

*В. М. Баланюк, канд. техн. наук, Ю. О. Копистинський, О. І. Лавренюк, канд. техн. наук  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ВОГНЕГАСНОЮ АЕРОЗОЛЬНОЮ РЕЧОВИНОЮ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ**

В роботі наведено результати експериментів з визначення концентрації аерозолі ( $C_a$ ) та відстані ( $L$ ) при застосуванні ударної хвилі. Показано взаємодію газової ударної хвилі, аерозолі та полум'я. Розглянуто особливості гасіння газовою ударною хвилею на відстані до 3 метрів при різних концентраціях від  $11,4 \text{ г/м}^3$  і до  $19,2 \text{ г/м}^3$  в реальних умовах. Обґрунтовано та експериментально підтверджено, що застосування газової ударної хвилі підвищує ефективність гасіння аерозолевою речовиною за рахунок накладання ударних хвиль та збільшенню кінцевого тиску ударних хвиль.

**Ключові слова:** вогнегасний аерозоль, вогнегасна ефективність, газова ударна хвиля.

**Постановка проблеми.** Для підвищення ефективності гасіння дисперсними системами застосовуються вибухи, а власне ударні хвилі, які утворюються в результаті вибуху. Такий метод гасіння передбачає вибух заряду вибухової речовини та в основному вогнегасного порошку. Це призводить до вибухового розпилення речовини та швидкого придушення горіння у напрямі поширення ударної порошкової хвилі. Але такі способи гасіння горіння пропонуються під час гасіння в основному лісових пожеж, складів пило- та лісоматеріалів, складів з боєприпасами, які розташовані на відкритій місцевості. Застосування ударних хвиль в замкнутих об'ємах дало б набагато більший вогнегасний ефект при попередньому заповненні об'єму вогнегасною речовиною певної тривалості дії до вогнегасної концентрації. Найкраще для цього підходить вогнегасний аерозоль на основі неорганічних солей калію, а додаткове застосування ударних хвиль при цьому призвело б до значного підвищення вогнегасної ефективності аерозолевої вогнегасної речовини. Відповідно підвищення ефективності гасіння аерозолевою речовиною при застосуванні газових ударних хвиль набуває відповідної актуальності через значне зменшення вогнегасної концентрації аерозолевої вогнегасної речовини, що призведе до значного економічного ефекту.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення оптимальних значень потужностей газових ударних хвиль, концентрацій аерозолевої вогнегасної речовини та відстаней від джерела ударних хвиль до полум'я, необхідно провести серію експериментів з змінними значеннями концентрацій аерозолі та відстані до джерела ударної хвилі. Потужність газових ударних хвиль для невеликого об'єму має бути сталою та не занадто великою щоб не зруйнувати стіни, конструктивні елементи приміщення та віконне скло. Руйнування віконного скла призведе до небажаного витікання аерозолі та припливу свіжого повітря що може підсилити пожежу.

Таким чином необхідно визначити ефективні значення параметрів ударних хвиль, які б забезпечували максимальну вогнегасну ефективність при заданих значеннях концентрації ( $C_a$ ) відстані  $L$  та потужності газових ударних хвиль  $P_a$ .

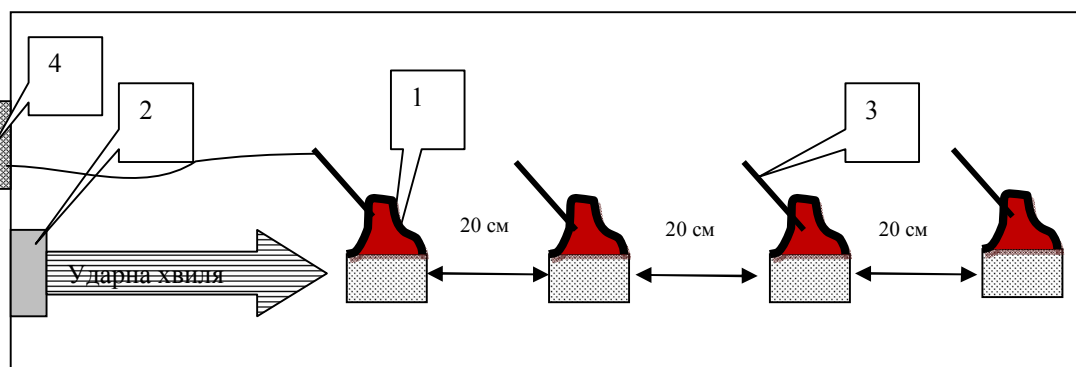
Для пошуку подальших шляхів підвищення вогнегасної ефективності аерозолі в разі дії газових ударних хвиль, необхідно було виконати експериментальні дослідження взаємодії вогнегасної аерозолеутворювальної речовини із полум'ям, при різних концентраціях аерозолі, та з різними потужностями ударних хвиль.

Вогнегасна ефективність системи "аерозольна вогнегасна речовина з ударною хвилею" буде максимально залежати від властивостей аерозолевої вогнегасної речовини та характеристик ударної хвилі. Під час застосування вогнегасної концентрації аерозолевої речовини гасіння буде відбуватись і без дії ударної хвилі, але при взаємній дії вона повинна зрости в декілька разів, тобто зменшити значення вогнегасної концентрації. Ударна хвиля може також погасити полум'я без допомоги аерозолевої вогнегасної речовини, але потужність заряду має бути досить великою [1].

Враховуючи, що більшість пожежного навантаження розташоване переважно на рівні приблизно 1-2 м, від рівня підлоги, то практичним буде спосіб використання ударної хвилі на рівні полум'я, коли піротехнічний заряд буде встановлюватись на висоті приблизно 120-150 см. При цьому необхідно експериментально визначити відстань ефективної дії ударної хвилі  $L$ .

Для визначення ефективної відстані дії ударної хвилі нами було проведено дослідження вогнегасної ефективності при різних концентраціях починаючи від  $11,4 \text{ г/м}^3$  і до  $19,2 \text{ г/м}^3$  в реальних умовах. Об'єм приміщення при цьому становив  $65 \text{ м}^3$ ,  $\text{SPL} = 160 \text{ Дб}$  (тиск у фронті ударної хвилі  $2000 \text{ Па}$ ). Тиглі з гептаном розташовувались через кожних  $20 \text{ см}$  по прямій лінії від піротехнічного заряду вагою  $4 \text{ г}$ . Над кожним тиглем розміщували термопари, з'єднані з регулятором вимірювачем РТ 0102 для реєстрації моменту затухання, оскільки в аерозольному середовищі обмежена видимість. Схема розташування представлена на рис 1.

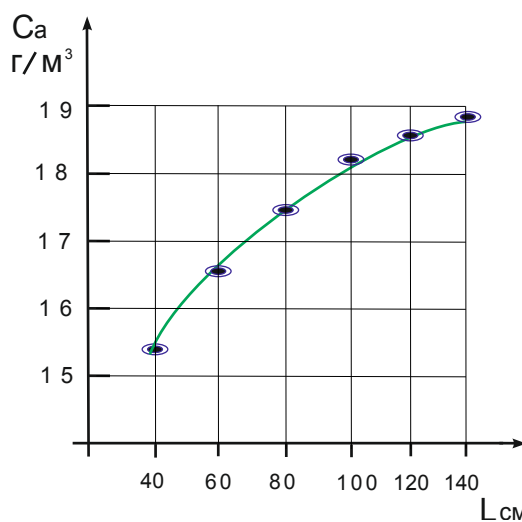
Заряд розташовувався біля стінки і відповідно енергія ударної хвилі при цьому повинна подвоїтись у напрямі приміщення через обмеження сфери поширення.



**Рис 1.** Розташування тиглів з гептаном при визначенні ефективної вогнегасної відстані ударної хвилі.

1 – тигель з гептаном; 2 – піротехнічний заряд вагою  $4 \text{ г}$ ; 3 – термопара; 4 – регулятор вимірювач 0102.

Результати експерименту представлені на графіку:



**Рис 2.** Вогнегасна концентрація аерозолу  $C_a$  та відстані  $L$  при дії ударної хвилі потужністю  $160 \text{ Дб}$  ( $2000 \text{ Па}$ ).

Ефективність впливу газової ударної хвилі залежить від відстані полум'я до джерела газової ударної хвилі. Як відомо, потужність газових ударних хвиль зменшується залежно від відстані від полум'я до джерела газової ударної хвилі [2]. Таким чином визначення «ефе-

ктивної» відстані необхідне для визначення загального параметра ефективності  $C_a$  аерозольної вогнегасної речовини відповідно. На графіку, рис 2, наведені узагальнені результати експериментів з визначення оптимального значення відстані, концентрації  $C_a$  при постійній потужності газових ударних хвиль  $SPL=160$  Дб.

Судячи з графіка на відстані в 140 сантиметрів енергія ударної хвилі майже повністю розсіється, що призведе до підвищення вогнегасної концентрації з  $11,4 \text{ г/м}^3$  на відстані 40 сантиметрів до майже початкового рівня, а власне  $18,8 \text{ г/м}^3$ .

Відомо, що такий стрибок у зменшенні ефективності є наслідком процесу дисипації енергії ударної хвилі в середовищі. Розсіювання енергії ударної хвилі [3] відбувається в будь-якому випадку та залежить від багатьох факторів. Як відомо поглинання звуку – незворотній перехід звукової енергії в інші види енергії, переважно в теплоту, обумовлений різними механізмами [4], [5]. Велике значення мають густина та теплопровідність середовища. Потужність ударної хвилі знижується за кривою Гюгоньйо [3].

Для отримання більшого ефекту необхідно сконцентрувати енергію вибуху в конус у відповідному напрямі, тоді ударна хвиля набуде відповідної форми [6]. Ударна хвиля при концентрації або фокусуванні у певному напрямку призведе до набагато ефективнішої дії ударної хвилі у визначеному напрямі. Для визначення ефективності спрямованої та сфокусованої ударної хвилі необхідно провести експериментальне визначення ефективності такого впливу.

В деяких випадках ударна хвиля може призвести до гасіння горіння, але тривалість її позитивної фази має бути достатньо тривалою і перевищувати  $0,01$  с. При цьому горіння ефективно збивається, але потім відновлюється. Неможливість гасіння самими лише (навіть концентрованими) ударними хвилями нами було підтверджено експериментально. В якості модельних осередків використовували тиглі з дизельним паливом та бензином діаметром  $105$  мм, які були розташовані на відстані 2 та 3 метри від джерела ударних хвиль.

**Таблиця 1**

*Дослідження вогнегасної дії газової ударної хвилі*

| № | Маса порохового заряду, $\text{г/м}^3$ | Результат                                                         |
|---|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | 4                                      | -                                                                 |
| 2 | 4                                      | -                                                                 |
| 3 | 6                                      | -                                                                 |
| 4 | 8                                      | -                                                                 |
| 5 | 10                                     | Тимчасове збиття полум'я з відновленням горіння на одному вогнищі |

З результатів експерименту видно, що в жодному випадку не відбувається гасіння полум'я, навіть при достатньо потужних зарядах, лише в 5 спробі з масою порохових зарядів  $10$  грам вдалось досягти ефекту збиття полум'я, але горіння відразу ж відновилося. Таким чином використання самих лише газових ударних хвиль не дає ефекту затухання і для повного гасіння необхідна дія вогнегасної аерозольної речовини.

Відповідна частота вибухів досягалась регулюванням відстані між зарядами та їх кількістю. Для підпалу зарядів використовували стопін з швидкістю згорання  $1$  м/с. Порушення матеріального балансу полум'я, яке відбувається в результаті миттєвого зміщення в просторі газової маси, призводить до відриву полум'я. Подальше підвищення вогнегасної ефективності можливе при використанні серій вибухів з частотою  $8-10$  Гц. Дослідження ефективності проводилось до досягнення частоти вибухів  $16$  Гц.

Таблиця 2

Вогнегасна ефективність аерозольної вогнегасної речовини під дією газових періодичних ударних газових хвиль при  $L=40$  см

| № з/п | Концентрація<br>г/м <sup>3</sup> |      | Гц | Гасіння<br>ударною хвилею з кон-<br>центратором |     |
|-------|----------------------------------|------|----|-------------------------------------------------|-----|
|       | Багр-1                           | АГС  |    | Багр-1                                          | АГС |
|       |                                  |      |    |                                                 |     |
| 2     | 11,4                             | 11,4 | 8  | +                                               | +   |
| 3     | 10,3                             | 10,3 | 10 | +                                               | +   |
| 4     | 8,6                              | 8,6  | 12 | +                                               | +   |
| 5     | 8,0                              | 8,0  | 16 | +                                               | +   |

Як видно з результатів експерименту мінімальна вогнегасна концентрація відповідає частоті проходження ударних хвиль 4 Гц, а максимальна - частоті 16 Гц. Зрозуміло, що ударні хвилі з частотою в 16 Гц становлять достатньо велику небезпеку для конструктивних елементів приміщення через накладання та взаємопідсилення хвиль. При накладанні хвиль сумарний ефект ударної хвилі значно збільшується [3]. Під час застосування ударних хвиль з частотою 8 Гц ефективна відстань  $L$  зростає до 280 см.

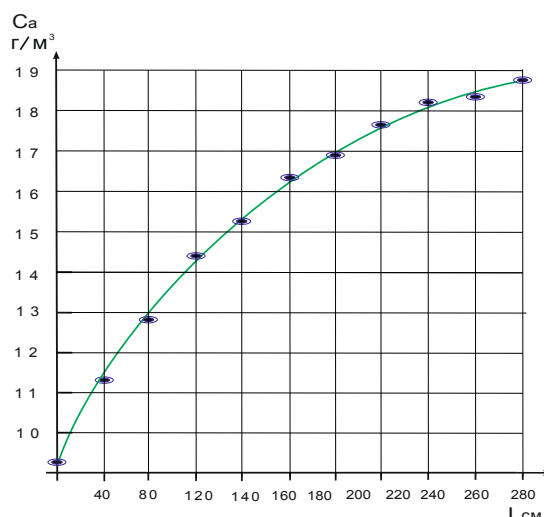


Рис.3. Збільшення ефективної відстані гасіння  $L$  при використанні піротехнічного заряду ударних хвиль з частотою ударних хвиль 8 Гц

**Висновок.** Отже, експериментально визначено, що дія газової ударної хвилі SPL=160 Дб значно зменшує вогнегасну концентрацію аерозольної речовини на відстані від піротехнічного заряду до 20 см в умовах експерименту. Концентрація аерозольної речовини при цьому набуває значень від 11,4 г/м<sup>3</sup> на відстані 40 сантиметрів до 18,8 г/м<sup>3</sup> на відстані 280 сантиметрів. Також експериментально підтверджено, що збільшення частоти ударних хвиль значно збільшує вогнегасну ефективність аерозольної вогнегасної речовини Багр-1 через накладання ударних хвиль та збільшення кінцевого тиску. При частоті ударних хвиль 8 Гц вогнегасна ефективність збільшується до 26% зменшуючи значення вогнегасної концентрації до 11,4 г/м<sup>3</sup> на відстані 40 сантиметрів. Ефективна дія ударної газової хвилі при цьому збільшиться до 280 сантиметрів з відповідною вогнегасною концентрацією 18,8 г/м<sup>3</sup>. Подальше збільшення частоти ударних хвиль з 10 до 18 Гц не призводить до видимого підвищення ефективності гасіння.

### Список літератури

1. **Копилов Н.П.**, Тушение очагов пожара взрывом / Н.П. Копилов, Е.А. Москвилін, В.Г. Жарков, Є.Ю. Сушкіна // Крупные пожары: предупреждение и тушение: сб. тез. докл. Материалы XVI научно-практической конференции. – Москва : ФГУ ВНИИПО, 2001. – С. 27-28.
2. **Копистинський Ю.О.** Взаємодія полум'я і вогнегасного аерозолу речовини під впливом ударної хвилі / Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І.// Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – №18. – С.71-75.
3. **Зельдович Я.Б.**, Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы М. 1966. – 688 с.
4. **Шендеров Е.Л.** Излучение и рассеяния звука. – 1989. – 304 с.
5. **W. Thomson** On the universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy Philosophical Magazine, Ser. 4, p.304 (1852).
6. **Физическая энциклопедия:** в 5 т. / Балдин А.М., Бонч – Бруневич А.М., и др. — М.: Советская энциклопедия, 1999.

*В.М. Баланюк, Ю.О. Копыстынский, Е.И. Лавренюк*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ОГНЕТУШАЩЕГО АЭРОЗОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

В работе приведены результаты экспериментов по определению концентрации аэрозоля  $C_a$  и расстояния  $L$  при применении ударной волны. Показано взаимодействие газовой ударной волны, аэрозоля и пламени. Рассмотрены особенности тушения газовой ударной волной на расстоянии до 3 м, при различных концентрациях от  $11,4 \text{ г/м}^3$  и до  $19,2 \text{ г/м}^3$  в реальных условиях. Обосновано и экспериментально подтверждено, что применение газовой ударной волны повышает эффективность тушения аэрозольным веществом за счет наложения ударных волн и увеличение конечного давления ударных волн.

**Ключевые слова:** огнетушащий аэрозоль, огнетушащая эффективность, газовая ударная волна.

*V.M. Balanyuk, Yu. O. Kopystynskyi, O.I. Lavrenyuk*

### DETERMINATION OF EXTINGUISHING EFFICIENCY OF FIRE-AEROSOL SUBSTANCE UNDER GAS BLAST WAVE

The article deals with the experiment results of determining aerosol concentration of  $C_a$  and distance  $L$  in the application of blast wave. The interaction of the gas blast wave, spray and flame is presented. The features of quenching by gas blast wave at a distance of 3 meters at various concentrations ranging from  $11.4 \text{ g/m}^3$  to  $19.2 \text{ g/m}^3$  are described. The use of the gas blast wave increases the efficiency of extinguishing aerosol substance matter by imposing blast waves and increasing the final pressure shock waves are substantiated and experimentally confirmed.

**Key words:** fire extinguishing aerosol, fire extinguishing efficiency, gas blast wave.

