

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТОВЩИНИ ПЛІВКИ ПОВІТРЯНО-МЕХАНІЧНОЇ ПІНИ ВІД РОЗМІРУ ВІЧКА СІТКИ ПІНОГЕНЕРАТОРА

Розглянуто механізм утворення піни на сітках та показано, що процес утворення піни складний через одночасний вплив багатьох фізико-хімічних, фізико-технічних та інших факторів. Подані залежності для визначення товщини плівки від розміру вічка сітки піногенератора. На основі цих залежностей розрахована товщина плівки піноутворювачів "Сніжок-1", ПО-6К при різних розмірах вічка сітки та описано отримані результати відповідними функціями. Визначено кращий піноутворювач, що забезпечує найбільшу товщину плівки.

Ключові слова: повітряно-механічна піна, піногенератор, піноутворювач, вічка сітки, товщина плівки

Вступ. Механізм гасіння піною залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), що горить, складу і властивостей піноутворювача, структури, кратності піни і способу її подавання.

Як відомо, полум'я горіння відбувається в газовій фазі в присутності окисника (переважно, це кисень повітря). Тому для його придушення необхідно припинити надходження парів горючої речовини або окисника в зону горіння або розділити ці речовини просторово. Нанесення піни на поверхню рідини, що горить, дозволяє знизити швидкість її випаровування шляхом створення механічної перешкоди для дифузії та конвективного перенесення парів у зону горіння. Для забезпечення гасіння необхідно здійснювати безперервне подавання піни на поверхню рідини, що горить, оскільки піна руйнується під дією теплового потоку від полум'я та внаслідок контакту з горючою речовиною.

У разі застосування пін середньої або низької кратності, що утворюються з розчинів піноутворювачів, які не містять добавок фторвмісних ПАВ, гасіння горючих рідин відбувається, як описано в роботах [1-3]. На поверхні рідини, що горить, формується локальний шар піни. Швидкість його утворення залежить від інтенсивності подавання піни та швидкості її руйнування.

В результаті руйнування піни виділяється водний розчин (відсік). Відсік охолоджує поверхню рідини, завдяки чому зменшується швидкість її випаровування і концентрація горючих парів у зоні горіння, а отже сповільнюється процес горіння.

Шар піни також екранує поверхню горючої (легкозаймистої) рідини від теплового потоку полум'я, внаслідок чого значно зменшується інтенсивність прогрівання верхнього шару рідини. Зі збільшенням товщини шару піни знижується швидкість дифузії парів горючої (легкозаймистої) рідини у зону горіння і зменшується швидкість горіння. Крім того, вода з відсіку частково випаровується і водяна пара розводить пари горючої (легкозаймистої) рідини, а також охолоджує речовини в зоні горіння.

Наявність фторвмісних парів забезпечує зниження поверхневого натягу робочих розчинів піноутворювачів, тоді як наявність вуглеводневих парів звичайно дає змогу знизити поверхневий натяг. У разі застосування фторвмісних парів поверхневий натяг робочих розчинів і міжфазовий натяг на поверхні розділу "робочий розчин піноутворювача – водонерозчинна горюча (легкозаймиста) рідина" можна зменшити настільки, що значення коефіцієнта розтікання стає додатним і відсік набуває здатності "плавати" на поверхні горючої (легкозаймистої) рідини.

В результаті на поверхні рідини, що горить, утворюється плівка водного розчину, яка довільно розтікається по цій поверхні. Швидкість дифузії парів горючих (легкозаймистих) рідин крізь цю плівку значно нижча за швидкість їх дифузії крізь повітря, що міститься в бульбашках повітряно-механічної піни, яку отримують з водних розчинів вуглеводневих ПАВ, а розчинність вуглеводнів у водному розчині дуже низька. Тому плівка, що формується на поверхні рідини, забезпечує надійне ізолювання парів горючої (легкозаймистої) рідини від

кисню повітря [4]. Одним із чинників при подачі повітряно-механічної піни, що впливає на товщину плівки, є розмір вічка сітки.

Постановка проблеми. Аналіз літературних джерел щодо впливу розміру вічка сіток піногенераторів на товщину плівки повітряно-механічної піни показав, що дослідження такі не проводились. Для піногенераторів середньої кратності типів ГПС-100, ГПС-200, ГПС-600 та ГПС-2000 використовуються сітки з розміром вічка стінки 1 мм [5]. Для піногенераторів, що використовуються для визначення кратності піни, згідно з [6], розмір вічка сітки взагалі не зазначений, хоча на практиці використовується розмір вічка 0,8 мм. Тому актуальною є проблема встановлення залежності товщини плівки, генерованої піногенераторами піни, від розміру вічка їх сіток.

Мета роботи. Дослідити залежність товщини плівки повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора.

Виклад основного матеріалу. Модель утворення піни на сітках представлена на рис. 1. Структура піни формується безпосередньо біля сітки піни. Уже третій шар піни повинен мати визначені значення геометричних параметрів, включно з товщиною плівок і радіусом кривизни пінних каналів. По схемі розглянуто послідовне формування піни на трьох суміжних чарунках, позначених А, Б і В. У вихідній позиції бульбашка у вигляді багатогранника сполучається з чарункою Б, а дві суміжні чарунки закриті куполами, у вершині яких знаходяться пінні канали.

До цього стану система періодично повертається в процесі утворення піни. Під тиском повітря в крайніх чарунках формуються бульбашки, плівки яких поступово зближуються і починають безпосередньо дотикатися, при чому їх контакт супроводжується наростаючим тиском повітря.

Подолавши опір повітряного прошарку, плівки зливаються, утворюючи із двох одну плоску, яка стає гранню бульбашок багатокутників. В момент злиття плівок між ними виникає меніск з дуже малим радіусом кривизни, який забезпечує виникнення високого капілярного тиску, під дією якого проходить пришвидшене завершення процесу злиття і деформації плівок.

В результаті формується стаціонарний радіус кривизни пінного каналу. Завершується процес утворення шару формуванням бульбашок багатокутників в чарунках А і В, а чарунка Б перейшла у вихідний стан.

Таким чином, утворення бульбашок піни проходить через стадію контактної взаємодії плівок в процесі їх деформації. Саме на цьому етапі відбувається формування пінних каналів – каналів Платто-Гіббса.

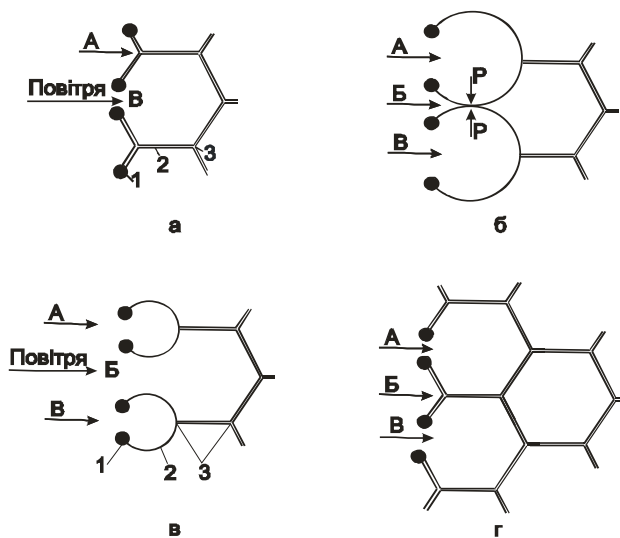


Рис. 1. Стадії механізму утворення піни на сітках:

а) вихідний стан; б) деформація пінних плівок; в) контактна взаємодія плівок; г) кінцевий стан. 1 – елемент сітки; 2 – плівка піни; 3 – канал Плато-Гіббса; Р – тиск притискування контактуючих плівок; А, Б, В – позначення чарунок сітки

Їх кривизна визначається режимом утворення піни і співвідношення витрат повітря і піноутворюючого розчину. Надлишок рідини, який утворюється в площині злиття плівок, перетікає до сітки під дією капілярного тиску каналу, який примикає до змочуваної плівки. Кривизна цього каналу тим вища, чим більша швидкість утворення піни і кратність піни.

Стадія контактної взаємодії і злиття плівок може виявитись визначальною, якщо для утворення піни використовують повітря зі зниженою вологістю. В цьому випадку зрив процесу утворення піни проходить особливо при низьких швидкостях повітря. Додавання до піноутворюючої композиції вищих жирних спиртів зменшує швидкість пароутворення, але покращує утворення піни на сухому повітрі.

Контактна взаємодія модельних плівок при вологому дефіциті у всіх вивчених випадках супроводжується наявністю індукційного періоду до злиття плівок.

У відповідності з висновками робіт можна прийняти, що злиттю контактуючих плівок перешкоджає осмотичний тиск, який розвивається в зазорі між плівками завдяки виникненню градієнта концентрації молекул повітря між плівками і в навколишньому середовищі. При постійній вологості середовища величина осмотичного тиску буде тим меншою, чим нижча швидкість випаровування води із плівок.

При додаванні до складу піноутворювача жирних спиртів вплив вологості повітря перестає відображатися на параметрах утворення піни. Такий результат слід було очікувати із дослідів по контактній взаємодії плівок, які містять жирний спирт. Ця добавка знижує швидкість процесу пароутворення, а наявність невеликої концентрації парів води не може викликати помітного осмотичного тиску, який перешкоджає злиттю плівок навіть при низькій вологості повітря [2].

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 [5].

Залежно від величини густини зрошення сіток рідиною можна розглянути два крайні випадки, в яких проходить зрив утворення піни на сітках. При високих витратах розчину максимальна кратність досягається при більшій швидкості руху. В цьому випадку в плівках виникає дотичне навантаження в результаті тертя потоку повітря.

Якщо величина дотичного напруження є достатньою для збудження потоку рідини в поверхневому шарі, то може пройти розрив плівки, що змочує або формується.

При малих густинах зрошення максимум кратності піни досягається в області невисоких швидкостей руху через сітку. Гострий дефіцит рідини призводить до потоншення плівок в процесі їх деформації. В результаті в місці контакту піною і плівкою, що змочує виникає високий капілярний тиск, обумовлений різко вираженою кривизною поверхні переходу між плівками.

Наявність високого капілярного тиску в поєднанні з можливістю його швидкого наростання при деформації плівок може слугувати причиною їх розриву і порушення утворення піни в цілому.

На рис. 2 поданий фрагмент системи пінних бульбашок в процесі їх формування на сітці. Позиціями I, II і III відзначена ситуація, яка формується періодично при утворенні піни. В позиції I плівка, що деформується 1 контактує з плоскою плівкою 2, яка має надлишкову кількість рідини, оскільки тільки що утворилась злиттям двох плівок. Завдяки високому капілярному тиску (розрядження) в каналі на межі з плівкою, що змочує, рідина із плоскої плівки перетікає в зону змочування сітки.

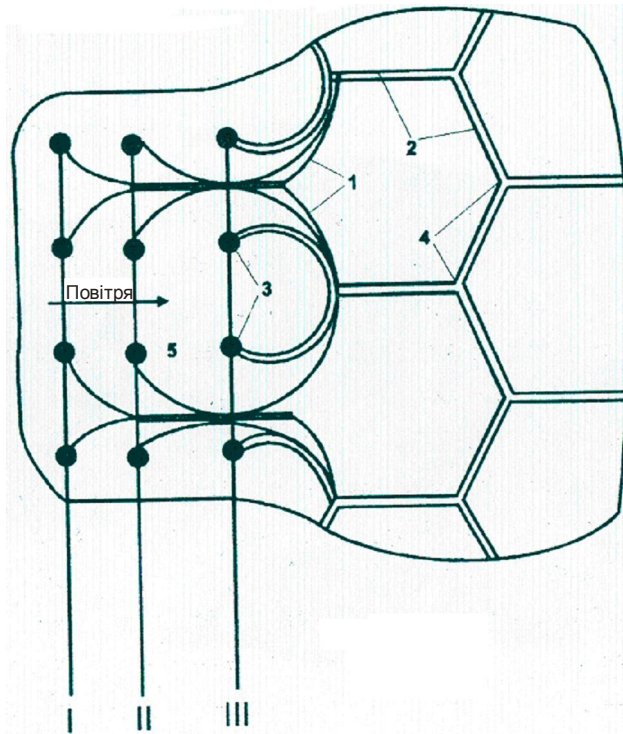


Рис. 2. Фрагмент процесу утворення піни на сітках:

I – момент злиття плівок; *II* – стадія формування контактних плівок; *III* – початок деформації; 1 – плівки в процесі деформації; 2 – плівки піни; 3 – елементи сітки; 4 – канали Плато-Гіббса; 5 – плівки в момент злиття

В міру збільшення поверхні плівки, що формується, в потік втягується і рідина, яка падає в плівку у вигляді крапель розпиленого розчину піноутворювача. У другій позиції формування плівок завершується їх контактною взаємодією. В положенні 1 проходить злиття плівок і формування пінних каналів.

Кількісний розгляд процесу руху рідини в плівці дозволяє визначити величину мінімальної та максимальної швидкості утворення піни на сітках [2].

Коли тиск в пухирці $P_n = P_{\text{макс}}$, то існує деяка мінімальна швидкість $v_{II-II} = v_{\text{мін}}$ повітря, що прямує до вічка, при якій 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 [5].

В такому випадку умова рівноваги матиме вигляд:

$$\frac{\gamma_{II-II, \text{мін}}^2}{2g} = \frac{4\sigma}{\delta} + \Delta P \quad (1)$$

Приймаючи втрати тиску ΔP при гальмуванні повітря пропорційними до квадрату швидкості, отримаємо

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

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 $v \geq v_{II-II, \text{мін}}$ почнеться процес піноутворення.

Але швидкість потоку повітря не можна безмежно збільшувати. При певній швидкості v_{\max} процес піноутворення припиниться. Він детально описаний в роботі [5].

Припускаємо, що потік рідини в тонких порах плівки описується формулою Пуазейля, то отримуємо вираз для визначення товщини плівки [2]:

$$h = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8q\eta}, \quad (3)$$

де q – витрата рідини;

r – середній радіус плівки;

ΔP – перепад гідростатичного тиску;

η – в'язкість піноутворюючого розчину.

Для визначення радіусу скористаємося залежністю

$$v = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta l} \quad (4)$$

В даній роботі проводилися розрахунки 5 сіток піногенератора з квадратними вічками різних розмірів на піноутворювачах "Сніжок-1", ПО-6К. Підставивши відповідні дані у формулу (3), отримано значення товщини плівки від розмірів вічка сітки, при якій буде утворюватися піна.

Отже з рис. 3 видно, що максимальна товщина плівки для піноутворювача "Сніжок-1" дорівнює $2,27 \cdot 10^{-5}$ м, для ПО-6К – $2,39 \cdot 10^{-5}$ і зміна розміру вічка на неї впливає досить істотно. Зі збільшенням розміру вічка з 0,8 до 4,5 мм товщина плівки зменшується \approx в 1,54 рази для обидвох піноутворювачів. Між собою представлені в на рис. 3 піноутворювачі відрізняються не істотно. Як видно з цього рисунка кращим з точки зору товщини плівки є піноутворювач ПО-6К.

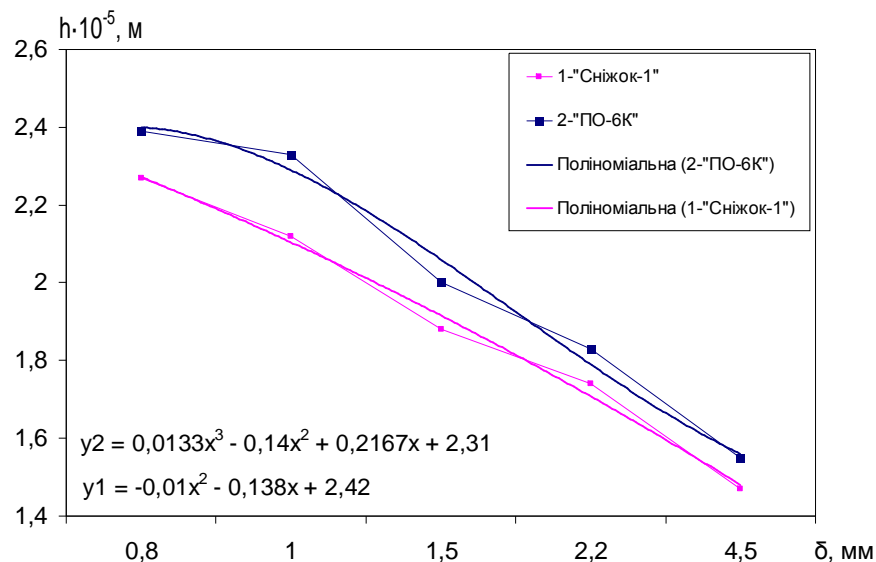


Рис. 3. Залежність товщини плівки від розміру вічка сітки піноутворювачів отриманих розрахунками та функції що їх описують

Висновки:

1. Описано механізм утворення піни на сітках піногенератора та подані залежності для визначення товщини плівки піноутворювача.

2. На основі розрахунків встановлено залежності товщини плівки піноутворювача від розміру вічка сітки піногенератора та визначено оптимальний його розмір – 0,8 мм.

Список літератури:

1. Казаков М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров / М.В. Казаков. – М.: Строиздайт, 1977. – 81 с.
2. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение / А.Ф. Шароварников – М.: Знак, 2000. – 464 с.
3. Казаков М.В., Демидов П.Г. Применение смачивателей для тушения пожаров / М.В. Казаков, П.Г. Демидов. – М.: Строиздайт, 1964. – 56 с.
4. Вогнегасні речовини / А.В. Антонов, В.О. Боровиков, В.П. Орел та ін. – К.: “Пожінформтехніка”, 2004 – 171 с.
5. Ковалишин В.В. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора / В.В. Ковалишин, О.В. Грушовінчук, В.І. Луц // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів, 2010. – №16. – С. 54-59.
6. ДСТУ 3789-89. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

Я.Б. Кырылив, канд. техн. наук, А.В. Грушовинчук (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ ОТ РАЗМЕРА ЯЧЕЙКИ СЕТКИ ПЕНОГЕНЕРАТОРА

Рассмотрен механизм образования пены на сетках и показано, что процесс образования пены сложный через одновременное воздействие многих физико-химических, физико-технических и других факторов. Приведены зависимости для определения толщины пленки от размера ячейки сетки пеногенератора. На основе этих зависимостей рассчитана толщина пленки пенообразователей "Снежок-1", ПО-6К при различных размерах ячейки сетки и описаны полученные результаты соответствующими функциями. Определен лучший пенообразователь, обеспечивающий наибольшую толщину пленки.

Ключевые слова: воздушно-механическая пена, пеногенератор, пенообразователь, ячейки сетки, толщина пленки

Ya.B. Kyryliv, Candidate of Science (Engineering), O.V. Hrushovinchuk (Lviv State University of Vital Activity Safety)

RESEARCH DEPENDENCE OF AIR-MECHANICAL FOAM FILM THICKNESS FROM FOAM GENERATORS APERTURE SIZES

The article deals with the mechanism of foam formation on nets. It is shown that the formation of foam is complicated by the simultaneous influence of many physical, chemical, physical, technical and other factors. The dependencies for determination of the film thickness on the size of an aperture size are presented. According to these dependencies film thickness for such foams as "Sniezhok-1" and PO-6K due to the different aperture sizes is calculated. The best foam that provides the greatest thickness of the film is determined.

Key words: mechanical air-foam, foam generators, foam mesh aperture, film thickness

