

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

ВПЛИВ ЗВУКОВИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ НА ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ

У статті здійснено огляд основних процесів, які виникають у дисперсних системах під дією звукових коливань, в яких поширюються звукові хвилі, швидкість яких визначається густиною або щільністю середовища. Розглянуто також поведінку завислих в газі частинок під впливом звукових коливань, яку можна розглядати як поєднання таких ефектів: сумісного коливання частинок аерозолу в газі, що коливається; дії гідродинамічних сил притягання і відштовхування між сусідніми частинками; дії звукового тиску, який має максимальне значення посередині між вузлами і пучностями коливань.

Ключові слова: звук, дисперсна система, дисперсні частинки, коагуляція, стояча хвиля, ударна хвиля.

Постановка проблеми: Враховуючи проблемне гасіння аерозолем “закритих” та “складних” зон в приміщеннях та апаратах стає актуальною проблема підвищення ефективності гасіння вогнегасним аерозолем. Одним з шляхів вирішення цього питання є використання так званої “звукової активації аерозолу”. Цей метод дозволяє вирішити ряд проблемних моментів, які не дозволяють в повному обсязі використовувати ефективність аерозолу, як об’ємного засобу пожежогасіння. До них належать: недостатня концентрація аерозолу в так званих “мертвих зонах”; гасіння у важкодоступних для проникнення вогнегасного аерозолу ділянках; сумісне використання вогнегасного аерозолу з іншими вогнегасними та порошковими засобами (зокрема газовими); нерівномірний розподіл вогнегасного аерозолу. Відомо, що звукові коливання можуть бути шляхом підвищення ефективності вогнегасного аерозолу на основі неорганічних солей калію імпульсною звуковою ударною хвилею [1]. Враховуючи всі переваги запропонованого методу, хотілось би відмітити і його недоліки. Але перед цим необхідно розглянути властивості звуку.

Виклад основного матеріалу: Звук в широкому значенні – коливальний рух частин пружного середовища, який розповсюджується у вигляді хвиль в газоподібному, рідкому або твердому середовищі, у вузькому значенні – явище, яке суб’єктивно сприймається спеціальним органом чуття людини і тварин. Людина чує звук з частотою від 16 Гц до 20000 Гц. Фізичне поняття про звук охоплює як чутні, так і нечутні звуки. Звук із частотою нижче 16 Гц називається інфразвуком, вище 20000 Гц – ультразвуком; найбільш високочастотні пружні хвилі у діапазоні від 10^9 до 10^{12} - 10^{13} Гц відносять до гіперзвуку [2]. Основною характеристикою звуку є його спектр, який одержуємо в результаті розкладу звуку на прості гармонічні коливання. Спектр буває суцільний, коли енергія звукових коливань безперервно розподілена в більш чи менш широкій області частот, і лінійний, коли існує сукупність дискретних (переривних) частотних складових. Звук із суцільним спектром сприймається як шум, наприклад, шелест дерев під вітром, звуки працюючих механізмів. За допомогою звукових і ультразвукових хвиль можна викликати в аерозолях інтенсивну коагуляцію. При цьому дисперсність твердих або рідких середовищ так зменшується, що речовина, яка знаходиться в завислому стані, швидко виділяється з газового середовища. Швидкість коагуляції залежить головним чином від частоти звуку, хоча на неї також впливає ряд інших чинників (інтенсивність звуку і ін.). Від дії звуку великої інтенсивності дим зникає протягом долей секунди. Різна поведінка зваженої речовини в звуковому полі, природно, повинна знаходити відображення і у поведінці окремої частинки [1]. Поширення звукових хвиль характеризується в першу чергу швидкістю звуку. В газоподібних та рідинних середовищах поширюються поздовжні хвилі, швидкість яких визначається густиною або щільністю сере-

довища. При поширенні звукової хвилі у заданому напрямку відбувається поступове її згасання, тобто зменшення інтенсивності і амплітуди. Згасання обумовлюється рядом факторів, які проявляються в тій чи іншій мірі залежно від характеристик самого звуку та всього середовища. Дисперсні частинки будуть отримувати імпульс переданий їм звуковою хвилею. Таким чином на дисперсність аерозолію в часі будуть впливати: спектр звуку, інтенсивність звуку, тиск звуку та його потужність. Потужність звуку буде впливати на коливальну енергію дисперсної частинки та визначатиме швидкість протікання інших процесів домінуючим з яких є коагуляція. Таким чином максимальний вплив окремих параметрів звукової імпульсної хвилі буде визначати інтенсивність взаємодії (проникнення) в зону горіння аерозольних частинок, що в свою чергу буде спричиняти порушення теплового балансу в зоні горіння.

Вплив акустичного поля на поведінку аерозолів є складною проблемою, про яку вчені мають тільки загальне уявлення. Цілком задовільної теорії акустичної коагуляції аерозолів, яка б пояснила кількісно, яким чином акустичні коливання і сили, що виникають при цьому підвищують число зіткнень між частинками, ще немає [3]. Проте можна зробити перші кроки до створення такої теорії, обговоривши шляхи впливу звукових хвиль на рух частинок. Кількісне визначення збільшення розмірів частинок під впливом звукового поля вперше було проведено за допомогою вимірювання швидкості падіння частинок.

При дії звуку великої інтенсивності дим [4] зникає протягом долей секунди. Різна поведінка зваженої речовини в звуковому полі, природно, повинна знаходити відображення і у поведінці окремої частинки. У газі, що знаходиться в стані акустичних коливань, залежно від умов, зважена частинка може брати участь в коливанні середовища повністю, частково або зовсім не брати участі [5]. Поведінку зважених в газі частинок під впливом звукових коливань можна розглядати як поєднання таких ефектів: сумісного коливання частинок аерозолію в газі, що коливається; дії гідродинамічних сил притягання і відштовхування між сусідніми частинками; дії звукового тиску, який має максимальне значення посередині між вузлами і пучностями коливань [1]. Узагальнюючи, можна сказати, що акустична коагуляція обумовлюється всіма процесами, внаслідок яких збільшується ймовірність чисто кінетичних зіткнень двох частинок і які спричиняють сили тяжіння між частинками. Фізичні процеси, які обумовлюють коагуляцію частинок в звуковому полі дуже багаточисельні, і часто важко визначити, який з них відіграє основну роль [1]. Встановлено, що в стоячих хвилях існує звуковий тиск, періодичність якого дорівнює половині довжини хвилі. Цей тиск дорівнює нулю у вузлах та пучностях і досягає максимального значення на половині відстані між цими точками. Математичний вираз максимального тиску радіації, що припадає на частинку, такий:

$$F = \frac{10}{3} \frac{\pi^2 r^3}{\lambda} E = \frac{5\pi}{2\lambda} VE \quad (1)$$

де V - об'єм частинки;

r - її радіус;

$E = \frac{1}{\rho} \rho / \text{см}^3$, (E – щільність акустичної енергії);

λ - довжина випромінюваної хвилі.

Таким чином, якщо в аерозолі встановлюються стоячі хвилі, то радіаційний тиск примусить частинки концентруватися поблизу пучностей. Сили, якими не можна нехтувати і дії яким не піддаються деякі частинки в турбулентних потоках називаються турбулентними силами. Відомо, що для таких потоків рух, викликаний швидкістю коливань, значно більший, ніж рух, обумовлений молекулярними силами. З іншої сторони, якщо вважати, що частинка з великою масою майже нерухома в звуковому полі, то виявляється, що вона створює в газовому потоці коливання поблизу своєї поверхні. Залежно від орієнтації в звуковому полі і від відстані від великої частинки, невеликі частинки, що знаходяться в безпосередній близькості

від неї, можуть притягуватися або відштовхуватися великою частинкою, яка слабо коливається. Електричні явища відіграють певну роль в коагуляції і осадженні маленьких частинок в звуковому полі. Відомо, що більшість найдрібніших частинок, що диспергують до стану аерозолу, мають власний електричний заряд, який виникає або в процесі утворення аерозолу, або в результаті подальшої дії іонізації; виходить, що середній заряд для кожної категорії частинок (без урахування знаку заряду) майже завжди пропорційний радіусу частинки (для аерозолів розміром від 0,2 до 6 μ). Приведення в коливальний рух частинок аерозолу супроводжується сильним тертям між молекулами газу і малими та великими частинками. Внаслідок діелектричних властивостей частинок можуть з'являтися заряди (електричні або індуковані) які залежно від їх знака сприяють швидшій коагуляції. В зв'язку з цим слід зазначити, що для деяких аерозолів кількість агломератів, що утворюються, була вельми різною при підтримці однакових умов роботи. Коли частинки аерозолу знаходяться поблизу стінки, вони піддаються впливу ефекту Бернуллі. Між стінкою і частинкою встановлюється тяжіння, величина якого обернено пропорційна до четвертого ступеня відстані між частинкою і стінкою. На цей механізм накладається, крім того, природна дифузія частинок, обумовлена градієнтом концентрації [1]. Кожне звукове поле розсіює енергію (у вигляді тепла). В ультразвуковому полі частотою 22 кГц при концентрації аерозолу 8 г/м³ на відстані 30 см поглинається від 50 до 60% звукової енергії, тоді як при частоті 1500 Гц тільки від 5 до 6% енергії втрачається в результаті поглинання звуку. При цьому буде відбуватися часткова коагуляція. Максимальна коагуляція досягається при режимі стоячих хвиль. Проте при низьких частотах від 100 до 3000 Гц ці хвилі виходять тільки в тому випадку, якщо відвернений можливий витік звукової енергії. Витік енергії може проходити через будь-який відносно великий отвір в стінці коагуляційної камери. В цьому випадку в камері відбувається накладення біжучих хвиль на стоячі хвилі. При цьому вузли тиску і швидкості не є тими точками, в яких відбувається ефективна коагуляція [6]. Найменші частинки коливаються з найбільшими амплітудами, ці частинки коагулюють першими, іншими словами, коагуляція починається з найменших частинок аерозолу розміром менше 10 μ . Коагуляція відбувається внаслідок дії звукових хвиль і продовжується доти, поки не залишаються тільки великі агломерати [1]. Але необхідно зауважити, що найбільш активно коагуляція буде відбуватися в середовищі з постійною певною звуковою частотою коливання. Таким чином представляє інтерес дослідження проходження через аерозольне середовище ударних хвиль, оскільки останні не будуть сприяти активній коагуляції частинок.

Висновок. Коагуляція є додатковим фактором, який не сприяє підвищенню вогнегасної ефективності аерозолу на основі неорганічних солей калію імпульсною звуковою ударною хвилею. В результаті проходження ударної хвилі через газоаерозольне середовище в будь-якому випадку буде використовуватись явище коагуляції, яке не найкращим чином впливатиме на вогнегасну ефективність системи. Як було вказано вище, коагуляція сприяє укрупненню частинок аерозолу, що пришвидшує його сидементацію "осідання" і відповідно зменшується час вогнегасної дії аерозольної вогнегасної системи.

Список літератури:

1. В.М. Баланюк. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолі. Пожежна безпека, 2010, № 16, 129 – 136.
2. Стретт Джон Вільям. Теория звука. Пер. с 3-го англ.изд. П.Н. Упенского и С.А. Каменецкого. Под.ред. и с предисл. С.М. Рытова. Изд. 2-е. М., Госхимиздат, 1955.
3. Акустическая коагуляция аерозолей. Сб. пер. статей. М., Госхимиздат, 1961.
4. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Пер. с англ. д-ра хим. Наук Н.А. Фукса. Изд. 2-е. стереотип. – Л., <Химия>, Ленинград. Отд-ния. 1972.

5. Л.И. Буравов, О.К. Экнадиосянц. О поведении частиц аэрозоля в акустическом поле. Акуст. ж., 1961, 7, № 4, 492 – 493.

6. Медников Е.П., Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей, Изд. АН СССР, 1963.
Ю.О. Копыстынский, В.М. Баланык, канд. техн. наук, О.И. Лавренюк канд. техн. наук (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

В статье рассмотрен ряд основных процессов, которые возникают в дисперсных системах под воздействием звуковых колебаний, в которых распространяются звуковые волны, скорость которых определяется плотностью и густотой среды. Рассмотрено также поведение взвешенных в газе частиц под влиянием звуковых колебаний, которое можно рассматривать как объединение следующих эффектов: совместного колебания частичек аэрозоля в газе, который колеблется; действие гидродинамических сил притяжения и отталкивания между соседними частицами; действие звукового давления, имеющего максимальное значение посередине между узлами и кучностью колебаний.

Ключевые слова: звук, дисперсная система, дисперсные частицы, коагуляция, стоячая волна, ударная волна.

Yu. O. Kopystynsky, V.M. Balanyuk, Candidate of Science (Engineering), O.I. Lavrenyuk, Candidate of Science (Engineering) (Lviv State University of Vital Activity Safety)

INFLUENCE OF VOICE VIBRATIONS ON DISPERSIBLE SYSTEMS

This work performed a review of basic processes that arise up in disperse systems under the action of sound vibrations, in which are distributed longitudinal waves in gaseous environments, speed of which is determined by density or density environment. We also consider the behavior of particles suspended in a gas under the influence of sound vibrations that can be seen as a combination of following effects: joint fluctuations of particles in an aerosol gas that fluctuates, the actions of hydrodynamic forces of attraction and repulsion between neighboring particles; actions of sound pressure which has a maximum value in the middle between the nodes and loop vibrations.

Key words: sound, dispersible system, dispersible particles, coagulation, standing wave, tidal wave

