СИСТЕМИ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ (CAFS)

Нове покоління технологій пожежогасіння

Науково-технічні основи, термодинаміка мікробульбашок, тактичне застосування та експлуатаційна безпека

⚡ Термоізоляційний шар | Міжнародні стандарти



АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ

Криза традиційного водяного пожежогасіння

Чому подача великих об'ємів води не гарантує швидкого результату?

80–85% води стікає марно

Під дією сили тяжіння водяний струмінь падає на підлогу за кілька секунд. Вода не встигає нагрітися до температури пароутворення (100°C), через що її реальний охолоджувальний ККД складає лише 15–20%.

Колосальне фізичне навантаження

Рукавна лінія діаметром 45 мм, наповнена водою, важить близько 1.6 кг на метр. 30 метрів лінії — це понад 50 кг важкої води. Ствольщики швидко виснажуються на сходових клітинах.

Вторинні збитки від затоплення

У багатоквартирних будинках, бібліотеках, музеях та на промислових складах збитки від пролитої води часто перевищують шкоду від безпосереднього вогню.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТЕСТ

Поведінка речовин на вертикальній площині

Звичайна вода стікає на підлогу, тоді як піна формує нерухомий теплоізоляційний екран



Вода: нульова адгезія

Вода не тримається на вертикальних стінах, стелях та балках. Вона стікає вниз струмками, оголюючи розжарене дерево та продовжуючи доступ кисню.

Піна CAFS: міцне зчеплення

Завдяки поверхневому натягу та плівковій структурі піна міцно налипає на будь-які поверхні, утворюючи однорідний шар товщиною до 3–5 см.

Ефект теплового щита

Білий колір та щільна мікропориста структура відбивають променисте тепло полум'я, захищаючи сусідні не палаючі конструкції від самозаймання.

ПРИНЦИПОВА СХЕМА

Технологічний процес утворення компресійної піни

На відміну від ежекції біля ствола, стиснене повітря подається в колектор автоцистерни



Ключова особливість: Повітря впорскується під тиском компресора (7–10 бар)

Вода, піноутворювач (0.3–1.0%) та стиснене повітря змішуються ще на насосній станції. Рукавна лінія транспортує готову піну під тиском, а не важку рідину.

ФІЗИКА ГЕНЕРАЦІЇ

Рукавна лінія як реактор-генератор мікробульбашок

Чому для системи CAFS не потрібні спеціальні сітки та насадки на стволі?

1. Впорскування у колектор

Компресор нагнітає стиснене повітря у водний розчин концентрату. На початковому етапі повітря рухається великими газовими включеннями.

2. Подрібнення силами зсуву

Під час руху рукавом турбулентний потік і сили тертя об внутрішні стінки розбивають великі повітряні бульбашки на мільйони мікроскопічних частинок однакового розміру.

3. Формування стійкої структури

На виході з рукава розчин повністю перетворюється на однорідну, монодисперсну пінну матрицю з надзвичайно високою стабільністю плівок.

4. Вільний вихід через ствол

Оскільки піна вже сформована в рукаві, на стволі використовується звичайний кульовий кран без будь-яких ейжекторів чи сіток, що забезпечує максимальну дальність струменя.

МІКРОСТРУКТУРА

Будова мікробульбашок та канали Плато

Макрофотографія пінного шару CAFS на обвугленій поверхні деревини



Однорідний калібр бульбашок

Усі бульбашки мають однаковий мікроскопічний радіус. Це вирівнює тиск Лапласа між ними та виключає їх швидке злиття (дифузійний розпад).

Канали Плато (Plateau borders)

Вода утримується в тонких мікрокапілярах між стінками бульбашок. Сили поверхневого натягу перемагають гравітацію, утримуючи вологу від передчасного витікання.

Плавний контрольований дренаж

Вода виділяється з піни поступово, рівномірно зволожуючи деревину і не стікаючи на підлогу, що забезпечує тривалий захист від повторного займання.

ТЕРМОДИНАМІКА

Повний відбір теплової енергії осередку

Як перетворити кожен мілілітр води на охолоджувальну пару

1. Колосальна питома площа поверхні

Один літр води у формі компактного струменя має площу контакту менше 0.2 м². Той самий літр, перетворений на мікробульбашкову піну CAFS, розгортається на площу понад 300–500 м²! Площа теплопередачі зростає в тисячі разів.

2. 100% реалізація прихованої теплоти пароутворення

Прихована теплота пароутворення води величезна — 2.26 МДж/кг (найвища серед усіх рідин). Оскільки плівки бульбашок надзвичайно тонкі, вся вода моментально прогрівається до 100°C і перетворюється на пару, відбираючи максимум тепла від палаючого матеріалу.

3. Тривожне витіснення кисню парою

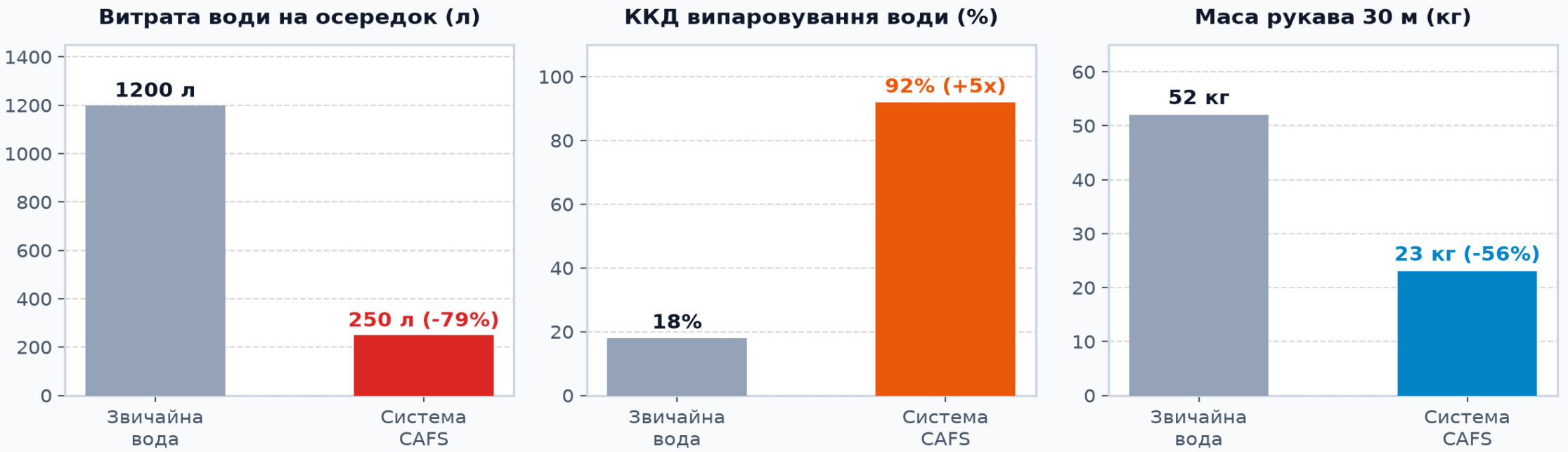
Один літр випаруваної води розширюється приблизно у 1700 разів, утворюючи пару, яка витісняє кисень безпосередньо з зони тління та піролізу, блокуючи реакцію окиснення.

ЕМПІРИЧНІ ПОКАЗНИКИ

Порівняльна статистика: Звичайна вода проти CAFS

Результати натурних вогневих випробувань пожежно-рятувальних служб

Порівняння тактико-технічних показників: Вода проти CAFS



Економія води: майже у 5 разів
250 л піни замінюють 1200 л чистої води

⚡ ККД охолодження: 92% проти 18%
Майже повна ліквідація баластного стікання

Маса рукава 30 м: 23 кг замість 52 кг
Зниження навантаження на серце ствольщика

ТАКТИЧНИЙ РЕЖИМ 1

Мокра компресійна піна для прямої атаки

Основна робоча консистенція для гасіння внутрішніх осередків пожежі ланкою ГДЗС



Характеристики мокрої піни

- Кратність розширення: від 4:1 до 8:1
- Консистенція: текуча, високорухлива, насичена водою
- Подача: компактний далекобійний струмінь

Глибоке проникнення в матеріали

Завдяки зниженому поверхневому натягу розчин миттєво проникає всередину тліючої деревини, пресованого паперу, вугілля, меблів та тюків з текстилем.

Швидке збивання полум'я

Потужний гідравлічний імпульс суміші швидко збиває видиме полум'я, а випаровування води локально охолоджує зону горіння без затоплення підлоги.

ТАКТИЧНИЙ РЕЖИМ 2

Суха компресійна піна для захисту конструкцій

Створення стійкого теплоізоляційного шару на стінах, покрівлях та вікнах сусідніх споруд



Характеристики сухої піни

- Кратність розширення: від 10:1 до 25:1 і вище
- Консистенція: густа, нагадує крем для гоління
- Мала вага та максимальний вміст повітря

Екстремальна стійкість та адгезія

Шар піни товщиною 5–10 см впевнено тримається на вертикальній дерев'яній вагонці, скляних фасадах і металочерепиці від 30 до 45 хвилин без сповзання.

Захист від променистого тепла

При загрозі перекидання вогню від сусіднього палаючого будинку або лісової пожежі суха піна відбиває тепловий потік, запобігаючи займанню стін.

ЕРГОНОМІКА РЯТУВАЛЬНИКІВ

Оперативна мобільність та тактичні переваги

Як зниження ваги обладнання підвищує швидкість та безпеку операцій

Мобільність на сходових клітинах

Зниження ваги рукава на 50–60% дозволяє ланці швидко підніматися на верхні поверхи висотних будівель без ризику передчасного теплового виснаження та зневоднення бійців.

Збільшена дальність компактного струменя

Енергія стисненого повітря у лінії розганяє струмінь піни на значно більшу відстань, ніж у традиційних водяних стволів. Ствольщик може працювати з безпечної позиції за межами зони обвалу.

Зменшення потреби у підвезенні води

Одна автоцистерна місткістю 4–5 тонн забезпечує повноцінну бойову атаку осередку тривалістю до 20–25 хвилин, виключаючи панічні перерви на заправку від гідрантів.

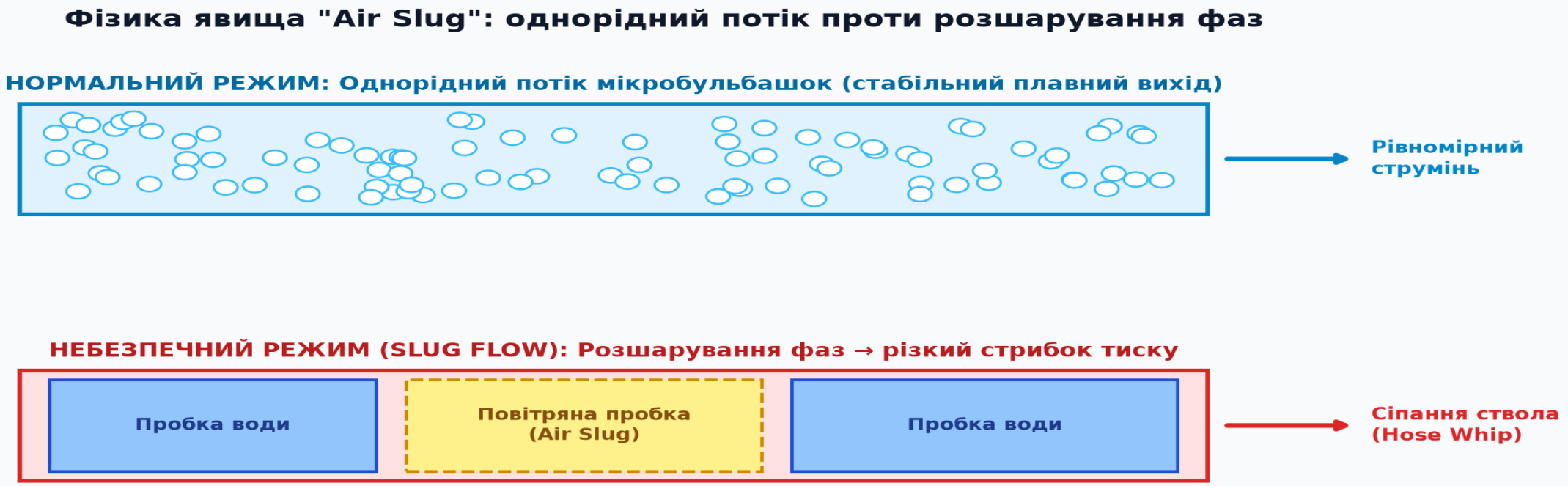
Збереження майна та конструкцій

Після ліквідації вогню піна висихає практично без залишку. Відсутність басейнів стічної води дозволяє зберегти перекриття будівель від прогинання та обвалу під вагою води.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Небезпека повітряних пробок (Air Slug) та сіпання ствола

Фізика розшарування фаз і чому системи вимагають автоматичного балансування тиску



⚠ Запобігання гідропневматичному удару (Hose Whip)

Якщо тиск повітря перевищує тиск води, утворюється розрив потоку. Коли повітряна пробка вилітає з сопла, за нею слідує важка маса води з різким поштовхом. Для захисту ствольщиків сучасні системи обладнані клапанами Auto-Balance.

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Висновки інституту NIST: небезпека загального спалаху

Аналіз дослідження NIST Technical Note 1927 щодо поведінки гарячого димового шару

Суха піна не осаджує гази під стелею

Наукові тести NIST довели: суха компресійна піна через низьку густину та високий вміст повітря не здатна ефективно охолоджувати перегрітий димовий шар піролізних газів під стелею приміщення.

Загроза явища Flashover (загальний спалах)

Якщо ланка застосовує суху піну у закритій кімнаті, гази під стелею можуть досягти критичної температури самозаймання (600°C), що призведе до миттєвого загального спалаху.

Золоте правило тактики внутрішньої атаки

Для роботи всередині приміщень дозволено використовувати ВИКЛЮЧНО мокру піну (Wet CAFS) або комбіноване імпульсне водяне розпилення для охолодження газового простору над головами бійців.

ОБЛАДНАННЯ ТА СТАНДАРТИ

Сучасні пожежні автоцистерни та нормативна база

Вимоги стандартів NFPA 1900 та EN 16327 до систем компресійної піни



Стандарт NFPA 1900 (США)

Зведений північноамериканський стандарт для пожежних авто. Вимагає обов'язкової автоматичної системи балансування тиску та захисту оператора від перевищення пневматичного тиску.

Європейський норматив EN 16327

Спеціальний стандарт ЄС для систем CAFS. Регламентує 25% час дренажу рідини (T25), однорідність бульбашок та міцність з'єднань під впливом стисненого повітря.

Цифрові сенсорні пульти керування

Сучасні автоцистерни оснащені електронними блоками, які автоматично підтримують задане оператором співвідношення повітря та піноутворювача при зміні витрати.

ІНДУСТРІЯ ТА БРЕНДИ

Гасіння складних промислових об'єктів та світові лідери

Застосування на трансформаторних підстанціях та ключові світові виробники



One Seven (Німеччина)

Технологічний лідер у сфері ультратонких мікробульбашок. Дозування концентрату всього 0.3%. Офіційно сертифіковано для гасіння електроустановок під напругою до 100 кВ (з безпечної дистанції від 4 м).

Rosenbauer (Австрія)

Серії CONTI CAFS та POLY CAFS. Повна інтеграція в шасі важких міських машин AT та аеродромних велетнів Panther. Максимальна надійність в екстремальних умовах.

Waterous та Hale (США)

Патентовані автоматичні системи захисту від повітряних пробок (Auto-Balance) та потужні гвинтові компресорні агрегати з масляним охолодженням.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ

CAFS трансформує гасіння з 'боротьби масою води' у високоточну інженерну технологію

1. Множення бойової сили гарнізону

Одна автоцистерна із системою CAFS за запасом вогнегасної здатності дорівнює чотирьом звичайним машинам. Це ідеальне рішення для сільських районів, лісів та об'єктів без розвиненого водогону.

2. Збереження життя та здоров'я особового складу

Зменшення ваги рукавів береже серце та сили бійців для швидкого порятунку потерпілих, а робота з безпечної відстані знижує травматизм від будівельних обвалів.

3. Критичний фактор — професійна підготовка

Висока технологічність потребує кваліфікованих операторів. Необхідно впроваджувати регулярні тренінги з вибору режимів піни та правил запобігання повітряним пробкам.