

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

ВЗАЄМОДІЯ ПОЛУМ'Я І ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ РЕЧОВИНИ ПІД ВПЛИВОМ УДАРНОЇ ХВИЛІ

В роботі розглянуто структуру ударної хвилі та процеси які відбуваються в газовому середовищі при проходженні через нього ударної хвилі. Показано взаємодію ударної хвилі, аерозолу та полум'я. Розглянуто фізичні параметри зміна яких призводить до гасіння полум'я. Обґрунтовано гасіння полум'я виходячи з зміни швидкості горіння. Розглянуто вплив ударної хвилі на концентрацію реагуючих речовин та енергію активації. Розглянуто особливості гасіння аерозолем. Вказано, що використання ударної хвилі для підвищення вогнегасної ефективності аерозолем є перспективним напрямком, який вивчений недостатньо добре.

Ключові слова: вогнегасна аерозолева речовина, аерозоль, ударна хвиля, дисперсна система

Постановка проблеми: При об'ємному пожежогасінні можуть створюватися такі умови, коли вогнегасна концентрація не досягнута і горіння продовжується. В таких випадках, коли вогнегасної речовини недостатньо, горіння може відновитись та поширитись на більшу площу. Аерозолева вогнегасна речовина складається з твердих рідких та газоподібних компонентів – K_2CO_3 , KOH , KCl , CO_2 , CO , H_2O та інші. Припинення горіння відбувається завдяки сумісному впливові таких факторів як інгібування, флегматизація, охолодження вищевказаними компонентами. Подеколи гасіння проблематичне або майже неможливе, оскільки в середовищі, де відбувається горіння, може бути або висока температура або повітряні потоки, які виноситимуть аерозоль за межі об'єму.

Припинення горіння відбувається як через потрапляння частинок аерозолу в полум'я при досягненні його вогнегасної концентрації, так і через холодні навколишні контактуючі аерозолеповітряні маси. Відомо, що підвищення ефективності аерозольного гасіння можна досягнути через вплив зовнішніх факторів, які порушуватимуть баланс тепломасобміну між полум'ям та аерозолем. Одним з таких факторів є акустично-ударні хвилі, які спрямовані на ділянку з полум'ям. Вплив акустично-ударних хвиль на вогнегасний ефект аерозолів є мало дослідженим і для з'ясування його механізму необхідно розглянути взаємодію акустично-ударної хвилі, аерозолевої вогнегасної речовини та полум'я.

Мета роботи: Обґрунтувати можливість використання ударних хвиль для підвищення ефективності пожежогасіння вогнегасними аерозолями.

Виклад основного матеріалу: Як уже було сказано попередньо, вплив ударної хвилі на вогнегасну ефективність аерозолів є малодослідженим явищем, про яке існують загальні уявлення.

Ударні хвилі виникають при вибухах, детонації, надзвукових рухах тіл, потужних електричних розрядах і т. д. [1]. Ударна хвиля – тонка перехідна область, що поширюється з надзвуковою швидкістю, і в якій відбувається різке збільшення щільності, тиску і швидкості речовини. Наприклад, від вибуху речовини утворюються високонагріті продукти вибуху, що мають велику щільність і знаходяться під високим тиском. У початковий момент вони оточені повітрям, що має нормальну щільність і атмосферний тиск. Продукти вибуху розширюються, стискають навколишнє повітря, причому в кожен момент часу стисненим виявляється лише повітря, що знаходиться в певному об'ємі, поза цими межами повітря залишається в нестисненому стані. З часом об'єм стисненого повітря зростає. Поверхня, яка відділяє стиснене повітря від нестисненого, і є ударною хвилею або фронтом ударної хвилі [1]. Газ, проходячи через ударну хвилю, змінює свої параметри дуже різко і в дуже вузькій області. Товщина фронту ударної хвилі має порядок довжини вільного пробігу молекул, проте при бага-

тьох теоретичних дослідженнях можна нехтувати такою малою товщиною і з великою точністю замінити фронт ударної хвилі поверхнею розриву, вважаючи, що при проходженні через неї параметри газу змінюються.

При поширенні ударної хвилі по газу з малою об'ємною концентрацією аерозолевої речовини, в ударній хвилі прискорюється, стискається і нагрівається тільки газовий компонент, оскільки макроскопічні частинки пилу дуже рідко стикаються між собою, а при взаємодії з газом їх швидкість і температура змінюються порівняно повільно. За ударною хвилею в зоні релаксації відбувається поступове вирівнювання швидкостей течії і температури компонентів. При цьому відносна масова концентрація пилу проходить через максимум, тому що в ударній хвилі вона була знижена, а в середньому по всьому об'єму повинна бути такою ж, як перед ударною хвилею. Структура ударної хвилі, розглянута в гідродинаміці як розрив, насправді представляє собою перехідний шар кінцевої протяжності, котру називають шириною ударної хвилі. У цьому шарі відбуваються незворотні процеси переходу речовини з початкового стану перед ударною хвилею в кінцевий стан за нею. У щільних газах ширина ударної хвилі зазвичай максимально мала порівняно з характерними розмірами областей безперервного перебігу по обидві сторони від ударної хвилі. У структурі ударної хвилі стискування існують дві області – так звані в'язкий скачок ущільнення, котрий утворюється під дією в'язкості і теплопровідності, і наступна за ним релаксаційна зона, яка обумовлена іншими, відносно повільними релаксаційними процесами (якщо такі є). Залежно від природи середовища, від її стану перед ударною хвилею і від інтенсивності ударної хвилі, це може бути релаксація молекулярних коливань, встановлення хімічної і іонізаційної рівноваги, в конденсованих середовищах – фазові переходи і ін. Ударна хвиля досить малої інтенсивності, що поширюється по холодному газу ($T_1 \ll 1000 \text{ K}$), спричиняє коливання і зміну складу газу незначно і структура ударної хвилі визначається лише скачком ущільнення. Вплив ударної хвилі на параметри середовища, де відбувається горіння, необхідно розглядати виходячи з структури та швидкості горіння.

Якщо розглянути полум'я пальника то відомо, що стійкість дифузійного полум'я залежить від кільцевої зони запалювання. Достатньо на цю область подіяти потоком невеликої швидкості і факел може обірватись [2]. Факел буде тим стійкішим, чим багатша суміш у струмені. Тільки в цьому випадку може складатись потужна кільцева зона горючої суміші. Власне тому дифузійне полум'я буде найстійкішим, коли горіння проходить на повітрі і в пальник подається лише газ. [2] Вплив на вказану область ударною хвилею може призвести до розриву кільцевої області запалювання або навіть і до її зруйнування. Ймовірно ефективною буде дія ударної хвилі спрямованої паралельно вісі конуса полум'я, а не перпендикулярно. Якщо полум'я знаходиться в оточенні холодного середовища і додатково вогнегасної аерозолевої речовини, це сприяє зменшенню швидкості горіння завдяки інгібуванню і тому відриву полум'я досягнути набагато легше. Відомо [2], що відрив факела відбувається при середніх швидкостях витікання, які набагато більші ніж швидкість поширення полум'я. Горіння твердих та рідких речовин відбувається аналогічно і в кожному виді горіння існує кільцева зона запалювання, руйнування якої може призвести до відриву полум'я внаслідок набігаючих знизу потоків горючих газів та повітря. Це підтверджується в досліді автора [3], який вказує, що якщо спрямувати вздовж зовнішньої границі пальника потік повітря, можна досить легко здути полум'я не змінюючи при цьому швидкість в середній частині струменя. Всі ці умови відтворюються в більшій чи меншій мірі в момент проходження ударної хвилі через простір, де існує полум'я.

Як відомо, гасіння відбувається при досягненні критичних параметрів мінімальної температури в зоні горіння – $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, звуження зони займання через добавки вогнегасної концентрації інгібітора або флегматизатора. Виходячи з рівняння Арреніуса, основними складовими якого є концентрації реагуючих речовин та їх стехіометричні співвідношення, енергія активації реакції при стехіометричному співвідношенні та температура, можна проаналізува-

ти вплив ударної хвилі на значення кожного з цих параметрів. При дії ударної хвилі на дифузійне полум'я, концентрації реагуючих речовин в момент проходження ударної хвилі будуть суттєво змінюватись. Причому майже миттєво зросте концентрація повітря в зоні горіння, що може призвести до виходу суміші за межі займання. Концентрація горючих газоподібних компонентів при цьому буде залишатись без змін. Можна передбачити, що розмір полум'я, яке можна погасити ударною хвилею, буде залежати від потужності хвилі. В результаті проходження ударної хвилі зона продуктів горіння полум'я зміститься з швидкістю приблизно 360 м/с, що дорівнює або і більше за звукову швидкість. Паралельно відбудеться розтягування фронту полум'я в просторі та відрив факела від поверхні горючої речовини.

Зрозуміло, що в результаті проходження ударної хвилі навіть мінімальної потужності через простір де перебуватиме полум'я, параметри останнього будуть суттєво змінюватись. Зміна будь якого параметра та вивід його значень за межі оптимальних або стехіометрії призведе до значного підвищення енергії активації, в основному через збільшення концентрації повітря, а в деяких випадках збільшиться до значень, при яких ініціювати реакцію горіння є неможливим. Розглядаючи фактори підвищення Еакт необхідно додати, що суттєвим чинником, що призводить до значного зростання Еакт є наявність в середовищі дисперсного інгібітора у вигляді неорганічних солей. Одночасний вплив всіх цих факторів повинен значно підвищити ефективність гасіння аерозолевою вогнегасною речовиною.

Як відомо вогнегасний ефект аерозолі залежить від багатьох факторів. В основному вогнегасна ефективність визначається хімічним кількісним і дисперсним складом твердої і газової фаз аерозолі, які під дією різних зовнішніх чинників (вологості, рухливості, температури середовища, наявності розвиненої поверхні захищеного об'єму вбудованих в нього конструкцій та ін.) можуть помітно змінюватися [4]. Крім того, як відомо, склад аерозольотворюючого складу, температура середовища, в якій перебуває аерозоль, фізико-хімічні особливості горючої речовини і її кількість, розташування генератора вогнегасного аерозолі, добавки інертних газів і іншого роду інгібіторів, найбільш істотно впливають на кінцеву вогнегасну концентрацію аерозолі. Для визначення умов оптимального застосування ударної хвилі з метою підвищення вогнегасної ефективності необхідно розглянути основні чинників, які визначають вогнегасну ефективність аерозолевою вогнегасною речовини. Як відомо, до складу аерозольотворюючого складу входять окисники і пальне. При згоранні утворюється дисперсна і газова фази. До складу дисперсної фази входять солі калію, натрію і рідше інші метали. В основному до складу аерозолі входять солі $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, KOH , KNO_2 , CO_2 , N_2 . Підвищення температури середовища призводить до зниження вогнегасної ефективності аерозолі, як вважають автори [5] через руйнування структури самого аерозолі. Дія ударної хвилі в умовах високої температури, коли вогнегасна концентрація збільшується більше ніж в 3 рази, наводить на думку, що дія ударної хвилі в таких умовах не принесе очікуваного підвищення вогнегасної ефективності. Вплив природи речовини відображений в результатах досліджень авторів [6]. Автори показали, що горючі речовини, які мають високу теплоту згорання і низьку температуру самозаймання, мають і високу вогнегасну концентрацію. Так мінімальна вогнегасна концентрація аерозолі для октану становить 19,5 г/м³, а для метанолу - всього 4 г/м³. Таким чином, можна передбачити, що аерозольне гасіння за допомогою ударної хвилі в повітряному середовищі для речовин, які мають різні значення нижньої теплоти згорання, не буде однаково ефективним. Оскільки швидкість поширення полум'я для різних речовин в більшості випадків становить від 0,03 до 15 м/с, [2] то необхідно зауважити, що вогнегасна дія ударної хвилі буде залежати також і від швидкості поширення полум'я. Відповідно зменшення швидкості поширення полум'я повинно призвести до підвищення ефективності гасіння в результаті дії ударної хвилі.

Використання ударної хвилі підвищуватиме вогнегасну ефективність, оскільки короткочасна дія хвилі призведе до порушення матеріально-теплого балансу, який встановлюється при концентраціях менших за вогнегасні, коли полум'я горить ще деякий час, до моме-

нту затухання. Вплив ударної хвилі призведе до зміщення матеріально-теплого балансу у бік досягнення ефекту відриву полум'я. У роботі [6] автори спостерігали, що під дією середовища аерозолі при концентраціях близьких до вогнегасної, полум'я подовжувалося, набувало спіралевидної форми із закручуванням у праву сторону. Усі ці зміни можуть свідчити про значне зменшення швидкості поширення полум'я в результаті процесу інгібування. Якщо у цей момент незначно порушити рівновагу, що склалася, горіння припиниться внаслідок відриву полум'я під дією набігаючих знизу горючих газів, які не встигають згоріти. Для миттєвого та ефективного порушення цього балансу найкраще підходить дія ударної хвилі, оскільки її проходження, як було вказано, істотно змінює параметри середовища.

Висновок. Використання ударних хвиль, для підвищення вогнегасної ефективності аерозолевої вогнегасної речовини, виходячи з зазначених в статті позицій, є ефективним. А оскільки ударні хвилі можуть бути різної потужності, то необхідно експериментально дослідити та визначити найбільш оптимальні значення цих потужностей.

Насамкінець можна сказати, що підвищення ефективності гасіння за допомогою ударних хвиль є перспективним напрямом, який потребує подальших досліджень.

Список літератури:

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: ГИ ТТЛ, 1950. – 165 с.
2. **Основи** практической теории горения. Под. редакцией В.В. Померанцева Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Л., «Энергия» 1973. – 264 с.
3. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва. Издательство Московского университета. 1957. – 436. с.
4. Агафонов В.В., Копилов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения. Элементы и характеристики проектирование монтаж и эксплуатация. – М.: ВНИИПО, 1999. – 229 с.
5. **Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С.** Влив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2004. – №497. – С 102-104.
6. **В.М. Баланюк, О.І. Лавренюк, О.І. Гарасимюк, О.Я. Галонько.** Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію.

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАМЕНИ И ОГНЕЗАЩИТНОГО АЭРОЗОЛЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

В работе рассмотрена структура ударной волны и процессы которые происходят в газовой среде при прохождении через нее ударной волны. Показано взаимодействие ударной волны, аэрозоля и пламени. Рассмотрены физические параметры, изменение которых приводит к тушению пламени. Обосновано тушение пламени исходя из изменения скорости горения. Рассмотрено влияние ударной волны на концентрацию реагирующих веществ и энергию активации. Рассмотрены особенности тушения аэрозолем. Указано, что использование ударной волны, для повышения огнетушащей эффективности аэрозоля является перспективным направлением, которое изучено недостаточно хорошо.

Ключевые слова: огнетушащий аэрозоль, ударная волна, дисперсная система

**INTERACTION OF FLAME AND
FIRE EXTINGUISHING AEROSOL UNDER THE WORK OF TIDAL WAVE**

The article deals with the structure of tidal wave and processes in gaseous space during tidal wave. The interaction of tidal wave, aerosol and flame is described. Physical parameters with its changes up to fire extinguishment are shown. Fire extinguishment due to its speed is proved. The components of Arrhenius equation such as the concentration of substances of reaction and activation energy are taken for comparison. The peculiarities of extinguishment by an aerosol are examined. Usage of tidal wave is useful for increase of fire extinguishing efficiency and this way is not examined properly.

Key words: fire extinguishing substance, aerosol, tidal wave, disperse system

