2) згідно з [3].



**Рис. 2.** Схема установки для визначення кратності і стійкості піни середньої кратності, а також тривалості гасіння і вогнегасної здатності під час гасіння піною середньої кратності:

1 – балон зі стисненим повітрям або компресор; 2, 4 – манометри;

3 – з'єднувальний шланг; 5 – піногенератор; 6 – випробувальний пристрій, 7 – штатив для фіксації піногенератора, 8 – мірна посудина

Щоб забезпечити однакові умови подавання піни було додатково встановлено штатив фіксації піногенератора на одному рівні, що не передбачено [3]. Розчин піноутворювача подавався при тиску 0,6 МПа та витраті 0,21 м/с. В ході дослідів по чергово використовувалися сітки з різними розмірами їх вічок. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розмір вічка сітки, мм	№ досліду	Кількість піни, л	Кількість 6% розчину піноутворювача, л	Кратність піни	Середнє значення кратності
0,8	1	200,8	4,86	41,3	41,00
	2		4,63	43,4	
	3		5,24	38,3	
1,0	1	200,8	3,86	54,5	50,30
	2		4,01	50,1	
	3		4,33	46,4	
1,5	1	200,8	3,03	66,3	66,04
	2		2,85	70,5	
	3		3,28	61,3	
2,0	1	200,8	4,25	47,2	44,77
	2		4,51	44,5	
	3		4,71	42,6	

Виходячи з середніх значень кратності для різних розмірів вічок сіток отримано залежність, відображену за допомогою поліноміальної лінії Тренда на рис. 3, яка описується рівнянням.

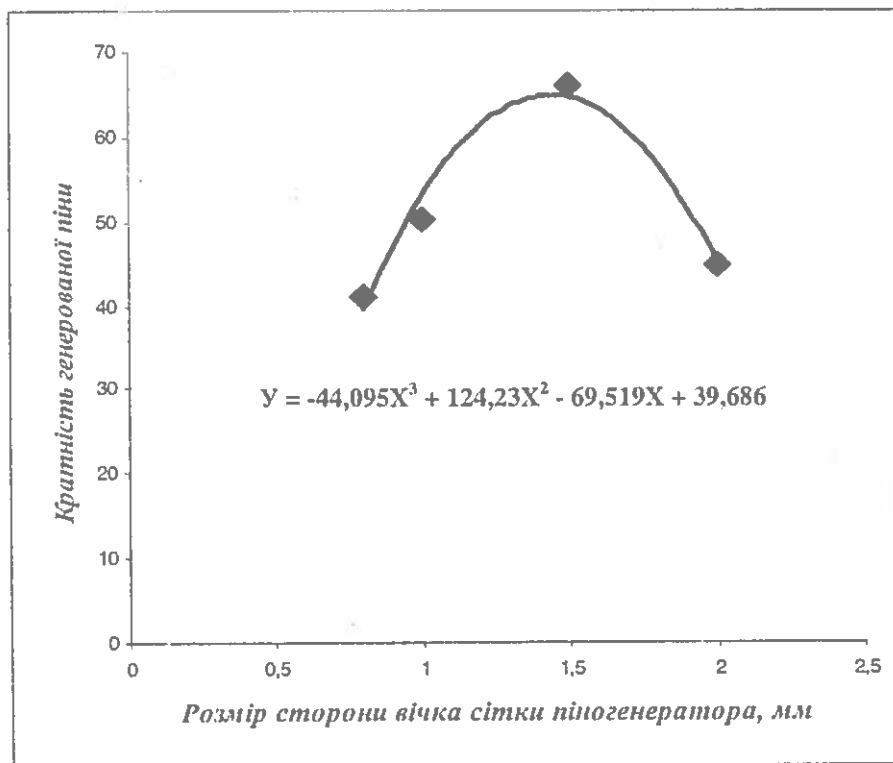


Рис. 3. Графік залежності кратності піни від розміру вічка сітки піногенератора

В даній роботі досліди з сітками проводилися на 5 сітках піногенератора з квадратними вічками різних розмірів на піноутворювачі "Сніжок -1", ПО-1, ПО-6К. Підставивши відповідні значення у формулу (6) отримано значення максимальної швидкості потоку від розміру вічка сітки (табл. 2) при якій буде утворюватися піна.

Таблиця 2

Залежність максимальної швидкості потоку від розміру вічка сітки

Розмір сторони вічка $\delta$ , мм	Швидкість потоку $v_{II-Пмакс}$ , м/с		
	Сніжок-1	ПО-1	ПО-6К
0,8	5,313	5,471	5,312
1	5,313	5,471	5,312
1,5	5,313	5,471	5,312
2,2	5,313	5,471	5,312
4,5	5,313	5,470	5,312

Отже з таблиці видно, що максимальна швидкість потоку для піноутворювача "Сніжок -1" дорівнює 5,313 м/с, для ПО-1 – 5,471, для ПО-6К – 5,312 і зміна розміру вічка на неї впливає неістотно. В реальних умовах швидкість ежекційного утворення піни на сітках не перевищує 10 м/с, що пов'язано з міцністю рукавної лінії.

**Висновки:**

1. Описано процес формування пухирця піни на сітці піногенератора та встановлено розрахунковим і практичним методом, що руйнування пухирця піни або піна не утворюється.
2. Практично встановлено залежність кратності піпи від розміру вічка сітки піногенератора та визначено оптимальний його розмір 1,5 мм.

**Список літератури:**

1. Ковалишин В.В., Васильєва О.Е., Козяр Н.М. Піпне гасіння // Навч. посібник.– Львів: ЛДУ БЖД, 2007.– 168 с.
2. Луц В.І. Підвищення ефективності гасіння пожеж легкозаймистих та горючих речовин комбінованими пінними струменями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 2007. – 20 с.
3. ДСТУ 3789-89. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

*В.В. Ковалишин, канд. техн. наук, с.н.с., О.В. Грушовинчук, В.И. Луц, канд. техн. наук  
(Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КРАТНОСТИ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ ОТ РАЗМЕРА ЯЧЕЙКИ СЕТКИ ПЕНОГЕНЕРАТОРА

Рассмотрен принцип образования пузырька пены на сетке пеногенератора и установлено экспериментально зависимость кратности пены от размера ячейки сетки пеногенератора. Приведены условия, при которых будет происходить "срыв" пленки раствора пенообразователя из ячеек сетки. Установлена минимальная и максимальная скорость, при которой не образуется пена с использованием пенообразователей "Снежок -1", ПО-6К. Предложена методика определения кратности пены для различных ячеек сетки.

**Ключевые слова:** ячейки сетки, пеногенератор, кратность пены

## DEPENDENCE OF AIR-MECHANICAL FOAM MULTIPLICITY FROM THE FOAM CELL SIZE

The article deals with the principle of a foam bubble formation on the foam generator grid. The experimental dependence of the foam multiplicity from the size of the grid cell foam generator. The conditions of the foam solution film "breakdown" out of the grid cells are shown. The minimum and maximum speed at which the foam does not appear are established. The methodology of the foam multiplicity definition is proposed.

*Key words:* mesh, foam generator, foam multiplicity

УДК 667.637.4: 666.3.135

*В.В. Артеменко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## КОМПОНЕНТНИЙ СКЛАД ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНИХ ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНІВ

Проведено аналіз досліджень та публікацій вогнестійких захисних покриттів з наперед прогнозованими властивостями. Розроблені вихідні склади для захисних покриттів із умов одержання при високих температурах максимального вмісту температуростійких силікатів алюмінію і цирконію. Введення до складу покриття 1-3 мас. %  $\text{TiO}_2$  сприяє синтезу вищенаведених фаз та знижує температуру їх утворення на 50-60 град.

*Ключові слова:* вогнестійкість, температура, вогнезахисні покриття, фазоутворення, аналіз, композиція, захисний шар

**Вступ.** Аналіз останніх досліджень та публікацій свідчить, що розширення температурного інтервалу експлуатації металевих та бетонних конструкцій зумовлює необхідність розробки нових видів вогнестійких захисних покриттів з наперед заданими властивостями у широкому діапазоні температур [1]. Композиційні захисні покриття на основі поліорганосилоксанів, оксидних та силікатних наповнювачів мають низьку захисну функцію, внаслідок недостатньої адгезійної міцності у температурному інтервалі термоокисної деструкції зв'язки внаслідок високої пористості [2].

**Постановка проблеми.** Для підвищення захисного ефекту до складу покриттів необхідно вводити добавки, які інтенсифікують процеси взаємодії між компонентами покриття з утворенням у процесі нагрівання нових температуростійких силікатних фаз, підвищують міцність силіційкисневого каркасу шляхом введення волокнистих силікатів (волокон) які формують перехідну зону на межі контакту «покриття-підкладка» [3-5].

Утворення первинної композиційної структури полягає в ініційованому механохімічному прищеплюванні поліалюмосилоксанів до мінерального наповнювача із підвищенням фізико-механічних параметрів та теплостійкості.

Вихідні склади для захисних покриттів вибирали із умов одержання при високих температурах максимального вмісту температуростійких силікатів алюмінію і цирконію. Склади вихідних композицій наведено у табл. 1.

Суміщення оксидних та силікатних наповнювачів із поліорганосилоксанами найбільш повно відбувається при механохімічному диспергуванні у кульових млинах і характеризується