

УДК 614.843

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ГЕНЕРАЦІЇ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

DOI: 10.52363/2518-1777-2026-21-3

Осадчук М. В., ORCID iD 0000-0002-4584-3541

E-mail: maximusfire1989@gmail.com

Інститут наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції:

30.04.2026

Прийнято: 05.05.2026

Опубліковано:

30.05.2026

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнегасні речовини,
пінозмішувач, гідродинаміка,
компресійна піна, перспективи
використання, способи
одержання

АНОТАЦІЯ

У представленій статті проведено комплексний системний аналітичний огляд найбільш поширених у світовій практиці науково-прикладних підходів до процесу формування компресійної піни в системах типу CAFS (Compressed Air Foam Systems). Детально проаналізовано конструктивні особливості та фундаментальні гідродинамічні принципи функціонування основних типів пінозмішувальних пристроїв, що використовуються в сучасних технологіях пожежогасіння. Зокрема, розглянуто вертикальні, коаксіальні та Т-подібні змішувачі, а також статичні системи, оснащені різноманітними типами насадкових елементів. У ході дослідження виявлено та систематизовано ключові технічні недоліки існуючих рішень, значний гідравлічний опір статичних систем, прискорений механічний знос сітчастих елементів та схильність до засмічення. Ці фактори суттєво обмежують стабільність фізико-хімічних параметрів компресійної піни, її кратність та максимальну дистанцію ефективної подачі вогнегасної речовини. На основі результатів аналізу в роботі теоретично обґрунтовано інноваційний принцип безлопатевого генерування компресійної піни. В основу запропонованого методу покладено використання ефектів адгезії та тертя у граничному шарі робочого середовища, що реалізується за аналогією з принципом роботи турбіни Ніколи Тесли. Даний підхід є унікальним для галузі пожежної безпеки, оскільки дозволяє мінімізувати механічний вплив на структуру компресійної піни під час її формування. У статті описано фізичний механізм роботи конструкції з перфорованим барабаном. Встановлено, що така конфігурація забезпечує високий ступінь гомогенності вогнегасної речовини завдяки кавітаційному подрібненню суміші в мікрошарах між дисками, стінками та в отворах перфорації. Визначено ключові експлуатаційні переваги розробленої технології, серед яких мінімальні гідравлічні втрати, підвищена надійність завдяки відсутності складних лопатевих механізмів та конструктивна універсальність. Результати дослідження підтверджують можливість ефективної інтеграції запропонованих генераторів у мобільні пожежні розрахунки та стаціонарні системи автоматичного протипожежного захисту об'єктів критичної інфраструктури, складських комплексів та підприємств нафтохімічної промисловості. Дана робота відкриває нові перспективи для створення обладнання нового покоління для ліквідації пожеж класів А та В.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку технологій у сфері пожежогасіння характеризується не тільки вдосконаленням пожежно-рятувальної техніки [1], а також інтенсивною модернізацією засобів пожежогасіння, вогнегасних речовин та методів їх отримання, на зміну застарілим. Зокрема повітряно-механічній піні [2,3], що

утворюється шляхом ежекції атмосферного повітря в потік водного розчину піноутворювача за нормального тиску з подальшим спінюванням у піногенераторі. Однак зазначений спосіб формування піни має ряд недоліків, серед яких недостатня однорідність структури піни та нестабільність показника кратності, що

знижує ефективність застосування в окремих умовах.

У зв'язку з цим на сьогодні активно впроваджується технологія примусового насичення розчину піноутворювача стисненим повітрям за допомогою компресорного обладнання.[4] Такі системи отримали назву “Compressed Air Foam System” (CAFS) і розглядаються, як перспективний напрямок для підвищення ефективності пожежогасіння.

Поряд із перевагами, зазначений метод генерації компресійної піни характеризується низкою конструктивних та технологічних обмежень. Першочергово це виявляється у високій вузькопрофільності обладнання, кожна окрема установка та її термодинамічний принцип піноутворення адаптовані під вузький спектр завдань. Зокрема, існують суттєві конструктивні відмінності у генеруванні компресійної піни між мобільними ранцевими пристроями та великогабаритними стаціонарними системами протипожежного захисту. Через відсутність уніфікації вузлів змішування, дані технологічні рішення є технічно несумісні та не підлягають взаємній інтеграції чи оперативній заміні в межах єдиної системи.

Крім того, актуальним залишається питання стабільності отриманої вогнегасної речовини, що безпосередньо впливає на її вогнегасні властивості та стійкість до руйнування при контакті з розігрітими поверхнями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У статті [4] проведено комплексний аналіз існуючих технологій генерації піни та визначено перспективні напрямки їх розвитку для захисту критичної інфраструктури. Автор акцентує увагу на необхідності модернізації обладнання для розширення функціональних можливостей компресійних систем у сучасних умовах.

У роботі [5] досліджено критичний вплив тиску повітря та витрати розчину піноутворювача на кінцеві характеристики вогнегасної речовини. Автори встановлюють математичні залежності, які

дозволяють прогнозувати кратність піни залежно від динамічних змін робочих параметрів генеруючої установки.

Публікація [6] присвячена інженерним аспектам проектування систем CAFS, де основна увага приділяється гідродинамічним процесам в середині змішувальних камер. Робота обґрунтовує необхідність врахування стадій формування піни для створення надійних стаціонарних та мобільних систем пожежогасіння.

Фундаментальне дослідження [7] у якому детально відпрацьовано оптимальні рецептури піноутворювачів для отримання стійкої компресійної піни. Звіт містить результати численних лабораторних випробувань, що стали базою для подальшого впровадження технології CAFS в Україні.

Автори публікації [8] аналізують методики інтенсифікації гасіння твердих горючих матеріалів шляхом оптимізації структури компресійної піни. У статті доведено, що висока адгезійна здатність та змочувальна властивість піни дозволяють значно скоротити час ліквідації осередків пожеж класу А.

Експериментальне дослідження [9] зосереджене на визначенні фізичної стабільності та кратності піни, отриманої методом примусового нагнітання повітря. Автори надають порівняльну характеристику стійкості піни до руйнування, що є важливим для оцінки її вогнегасної тривалості.

Робота [10] досліджує специфіку застосування компресійної піни при реалізації «підшарового» способу гасіння, зокрема для резервуарів із паливом. Встановлено параметри спливання пінних мас та їх здатність до формування ізолюючого шару на поверхні дзеркала горіння в умовах протитиску.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою роботи є проведення системного аналізу світових науково-практичних підходів до генерації компресійної піни, а також виявлення їхніх конструктивних переваг, експлуатаційних недоліків та технологічних особливостей. На

основі отриманих результатів запропонувати ідею щодо інноваційного принципу формування компресійної піни, яка має велику універсальність та покращені показниками вогнегасної ефективності, а також експлуатаційні характеристики, що зумовлює перспективу його впровадження у сучасні системи протипожежного захисту.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано комплексний підхід, що базується на системному аналізі та узагальненні світового науково-практичного досвіду у сфері проектування систем CAFS. Зокрема метод системного огляду використано для критичної оцінки технічних недоліків сучасних вертикальних, коаксіальних та статичних змішувачів. методи фізичного моделювання, що лягли в основу розробки механізму гомогенізації суміші за рахунок кавітаційних процесів у мікрошарах та методи класифікації та порівняння, що дозволили обґрунтувати переваги використання адгезії та в'язкісного тертя над традиційними методами турбулізації потоку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Компресійна піна (Compressed Air Foam, CAF) - Двофазна високодисперсна газорідинна система, сформована в установках типу CAFS шляхом примусового турбулентного змішування водного розчину піноутворювача зі стисненим повітрям у замкнутому гідропневматичному середовищі, у результаті чого утворюється структурована піна з регульованими параметрами кратності, щільності, стабілізована поверхнево-активними речовинами.

Процес змішування повітряного потоку з водним розчином піноутворювача, а також конструктивне виконання та геометричні параметри камери в якій відбувається змішування є основними факторами у формуванні структури та вогнегасної ефективності компресійної піни.

За результатами узагальненого аналізу діючих способів змішування встановлено два основні принципи в

залежності від напрямку руху повітря, яке подається до розчину піноутворювача, а саме із вертикально орієнтованим введенням повітряного потоку та з коаксіальною схемою подачі [11-14].

Нижче наведені визначення, характеристики, принципи роботи, основних пінозмішувачів компресійної піни.

Принцип роботи вертикального перемішування у CAFS заключається в динамічному русі двофазного потоку в каналі з осьовою симетрією з переважно вертикальною орієнтацією, у якому розчин піноутворювача та стисненого повітря транспортується вздовж поздовжньої осі, а формування структури піни забезпечується контрольованими гідродинамічними механізмами [15].

Основними недоліками вертикального способу формування компресійної піни є обмежена інтенсивність турбулізації двофазного потоку, що за умов ламінарного руху може призводити до недостатньої гомогенізації та нерівномірної дисперсності бульбашок. Крім того, пряма вертикальна траєкторія вздовж поздовжньої осі мінімізує механічний вплив на фазову межу, що вимагає збільшення довжини змішувальної камери для досягнення стабільної кратності піни.

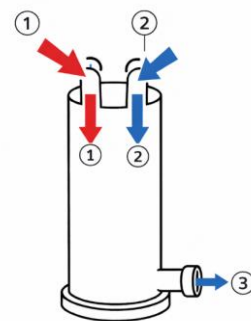


Рисунок 1 – Вертикальний пінозмішувач: 1 - піноутворювач; 2-стиснене повітря; 3 - вихід готової компресійної піни

Коаксіальний пінозмішувач у CAFS працює за принципом осьового підведення однієї фази розчину піноутворювача через центральний канал та подачі стисненого повітря через кільцевий міжтрубний простір з подальшою радіальною

інжекцією повітря в рідинний потік. У зоні змішування відбувається інтенсивне розсіювання повітря в рідині, формування газорідинної структури та стабілізація піни перед її виходом із змішувача[12, 13].

Основним недоліком коаксіальної схеми є виникнення значних градієнтів тиску, що спричиняє нерівномірне насичення центральної частини рідинного потоку повітряною фазою. Такий механізм змішування зумовлює високу чутливість системи до коливань витрат компонентів, що за певних гідравлічних режимів призводить до пульсацій тиску та утворення піни з нестабільними показниками кратності.

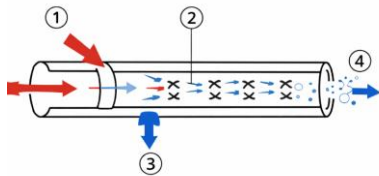


Рисунок 2 – Коаксіальний пінозмішувач: 1-піноутворювач; 2-стиснене повітря; 3-зона змішування; 4- вихід готової компресійної піни

Конструктивне виконання Т-подібного пінозмішувача характеризується простотою будовою та мінімальною кількістю функціональних елементів, значною перевагою є зручність технічного обслуговування та експлуатації.

Недоліком Т-подібної схеми є виникнення суттєвої асиметрії поля швидкостей у зоні зіткнення фаз, що призводить до нерівномірного розподілу газової складової за перерізом змішувальної камери. Такий механізм інжекції спричиняє зростання гідравлічного опору та сприяє утворенню великодисперсної структури піни через недостатню площу контакту фаз.

Процес змішування в Т-подібному пінозмішувачі може реалізовуватися за кількома конструктивними схемами. У першому варіанті [16] стиснене повітря подається єдиним потоком через окремих канал, при цьому механізм формування

піни класифікується, як схема повітря зовні, а рідина всередині, що відображає характер взаємодії фаз у зоні контакту. На рисунку 3 зображена така схема.

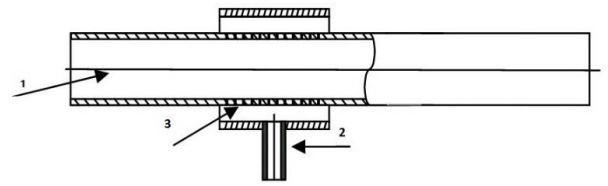


Рисунок 3 – Схема перемішування типу «Повітря зовні, рідина всередині»: 1 – трубопровід для розчину піноутворювача; 2 – трубопровід для стисненого повітря; 3 – отвори для входу повітря у трубопровід з розчином ПУ

Інший варіант Т-подібної схеми змішування [12, 13] передбачає подавання стисненого повітря не суцільним потоком через один отвір, як у попередньому випадку, а через велику кількість малих отворів. Це забезпечує збільшення кількості зон контакту повітря з водним розчином піноутворювача та інтенсифікує процес масообміну. Такий спосіб сприяє більш рівномірному перемішуванню пінозмішувача з повітрям та підвищує ефективність формування необхідної суміші.

У зазначеній конфігурації повітря подається вертикально через окремих трубопровід, інтегрований у нижню частину пінозмішувача, де відбувається процес змішування. Кінець трубопроводу герметично заглушений, а по його довжині виконано низку малих перфораційних отворів, через які здійснюється дисперсне введення повітря в рідинне середовище. На рисунку 4 наведено Схему процесу перемішування з введенням трубопроводу на центральній осі, а на рисунку 5 зображено схему змішування у якому трубопровід розміщено під кутом.

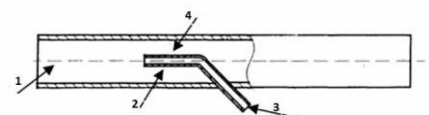


Рисунок 4 – Схема змішування на осі: 1 – трубопровід для розчину піноутворювача; 3 – трубопровід для стисненого повітря; 2, 4 – маленькі отвори для входу повітря у трубопровід з розчином ПУ

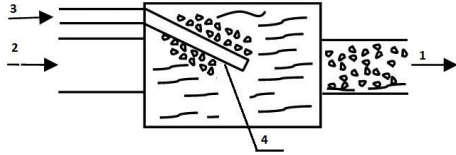


Рисунок 5 – Схема змішування під кутом:
1 – вихід готової піни; 2 – трубопровід для стисненого повітря; 3 – трубопровід для розчину піноутворювача; 4 – отвори для контакту повітря з розчином ПУ

Ще одним способом є утворення піни, що відбувається внаслідок проходження суміші стисненого повітря та розчину піноутворювача крізь пористі структури або інші елементи, розміщені у статичних змішувачів. На рисунках 6-9 подано приклади статичних змішувачів різних конструктивних виконань, що можуть застосовуватися для утворення компресійної піни [14, 17-19].



Рисунок 6 – Змішувач з нерегулярними насадковими елементами



Рисунок 7 – Змішувач з гвинтовими елементами



Рисунок 8 – Змішувач з елементами гофрованих пластин [19]



Рисунок 9 -Тип конструкцій з лезами

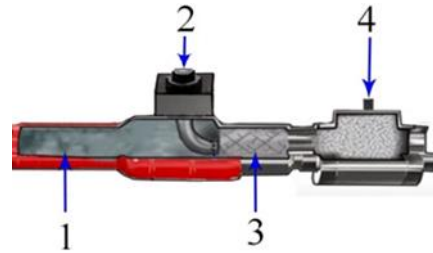


Рисунок 10 – Механізм формування компресійної піни за допомогою статичного змішувача 1– розчин піноутворювача; 2 – отвір для подачі повітря; 3 – статичний змішувач; 4 – готова компресійна піна [20]

Пристрій для генерування піни [21], на рисунку 11 забезпечує високоякісне перемішування розчину і повітря для отримання піни без обмеження потоку рідини через пристрій.

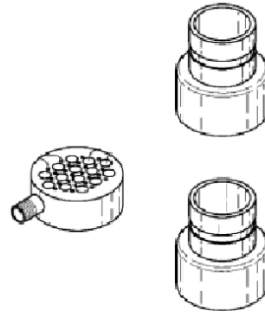


Рисунок 11 – Пристрій для генерування піни

Повітряний колектор має канали, через які проходить потік води або розчину, а також має отвори, які вводять стиснене повітря паралельно потоку води або розчином, що вводиться у вихідну камеру.

Площа поперечного перерізу проходів, щонайменше, така ж, як і вхід для води або розчину тому пристрій не обмежує потік рідини навіть у тому випадку, коли потрібно прямий потік води або розчину без змішаного повітря.

Черговий варіант [22] на рисунках 12 та 13 пропонує пристрій формування бульбашок, який генерує бульбашки шляхом змішування повітря з сумішшю води з піноутворювачем та забезпечує подальший потік бульбашок через сопло. Винахід включає корпус, який має передню кришку і задню кришку, з'єднану з передньою кришкою. Передня кришка має сопло, яке має прохід. Задня кришка

закриває певний простір через який транспортується вироблена піна. З'єднувальна трубка з'єднана із задньою кришкою і має наскрізний отвір.

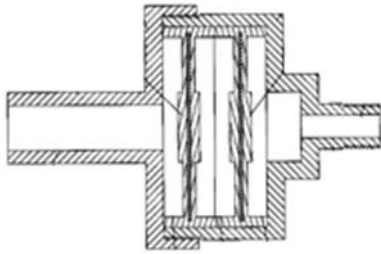


Рисунок 12 – Пристрій для формування бульбашок (1)

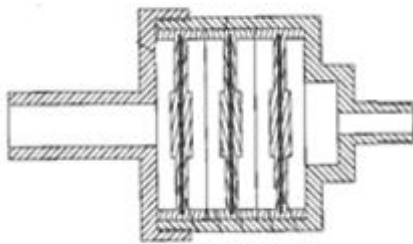


Рисунок 13 – Пристрій для формування бульбашок (2)

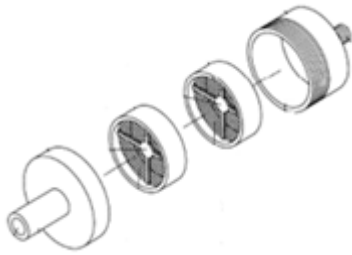
Сполучна трубка має різьбу для з'єднання з розпилювачем. Блок формування бульбашок має перший сітчастий елемент і другий сітчастий елемент, обидва з яких розташовані у просторовому об'ємі. Кожен з першого і другого елементів сітки має направляючу пластину, розташовану перпендикулярно потоку, щоб направляти повітря для радіального розширення.

Порожнина, в якій розташовані елементи генерації піни, забезпечується пониженим тиском завдяки розширенню газорідної суміші. Бульбашки генеруються першим та другим сітчастими елементами.

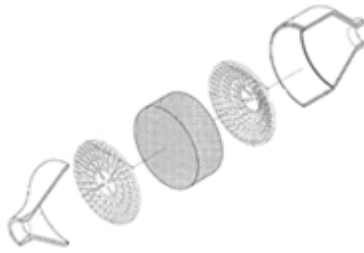
Є низка конструктивних рішень з певними недоліками, яких слід уникати. Наприклад, широко розповсюдженої конструкцією є пристрої для створення

пневматичного створення піни, що пов'язані з пістолетом високого тиску де піноутворюючий засіб перетворюється в туман, який всмоктується в пристрій с подальшим утворенням бульбашок. Пристрій генерування бульбашок включає в себе губки або неткані тканини, які мають в собі кілька отворів, піноутворюючий засіб, що проходить через губку або неткані тканини для отримання бульбашок, які потім розпилюються під високим тиском. Однак генерація бульбашок не виконується, тому що отвори розташовані випадковим чином, а зламані бульбашки і туман залишають значну кількість піноутворювача в отворах, і піноутворюючий засіб тече між отворами і утворюючи бульбашкову плівку з іншим детергентом в інших отворах. Плівка вдувається в бульбашки, які легше повітря, так що бульбашки доставляються на велику відстань. Піноутворюючий засіб розпорошується повітряним потоком високого тиску і утворює крихітні бульбашки. Маленькі бульбашки легко випаровуються і ламаються, тому вони не прикріплюються до об'єктів пожежогасіння. Губки, неткані тканини або деформуються ударом потоків високого тиску або неткані тканини роблять отвори нерівними, які впливають на потік повітря і піноутворюючого засобу. Крім того, губки або неткані тканини легко зношуються і не можуть бути повністю очищені. Губки або неткані тканини поступово перетворюються на шматки, які не можуть утворити достатню кількість бульбашок. Таких конструктивних рішень необхідно уникати.

У наступному варіанті рисунку 14 розкрита система створення піни зі стисненим повітрям CAFS, що містить контролер системи, призначений для управління клапаном-регулятором витрати повітря в залежності від сигналів, які забезпечуються витратоміром води і витратоміром повітря, з метою збереження співвідношення між потоком повітря і потоком піни на підставі введення їх співвідношення, регульованого користувачем.



а – склад генератора



б – приклад розташування сіток генератора

Рисунок 14 – Схема розташування елементів утворення бульбашок

Провівши детальний аналітичний огляд [4-10] оцінивши переваги та недоліки існуючих принципів формування компресійної піни запропоновано інноваційну технологію генерування компресійної піни, в основу якої покладено принципи безлопатевого нагнітання та перемішування, аналогічні роботі турбіни Н. Тесли, що теоретично повинно усунути один із характерних недоліків існуючих прототипів – покращити витратні характеристики генераторів компресійної піни та зробити застосовування його у стаціонарних системах пожежогасіння. Конструктивне виконання пристрою (рисунок 15) передбачає формування пінної структури у замкненому об'ємі робочої камери, де замість традиційних крильчаток застосовано систему перфорованого барабана.

Механізм піноутворення базується на використанні ефектів адгезії та в'язкості рідини у граничному шарі під час високошвидкісного обертання робочого барабана виникає передача кінетичного імпульсу від поверхні металу до наступних шарів робочого розчину. Це спричиняє інтенсивну турбулізацію та кавітаційне подрібнення повітряно-рідинної суміші у

мікрошарах, що забезпечує високий ступінь гомогенності компресійної піни.

Застосування даного підходу дозволить мінімізувати гідравлічні втрати енергії та досягти високої продуктивності системи. До вагомих експлуатаційних переваг розробленого піногенератора слід віднести його конструктивну універсальність, масогабаритну мобільність та можливість інтеграції, як у переносні, так і у стаціонарні вузли протипожежного захисту.

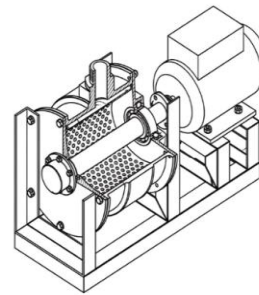


Рисунок 15 – Перфорований барабан для генерації компресійної піни

Висновки та напрями подальших досліджень:

У результаті проведеного аналітичного огляду механізмів формування компресійної піни зроблено такі висновки:

1. Виявлено недоліки сучасних систем CAFS, підвищення якості піни у статичних змішувачах зазвичай призводить до зростання гідравлічного опору системи, що обмежує дистанцію подачі вогнегасної речовини. Доведено, що використання сітчастих або пористих елементів часто призводить до їх швидкого зносу та деформації під дією високого тиску, що погіршує стабільність кратності піни.

2. Теоретично обґрунтовано та запропоновано інноваційний принцип формування компресійної піни на основі використання ефектів адгезії та в'язкісного тертя у граничному шарі. Запропонована конструкція з перфорованим барабаном, що дозволяє замінити механічне

перемішування процесом передачі кінетичного імпульсу в мікросферах рідини.

3. Встановити параметри технічних засобів генерації компресійної піни принцип яких полягає у в'язкості, адгезії та терті у граничному шарі та критерії, які обумовлюють їх вплив на витратні характеристики технічних засобів генерації компресійної піни.

4. Розробити математичні моделі, які описують функціонування технічних засобів генерації компресійної піни принцип роботи яких полягає у в'язкості, адгезії та терті у граничному шарі.

Провести дослідження закономірності витратних характеристик компресійної піни від параметрів технічних засобів її генерації.

5. Розробити методику експериментальних досліджень та провести перевірку розроблених математичних моделей.

6. Розробити технічні вимоги для засобів генерації компресійної піни принцип роботи яких полягає у в'язкості, адгезії та терті у граничному шарі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про визначення загально-світових підходів до класифікаційних вимог щодо пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів / С. В. Семичаєвський, В. В. Присяжнюк, М. Л. Якіменко, М. В. Осадчук, В. В. Свірський, К. Г. Белікова. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2025. № 1 (19). С. 44–52.
2. ДСТУ 3789:2015. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування. [Чинний від 2015–07–01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 28 с.
3. ДСТУ EN 1568-3:2018. Речовини вогнегасні. Піноутворювачі. Частина 3. Технічні вимоги до піноутворювачів низької кратності для поверхневого гасіння рідин, що не змішуються з водою. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 32 с.
4. Осадчук М. В. Про способи одержання та перспективи використання компресійної піни. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2025. № 2 (20). С. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.52363/nvcz.2025.2.31-39>.
5. Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни / А. І. Кодрик, О. Ф. Нікулін, О. М. Тітенко, С. М. Шахов, О. В. Куртов. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 1. С. 54–63.
6. Виноградов С. А., Кодрик А. І., Тітенко О. М. Проектування систем компресійної піни з урахуванням процесів її формування. *Проблеми надзвичайних ситуацій*: зб. матеріалів доп. Міжнар. наук.–практ. конф. Харків: НУЦЗУ, 2020. С. 192–193.
7. Провести пошукові дослідження з відпрацювання складу вогнегасної речовини у вигляді компресійної піни: звіт про науково-дослідну роботу / УкрНДНЦ. Київ, 2018. 259 с.
8. Шахов С. М., Виноградов С. А., Грищенко Д. В. Аналіз способів підвищення вогнегасної ефективності компресійної піни при гасінні твердих горючих речовин. *Municipal economy of cities. Series: «Economy science»*. 2023. Вип. 1 (175). С. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-151-159>.
9. Дослідження стійкості та кратності компресійної піни / N. Velykyi, V. Kovalyshyn, T. Voitovych, P. Pastukhov. *Пожежна безпека*. 2023. № 43. С. 34–40.
10. Дослідження параметрів компресійної піни при подаванні «підшаровим» способом / V. V. Kovalyshyn, N. R. Velykyi, V. V. Kovalyshyn, A. S. Lyn, P. V. Pastukhov, A. Y. Velykyi. *Пожежна безпека*. 2024. № 45. С. 10–17.
11. Herrick B. J., Baxter M. D. Compressed air foam generator: Pat. US 6276459 B1. 2001.
12. Chu Yingxia. A Experimental study on The Dependent Relationship of Flow Parameters and foam Pattern in CAFS: Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2005. 35 p.
13. Lin Lin. Property characterization and fire extinguishing efficiency study of the multi-component compressed air foam: Thesis. Beijing: University of Science and Technology of China, 2007. 168 p.
14. Xue Lin. Water-saving and high efficiency firefighting equipment and application technology research: Thesis. Shanghai: Shanghai Fire Research Institute, 2008. 31 p.
15. Deshpande N. S., Barigou M. The flow of gas-liquid foams in vertical pipes. *Chemical Engineering Science*. 2000. Vol. 55, Is. 19. P. 4297–4309. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00073-7).
16. Laskaris M. A., Sulmone M. Compressed air foam systems: Pat. US 6357532 B1. 2002.
17. Грицина І. М., Грицина Н. І., Левтеров О. А. Схема отримання КП та диспергованої води. *Проблеми пожежної безпеки*. 2016. Вип. 39. С. 78–83.
18. Myers K. J., Bakker D. R. Avoid agitation by selecting static mixers. *Chem Eng Prog*. 1997. Vol. 6. P. 28–38.
19. Taysher W., Mathys P. Paper presented at the first European Conference of Mixing and Centrifugal Separation. Cambridge, England, 1974.
20. Шахов С. М. Використання статичних змішувачів у системах подачі компресійної піни. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: зб. матеріалів доп. IX Міжнар. наук.–практ. конф. Черкаси: ЧПБ, 2018. С. 144–145.
21. Krüger T., Dorau G. Method and arrangement for producing compressed air foam for fire-fighting and decontamination: Pat. WO 2006000177 A3. 2006.
22. Carroll G. High flow rate foam generating apparatus: Pat. US 8919745 B1. 2012.

REFERENCES

1. Semychaievskiy, S., Prisyazhniuk, V., Yakimenko, M., Osadchuk, M., Svirskiy, V., & Bielikova, K. (2025). Pro vyznachennia zahalno-svitovykh pidkhodiv do klasyfikatsiinykh vymoh shchodo pozhezhnykh ta avariino-riatuvalnykh avtomobiliv [On the definition of global approaches to classification requirements for fire and rescue vehicles]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(19), 44–52.
2. DSTU 3789:2015. (2015). *Pinoutvoriuvachi dlia hasinnia pozhezh. Zahalni tekhnichni vymohy i metody vyprobuvannia* [Foaming agents for fire fighting. General technical requirements and test methods]. Kyiv: DP «UkrNDNTS».
3. DSTU EN 1568-3:2018. (2018). *Rechovyny vohnehasni. Pinoutvoriuvachi. Chastyna 3. Tekhnichni vymohy do pinoutvoriuvachiv nyzkoj kratnosti dlia poverkhnevoho hasinnia ridyn, shcho ne zmishuiutsia z vodoiu* [Fire extinguishing media. Foam concentrates. Part 3. Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids]. Kyiv: DP «UkrNDNTS».
4. Osadchuk, M. V. (2025). Pro sposoby oderzhannia ta perspektyvy vykorystannia kompresiinoi piny [On the methods of obtaining and prospects of using compressed air foam]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2(20), 31–39. <https://doi.org/10.52363/nvcs.2025.2.31-39>.
5. Kodryk, A. I., Nikulin, O. F., Titenko, O. M., Shakhov, S. M., & Kurtov, O. V. (2019). Zalezhnist vlastyivostei kompresiinoi piny vid robochykh parametriv protsesu heneruvannia piny [Dependence of compressed air foam properties on the operating parameters of the foam generation process]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, (1), 54–63.
6. Vynohradov, S. A., Kodryk, A. I., & Titenko, O. M. (2020). Proektuvannia system kompresiinoi piny z urakhuvanniam protsesiv yii formuvannia [Designing compressed air foam systems taking into account the processes of its formation]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 192–193. Kharkiv: NUTSU.
7. UkrNDITSZ. (2018). *Provesty poshukovi doslidzhennia z vidpratsiuvannia skladu vohnehasnoi rechovyny u vyhladi kompresiinoi piny: zvit pro naukovo-doslidnu robotu* [Conduct search research on working out the composition of the fire extinguishing substance in the form of compressed air foam: report on research work]. Kyiv.
8. Shakhov, S. M., Vynohradov, S. A., & Hryshchenko, D. V. (2023). Analiz sposobiv pidvyshchennia vohnehasnoi efektyvnosti kompresiinoi piny pry hasinni tverdykh horiuchykh rechovyn [Analysis of ways to increase the fire-extinguishing efficiency of compressed air foam when extinguishing solid combustible substances]. *Municipal Economy of Cities. Series: «Economy Science»*, 1(175), 151–159. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-151-159>.
9. Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovykh, T., & Pastukhov, P. (2023). Doslidzhennia stiikosti ta kratnosti kompresiinoi piny [Research of stability and expansion ratio of compressed air foam]. *Pozhezhna bezpeka*, 43, 34–40.
10. Kovalyshyn, V. V., Velykyi, N. R., Kovalyshyn, V. V., Lyn, A. S., Pastukhov, P. V., & Velykyi, A. Y. (2024). Doslidzhennia parametriv kompresiinoi piny pry podavanni «pidsharovym» sposobom [Research of parameters of compressed air foam when feeding by "sublayer" method]. *Pozhezhna bezpeka*, 45, 10–17.
11. Herrick, B. J., & Baxter, M. D. (2001). *Compressed air foam generator* (U.S. Patent No. 6,276,459). U.S. Patent and Trademark Office.
12. Chu, Y. (2005). *A Experimental study on the dependent relationship of flow parameters and foam pattern in CAFS* (Master's thesis). Beijing Forestry University, Beijing.
13. Lin, L. (2007). *Property characterization and fire extinguishing efficiency study of the multi-component compressed air foam* (Doctoral dissertation). University of Science and Technology of China, Beijing.
14. Xue, L. (2008). *Water-saving and high efficiency firefighting equipment and application technology research* (Technical report). Shanghai Fire Research Institute, Shanghai.
15. Deshpande, N. S., & Barigou, M. (2000). The flow of gas-liquid foams in vertical pipes. *Chemical Engineering Science*, 55(19), 4297–4309. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00073-7).
16. Laskaris, M. A., & Sulmone, M. (2002). *Compressed air foam systems* (U.S. Patent No. 6,357,532). U.S. Patent and Trademark Office.
17. Hrytsyna, I. M., Hrytsyna, N. I., & Lievtierov, O. A. (2016). Skhema otrymannia KP ta dysperhovanoi vody [Scheme for obtaining CAF and dispersed water]. *Problemy pozharnoi bezopasnosti*, (39), 78–83.
18. Myers, K. J., & Bakker, D. R. (1997). Avoid agitation by selecting static mixers. *Chemical Engineering Progress*, 6, 28–38.
19. Taysher, W., & Mathys, P. (1974, September 9–11). *Paper presented at the first European Conference of Mixing and Centrifugal Separation*. Cambridge, England.
20. Shakhov, S. M. (2018). Vykorystannia statychnykh zmishuvachiv u syste makh podachi kompresiinoi piny [Use of static mixers in compressed air foam supply systems]. In *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii: materialy IX Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (pp. 144–145). Cherkasy: CHIPB.
21. Krüger, T., & Dorau, G. (2006). *Method and arrangement for producing compressed air foam for fire-fighting and decontamination* (International Patent No. WO 2006000177 A3). World Intellectual Property Organization.
22. Carroll, G. (2012). *High flow rate foam generating apparatus* (U.S. Patent No. 8,919,745). U.S. Patent and Trademark Office.

CURRENT STATE OF RESEARCH ON METHODS AND DEVICES FOR COMPRESSION FOAM GENERATION

M. Osadchuk

Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Ukraine

KEYWORDS:

fire extinguishing agents, foam proportioner, hydrodynamics, compression foam, prospects for use, methods of production

ABSTRACT

This article presents a comprehensive, systematic analytical review of the most widely used scientific and applied approaches to the process of compressed foam formation in CAFS (Compressed Air Foam Systems). The design features and fundamental hydrodynamic principles of operation of the main types of foam mixing devices used in modern firefighting technologies are analyzed in detail. In particular, vertical, coaxial, and T-shaped mixers are examined, as well as static systems equipped with various types of nozzle elements. The study identified and systematized the key technical shortcomings of existing solutions, including significant hydraulic resistance in static systems, accelerated mechanical wear of mesh elements, and a tendency toward clogging. These factors significantly limit the stability of the physicochemical parameters of the compression foam, its expansion ratio, and the maximum effective delivery distance of the fire extinguishing agent. Based on the results of the analysis, this paper provides a theoretical justification for an innovative principle of blade-less compression foam generation. The proposed method is based on the use of adhesion and friction effects in the boundary layer of the working medium, implemented by analogy with the operating principle of Nikola Tesla's turbine. This approach is unique in the field of fire safety, as it minimizes mechanical impact on the structure of the compression foam during its formation. The article describes the physical mechanism of operation of the perforated drum design. It has been established that this configuration ensures a high degree of homogeneity of the fire-extinguishing agent due to cavitation-induced fragmentation of the mixture in the micro-layers between the discs, walls, and in the perforation holes. The key operational advantages of the developed technology have been identified, including minimal hydraulic losses, increased reliability due to the absence of complex blade mechanisms, and design versatility. The research results confirm the possibility of effectively integrating the proposed generators into mobile firefighting units and stationary automatic fire protection systems for critical infrastructure facilities, warehouse complexes, and petrochemical industry enterprises. This work opens up new prospects for the creation of next-generation equipment for extinguishing Class A and B fires.