

УДК 621.647.23

А.В. Ляшок, асп., **О.Ф. Луговський**, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ФОНТАН ЯК СПОСІБ ОТРИМАННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНОГО АЕРОЗОЛЮ

Наведено аналіз ультразвукового засобу розпилення рідини в фонтані з підведенням ультразвукової енергії з боку рідини. Експериментальні дослідження проведені за допомогою установки, що містить плоский п'єзоелемент і фокушуючу акустичну лінзу. Показана можливість регулювання продуктивності ультразвукового фонтана із широтно-імпульсною модуляцією, що дозволяє використовувати подібне обладнання в мехатронних системах штучного мікроклімату.

Ключові слова: дрібнодисперсний аерозоль, ультразвуковий фонтан, рідина, п'єзоелементи, розпилення.

Вступ. Багато галузей виробництва вимагають впровадження високоефективних засобів отримання дрібнодисперсного аерозолю. Перш за все, це хімічне виробництво, радіоелектронна промисловість, теплоенергетика, машино- та приладобудування, харчова промисловість, медицина та сільське господарство.

Найбільш перспективним та альтернативним способом отримання дрібнодисперсного аерозолю є ультразвуковий. Цей спосіб реалізується за допомогою підведення акустичної енергії до границі розділу газового і рідинного середовищ. Підведення можливе з боку рідини та з боку газу. У випадку підведення ультразвукових коливань з боку рідини можливе розпилення в фонтані та в тонкому шарі [1, 2].

Ультразвукове розпилення рідини широко використовують в системах створення та підтримки штучного мікроклімату. Їх застосовують на промислових та харчових підприємствах, оскільки якість деяких технологічних процесів суттєво залежить від вологості оточуючого середовища. Створення необхідного клімату є невід'ємною складовою сільськогосподарського виробництва, оскільки вирощування рослин в теплицях потребує певного догляду та умов для їх існування [3].

Що стосується радіоелектронної промисловості, то цей спосіб розпилення застосовується для нанесення паяльних флюсів при автоматичному виготовленні друкованих плат, покритті напівпровіднико-

вих пластин фоточутливим шаром на стадії фотолітографії при виготовленні напівпровідникових схем та ін. [4].

В двигунобудуванні отримання дрібнодисперсного аерозолю необхідно для створення систем підготовки паливно-повітряної суміші [5, 6].

У вищеперерахованих прикладах в основному застосовується ультразвуковий спосіб розпилення в тонкому шарі, який дозволяє отримати аерозоль з дисперсністю 5...20 мкм. Але в багатьох випадках, наприклад в медицині, дисперсності аерозолю, якої вдається досягти при ультразвуковому розпиленні в тонкому шарі, недостатньо для отримання бажаного результату [7]. В такому випадку застосовують спосіб ультразвукового розпилення в фонтані, при якому вдається досягти дисперсності аерозолю 0,5...5 мкм. При цьому терапевтичні методики часто вимагають дозованого постачання аерозолю.

Метою статті є експериментальне дослідження основних характеристик ультразвукового способу розпилення рідини в фонтані та з'ясування можливостей керування продуктивністю такого способу розпилення.

Основна частина. Ультразвукове розпилення рідини у фонтані реалізується за рахунок введення в рідину високочастотних (1...3 МГц) ультразвукових коливань. Досягнення необхідного рівня інтенсивності ультразвукових коливань відбувається завдяки застосуванню акустичних фокусуєчих систем, що забезпечують концентрацію ультразвукової енергії в точці поблизу поверхні розділу двох середовищ – рідини та газу. В якості фокусуєчих систем зазвичай використовують п'єзоелементи полусферичної форми або збиральні акустичні лінзи, під якими встановлюють звичайні плоскі п'єзокерамічні елементи (рис.1).

За рахунок інтенсивних кавітаційних процесів поблизу фокальної точки з об'єму рідини вириваються струмені та великі за розмірами краплі, на поверхні яких утворюються стоячі капілярні хвилі [1]. При втраті стійкості з гребенів капілярних хвиль зриваються близькі до монодисперсних маленькі краплі аерозолю. Великі краплі, які не встигли диспергуватися, системою відбивачів повертаються назад до об'єму рідини.

Процес розпилення в фонтані дуже чутливий до рівня рідини у зоні розпилу. Коли рівень рідини знаходиться вище фокальної точки на поверхні рідини за рахунок радіаційного тиску з'являється пагорбок, який по мірі зниження рівня рідини підіймається та витягується у

стовпчик, що коливається (рис. 2), а потім перетворюється у бурхливий фонтан крупних крапель (рис. 3а), які утворюються при розпаді струменів, що вириваються з об'єму рідини.

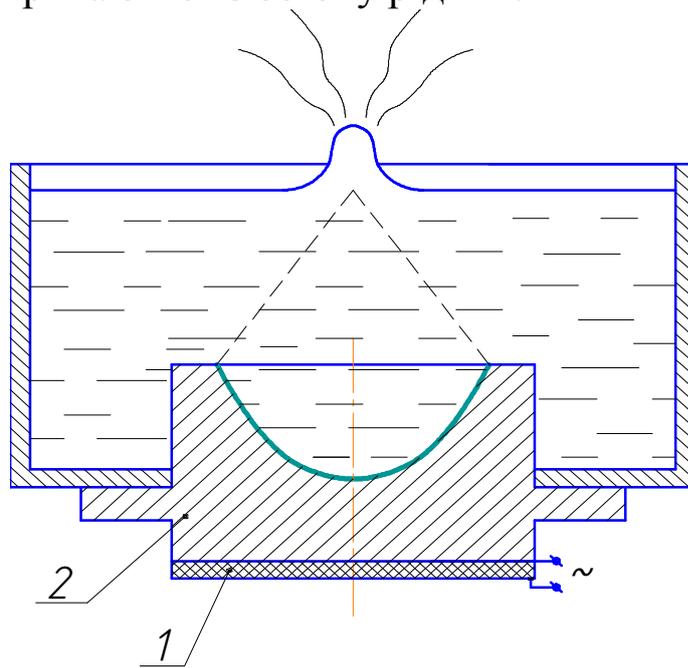


Рис. 1. Схема реалізації ультразвукового розпилення в фонтані (1 – п'єзокерамічний елемент; 2 – акустична лінза)



Рис. 2. Початкова стадія утворення ультразвукового фонтана

Подальше наближення до фокальної точки підвищує рівень збудження рідини, що призводить до розпаду великих крапель на близькі до монодисперсних (рис. 3б). Згідно капілярно-хвильової гіпотези [8], виділення дрібнодисперсних крапель аерозолі з поверхні великих крапель, що витягнуті в струмені, відбувається внаслідок утворення на поверхні рідини, що розпилюється, стоячих капілярних хвиль кін-

цевої амплітуди. При досягненні певного рівня збудження, коли амплітуда капілярних хвиль починає перевищувати деяке порогове значення, відбувається різке зростання амплітуди, що викликано втраченою можливістю утримання силами поверхневого натягування рідини синусоїдальної форми капілярних хвиль. Це призводить до нестійкості хвиль, що супроводжується руйнуванням їх гребенів, з яких зриваються дрібнодисперсні краплі аерозолі. Слід відзначити, що оптимальний для диспергування рівень рідини залежить від властивостей рідини, що розпилюється. Так, при розпиленні води рівень повинен бути трохи вищий за фокальну точку, а при розпиленні бензину – нижчий [8].

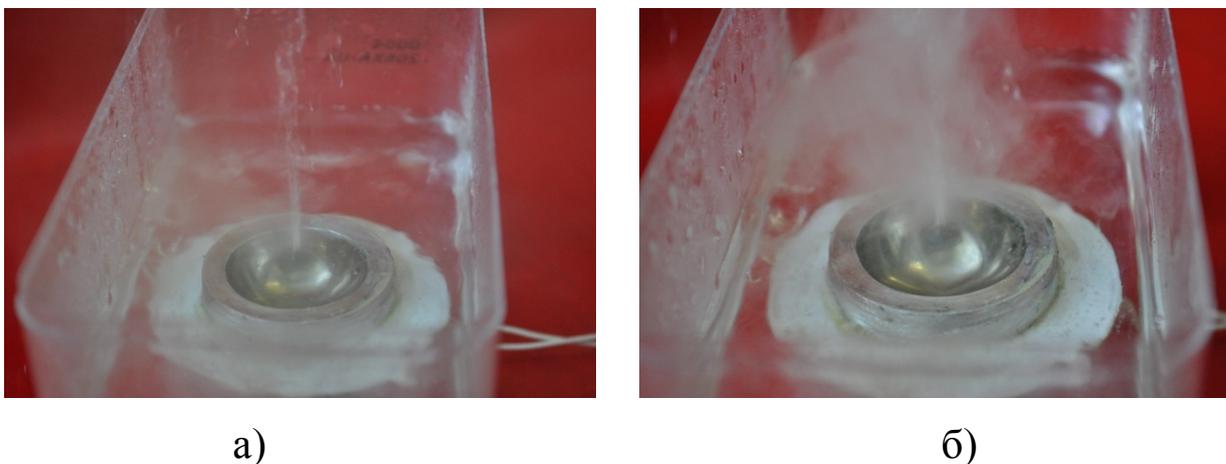


Рис. 3. Друга (а) та третя (б) стадії утворення ультразвукового фонтана

Продуктивність розпилення рідини зростає з ростом електричної потужності, що підводиться до п'єзоелектричного перетворювача диспергатора. Ця залежність має близький до аперіодичного закон з явно вираженою насиченістю. Продуктивність процесу розпилення зростає також при зменшенні коефіцієнту динамічної в'язкості рідини та з ростом величини тиску насиченої пари (табл.1). Оскільки вказані параметри рідини залежать від температури, то і продуктивність процесу диспергування росте з ростом температури. Таким чином, зростання продуктивності досягається за рахунок утворення додаткових крапель аерозолі. Дуже велика різниця у дисперсності аерозолі та великих крапель, що паралельно відлітають з рідини, дозволяє за допомогою простих уловлювачів повернути великі краплі до об'єму рідини.

Таблиця 1

Залежність продуктивності розпилення у фонтані від реологічних властивостей рідини

Тип рідини	N , Вт	f , МГц	$t^{\circ}C$	μ , 10^{-3} Нс/м ²	σ , Н/м	Q , 10^{-8} м ³ /с
Етиловий спирт	18	2,6	20±1	1,2	0,022	2,2
Вода	18	2,6	20±1	1,0	0,081	0,8
Метилловий спирт	18	2,6	20±1	0,6		3,7
Ацетон	18	2,6	20±1	0,32	0,023	5,3
Бензин	18	2,6	20±1	0,6	0,021	9,6

тут: N - потужність, що споживається; $t^{\circ}C$ - температура рідини, що розпилюється; Q - продуктивність.

Що ж стосується керування ультразвуковим фонтаном, то раніше неможливість регулювання процесу розпилення значно звужувала можливості використання цього способу в автоматизованих технологічних процесах. Враховуючи інерційність процесів утворення та руйнування капілярних хвиль, авторами зроблена спроба регулювання продуктивності розпилення в фонтані за рахунок застосування широтно-імпульсної модуляції сигналу збудження. Блок схема запропонованої системи керування представлена на рис. 4.

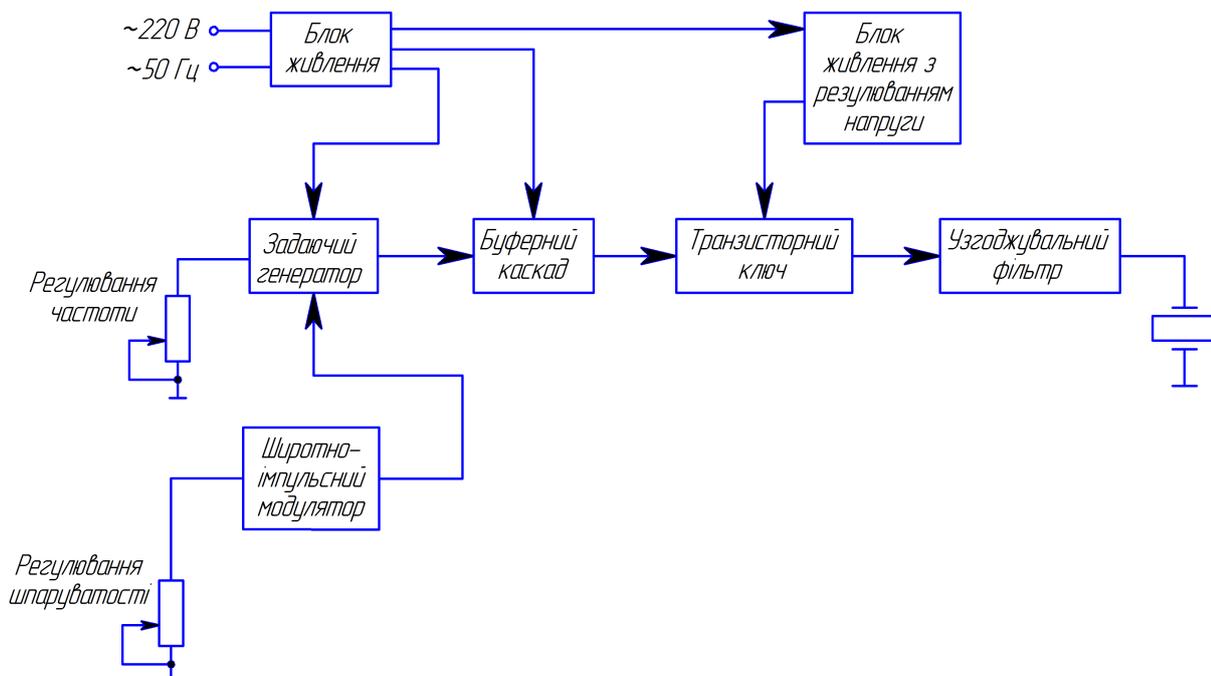


Рис. 4. Блок схема системи керування процесом ультразвукового розпилення в фонтані

Задаючий генератор формує імпульси з частотою, яка дорівнює резонансній частоті п'єзоелектричного перетворювача. Вихідний сигнал задаючого генератора модулюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з можливістю регулювання шпаруватості, яка визначається за допомогою рівняння.

$$t = \frac{T}{\tau}; \quad (1)$$

де t – шпаруватість; T – період; τ – тривалість.

ШІМ дозволяє регулювати співвідношення періодів збудження та вимкненого стану п'єзоелектричного перетворювача (рис. 5).

Сформовані пачки імпульсів через буферний каскад потрапляють на транзисторний ключ. З його виходу, через узгоджувальний

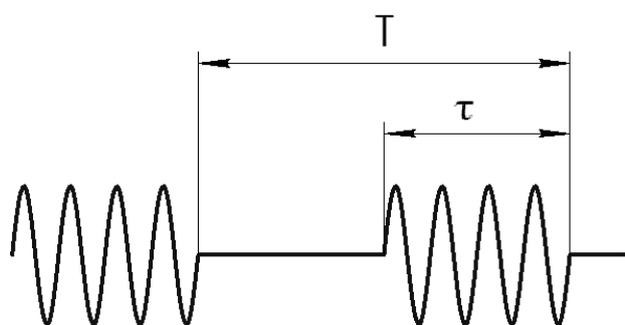


Рис. 5. Схема формування сигналу керування ультразвуковим фонтаном

фільтр передаються на перетворювач. Транзисторний ключ живиться від окремого блоку живлення, в якому передбачене плавне регулювання напругою (у нашому випадку 0...60 В). При регулюванні напруги живлення на транзисторному ключі можна плавно змінювати амплітуду сигналу, який подається на ультразвуковий перетворювач.

Шпаруватість t визначається в залежності від часу згасання процесу розпилення, тобто, від реологічних властивостей рідини і підбирається експериментальним шляхом.

Широтно-імпульсне регулювання ультразвуковим фонтаном підвищує ефективність цього способу розпилення та відкриває нові можливості застосування його в автоматизованих системах.

Висновки. Експериментальне дослідження ультразвукового способу розпилення в фонтані підтвердило ефективність отримання дрібнодисперсного аерозолі за рахунок фокусування ультразвукових коливань поблизу поверхні розділу рідини та газу. Показано, що продуктивність розпилення суттєво залежить від реологічних властивостей рідини.

Підтверджена можливість і ефективність регулювання продуктивності процесу ультразвукового розпилення в фонтані за рахунок широтно-імпульсного керування, що дозволяє використовувати подібні диспергатори в мехатронних системах.

Список літератури

1. Экнадиосянц О.К. Получение аэрозолей / О.К. Экнадиосянц; под ред. Л.Д. Розенберга / В кн.: Физические основы ультразвуковой технологии. – М.: Наука, 1970. – С. 339-392.
2. Луговський А.Ф. Ультразвукова кавтація в сучасних технологіях: монографія / А.Ф. Луговської, Н.В. Чухраєв. – К., 2007. – 244 с.
3. Луговський О.Ф. Проблеми побудови багатоточкових систем ультразвукового розпилення рідини / О.Ф. Луговський, А.В. Мовчанюк, В.І. Чорний // Вибрації в техніці і технологіях. – 2003. – № 3 (29). – С. 3-8.
4. Хмелев В.Н. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 22-36
5. Луговской А.Ф. Применение пьезоэлектрических преобразователей как путь совершенствования систем подготовки и подачи топлива в ДВС / А.Ф. Луговской // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение. – 1997. – Вып. 32. – С. 34-38.
6. Васильев С.Н. Двигатели внутреннего сгорания / С.Н. Васильев. – М.: Машиностроение, 1995. – Т.1. – 290 с.
7. Возможности получения мелкодисперсного аэрозоля в медицинских ингаляторах / А.Ф. Луговской, В.И. Чорный, Н.В. Чухраєв и др. // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение. – 2000. – Вып. 38. – С. 163-168.
8. Bisa K. Zerstaubung von Flüssigkeiten mit Ultraschall / Bisa K., Dirnagl K., Esche R. – Siemens Z., 1954. – P. 28, 8, 314.

Стаття надійшла до редколегії 10.10.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Рибін О.І.

А.В. Ляшок, А.Ф. Луговской. Ультразвуковой фонтан как способ получения мелкодисперсного аэрозоля. Приведен анализ ультразвукового способа распыления жидкости в фонтане с подводом ультразвуковой энергии со стороны жидкости. Экспериментальные исследования проведены с помощью установки, содержащей плоский пьезоэлемент и фокусирующую акустическую линзу. Показана возможность регулирования производительности ультразвукового фонтана с широтно-импульсной модуляцией, что позволяет использовать подобное устройство в мехатронных системах искусственного микроклимата.

Ключевые слова: мелкодисперсный аэрозоль, ультразвуковой фонтан, жидкость, пьезоэлементы, распыление.

A. Lyashok, A. Lugovskoy. Ultrasonic Fountain as a Way of Reception Finely Dispersed Aerosol. The analysis of the ultrasonic method of spraying liquid into the fountain to supply ultrasonic energy from the fluid is provided. Experimental studies conducted by the installation comprising a flat piezoelectric element and a focusing acoustic lens are described. The possibility of regulating the performance of the ultrasonic fountain with a pulse width modulation, which allows the use of such a device in mechatronic systems artificial microclimate, is shown.

Keywords: finely dispersed aerosol, ultrasonic fountain, liquid, piezoelements, dispersion.

© Ляшок А.В., Луговський О.Ф., 2012