

УДК 621.647.23

А.В. Ляшок,  
О.Ф. Луговський, д-р техн. наук  
Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”

## УЛЬТРАЗВУКОВЕ РОЗПИЛЕННЯ РІДИНИ У МЕХАТРОННИХ СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО МІКРОКЛІМАТУ

*Представлен анализ возможностей построения мехатронных систем искусственного микроклимата на базе диспергаторов с ультразвуковым способом распыления жидкости. Рассмотрено ультразвуковое распыление в фонтане и в тонком слое. Показан путь увеличения площади смачивания в распылителях, реализующих способ распыления в тонком слое, показана целесообразность использования подобных распылителей для увлажнения в помещениях с большой площадью. Рассмотрены особенности очистки жидкости для мехатронных систем искусственного микроклимата.*

*The analysis of the possibility of constructing artificial microclimate of mechatronic systems based on dispersive ultrasonic method of spraying liquid. Ultrasonic atomization is considered in a fountain and a thin layer. Shows the path of increasing the area of wetting in the spray, implementing the method of spraying a thin layer, the expediency of using such sprays for humidification in rooms with a large area. The features of the preparation of liquids for mechatronic systems, artificial microclimate.*

### Вступ

Використання мехатронних систем штучного мікроклімату активно поширюється в різних галузях. Так, наприклад, в медицині підтримка штучного мікроклімату необхідна в барокамерах для догляду за хворими та слабкими. Причому виникає потреба насичення замкнутого об'єму аерозолем ліків з дисперсністю в межах 0,5–5 мкм [1]. Особливої вологості (55–60% у літній період і 30–50% взимку) в лікарні потребують такі палати, як операційні, наркозні, пологові, палати для хворих з опіками шкіри та відділення для новонароджених і немовлят. Окрім підтримки вологості, ці приміщення потребують і дезінфекції, яку останнім часом можна здійснювати додатковим аерозольним способом за допомогою тих же розпилювачів, що використовують для підтримки мікроклімату. Цей спосіб забезпечує 100% обробку всіх поверхонь, у тому числі важкодоступних місць та знезаражує повітря [2].

Штучний мікроклімат необхідний у повсякденному житті людини, оскільки в наш час людина змушена проводити значну частину свого життя в приміщенні. Міські жителі у середньому 90% свого часу знаходяться у будівлі, і створення комфортних умов для них є запорукою здоров'я. Якщо освітлення, вентиляція, обігрів, водопостачання забезпечуються тою чи іншою мірою, то проблема підтримки необхідного рівня вологості у приміщенні часто вирішується за залишковим принципом або не вирішується взагалі. Разом з тим, фактор вологості відіграє значну роль, оскільки є одним із найважливіших показників ступеня комфортності [3]. Окрім цього, для зволоження приміщень необхідно використовувати дрібнодисперсний аерозоль, через те що великі краплини осаджуються на поверхнях у приміщеннях і це може призвести не тільки до неестетичного стану приміщення, а й до псування об'єктів, які знаходяться у зволоженуваному приміщенні.

Мехатронні системи штучного мікроклімату широко використовуються і в сільському господарстві. Так, наприклад, у тепличних комплексах для вирощування рослин потрібно створити необхідний клімат. Невірний вибір рівня вологості призводить не тільки до зниження росту та поганої врожайності, а й до хвороб і загибелі рослин [4]. Недостатня вологість призводить до неповноцінного розвитку рослин, пересихання листя, відпадання бутонів, низької врожайності. У свою чергу підвищена вологість призводить до значного ураження рослинних культур хворобами та їх загнивання.

Не існує такого рівня вологості, який би відповідав ефективному росту для різних сільськогосподарських культур водночас. Протягом свого існування рослина потребує різної кількості вологості. Так, для рослини, що розвивається (розсадний період), потрібна підвищена порівняно з дорослою (період врожайності) вологість. Тобто, для ефективного ведення тепличного господарства необхідно встановлювати такі системи зволоження, які підтримували б необхідний рівень вологості у теплиці в залежності не тільки від виду рослини, а й стадії її розвитку.

Ще однією проблемою в тепличному господарстві є діаметр крапель аерозолю, які осідають на листя рослин при зволоженні. Наприклад, використання аерозолю з діаметром краплин більше 300–400 мкм неприпустимо, оскільки великі рідинні краплі, що осіли на листову поверхню, за умови потужного штучного тепличного освітлення, перетворюються в оптичні фокусуєчі системи і ушкоджують листя, пропалюючи їх [5].

Отже, при побудові мехатронних систем штучного мікроклімату доводиться вирішувати проблему підтримки рівня вологості, температури, вмісту газів у повітрі, світла та тиску у замкнутому об'ємі. Якщо умова підтрим-

ки необхідної температури зазвичай вирішується за допомогою електронагрівальних приладів у складі системи автоматичного регулювання, то забезпечення певної вологості має низку особливостей, що визначаються специфічними вимогами, пов'язаними з областю застосування систем штучного мікроклімату.

При створенні мехатронних систем штучного мікроклімату, перш за все, необхідно вибрати спосіб розпилення рідини, який забезпечує можливість електронного керування параметрами процесу розпилення [1, 6–8]. Також необхідно забезпечити стабільність та надійність роботи системи розпилення при незначній продуктивності та сприятливих умовах для розмноження в рідині різних мікроорганізмів та водоростей. Усі ці вимоги можна задовольнити, використовуючи при створенні систем штучного мікроклімату ультразвукове розпилення.

Метою досліджень є аналіз можливостей створення мехатронних систем штучного мікроклімату з використанням ультразвукового розпилення рідини.

### Основна частина

Ультразвукове розпилення може здійснюватися двома способами — за рахунок підведення акустичної енергії з боку газового середовища, в яке розпилюється аерозоль, та за рахунок підведення акустичної енергії з боку рідини, яка розпилюється. У випадку підведення ультразвукових коливань з боку рідини можливе розпилення в фонтані та у тонкому шарі [9, 10].

Розпилення рідини у фонтані відбувається за рахунок введення у рідину високочастотних (1–3 МГц) ультразвукових коливань. Щоб досягти необхідного рівня інтенсивності ультразвукових коливань, застосовують акустичні фокусувальні системи, які забезпечують концентрацію ультразвукової енергії в точці поблизу поверхні розділу двох середовищ — рідини та газу. Частіше за все, цими фокусувальними системами є п'єзоелементи полусферичної форми або збиральні акустичні лінзи, на дно яких встановлюють пласкі п'єзокерамічні елементи (рисунок 1).

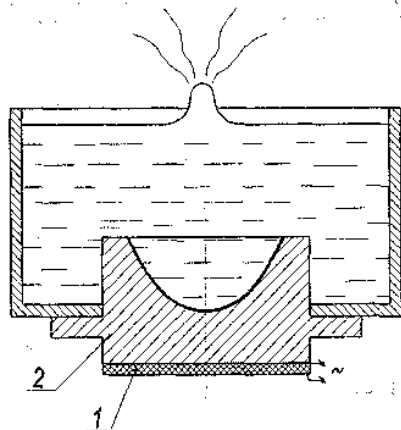


Рисунок 1 — Схема реалізації ультразвукового розпилення в фонтані (1 — п'єзокерамічний елемент; 2 — акустична лінза).

Інтенсивні кавітаційні процеси, які відбуваються поблизу фокальної точки, сприяють вириванню з об'єму рідини струменів та великих за розмірами крапель, на поверхні яких утворюються стоячі капілярні хвилі. При втраті стійкості з гребенів капілярних хвиль зриваються близькі до монодисперсних маленькі краплі аерозолі. А великі за розміром краплі, які не встигли диспергуватися, повертаються назад до об'єму рідини за допомогою системи відбивачів. Цей спосіб розпилення дозволяє отримати аерозоль з дисперсністю в межах 0,5–5 мкм.

Іншим способом ультразвукового розпилення рідини є розпилення у тонкому шарі, яке відбувається за рахунок введення ультразвукових коливань у тонкий шар рідини, що призводить до виникнення так званого кавітаційно-хвильового механізму розпилення. Реалізувати цей спосіб допомагають спеціальні ультразвукові диспергатори (рисунок 2), в яких необхідні амплітуди коливань, при яких досягається руйнування капілярних хвиль на поверхні шару рідини, забезпечується за рахунок застосування трансформаторів коливальної швидкості [9–11].

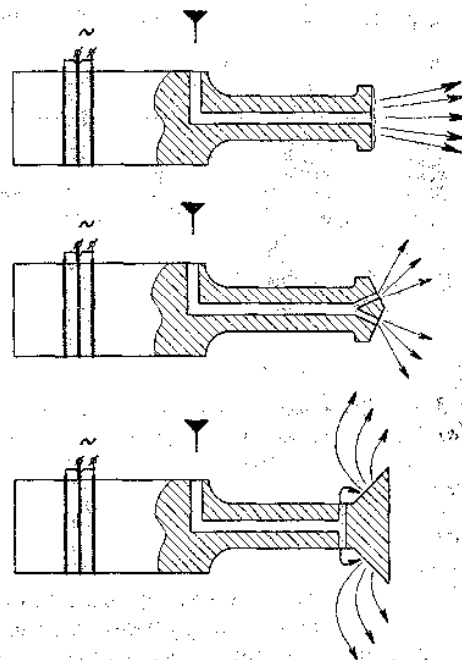


Рисунок 2 — Схема реалізації ультразвукового розпилення у тонкому шарі з утворенням факелів різної форми.

Цей спосіб розпилення реалізується зазвичай на частотах 20–100 кГц і дозволяє забезпечити необхідну форму аерозольного факелу з дисперсністю аерозолі 5–20 мкм. Кавітаційний принцип отримання аерозолі в ультразвукових диспергаторах забезпечує постійне очищення каналів підводу рідини, що зменшує вимоги до якості попереднього очищення рідини.

Він є найбільш поширеним у мехатронних системах штучного мікроклімату. Відрізняється низькою споживаною потужністю, малою інерційністю та широкими можливостями автоматичного керування.

Для насичення приміщення аерозолем та забезпечення необхідної його концентрації використовують один або, в певних випадках, декілька диспергаторів (рисунок 3), забезпечуючи якісну гомогенізацію суміші, яка подається.



а)



б)

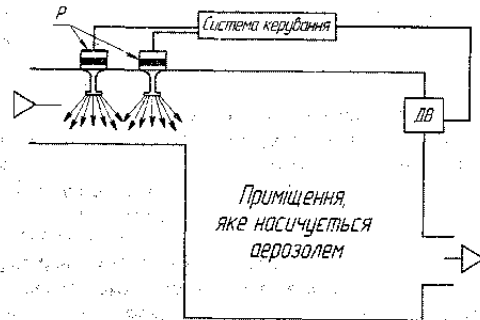
Рисунок 3 — Одиничний ультразвуковий диспергатор (а) і багатоточкова панель диспергаторів (б)

для механотронних систем штучного мікроклімату.

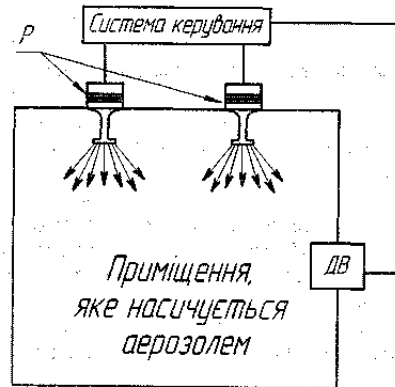
Так, наприклад, для приміщень, в яких умовами виробництва передбачено систему вентиляції і приблизно однаковий тепловий режим у різних частинах приміщення, доцільно використовувати схему установки диспергаторів у вентиляційній трубі (рисунок 4а). Але за наявності стелажів і кутів у приміщенні виникають сухі зони, що інколи є неприпустимим.

Якщо приміщення не має різних теплових ділянок і наявність повітряних протягів є неприпустимим, краще використовувати схему установки диспергаторів на стелі зі спільною системою керування (рисунок 4б). Вона реалізується при розміщенні диспергаторів на певній відстані один від одного. Надійність такої схеми незначна [12]. Більшу надійність забезпечує схема (рисунок 4в), яка передбачає наявність систем керування у кожного диспергатора. Така система може бути рекомендована для великих скляних сільськогосподарських теплиць. При наявності на небі хмар сонце нерівномірно обігріває такі теплиці, створюючи ділянки підвищеної і пониженої температури. Для досягнення рівномірної вологості в такому приміщенні необ-

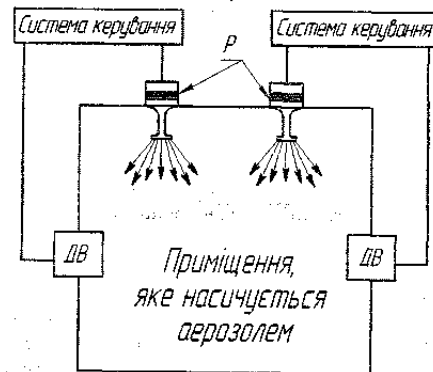
хідно застосовувати багатоточкову розподілену систему ультразвукового розпилення [13] з відповідною кількістю датчиків вологості. При цьому площа теплиці розбивається на сектори, які обслуговуються одним або декількома диспергаторами. Кожний сектор має свій датчик вологості. Площа таких секторів залежить від розміру факелу розпилення, створюваного диспергатором.



а)

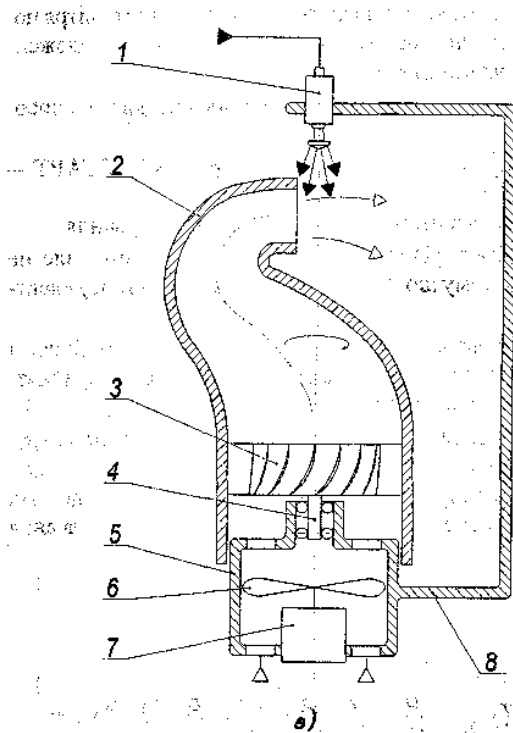


б)



в)

Рисунок 4 — Схема установки диспергаторів а) — розташування у вентиляційній трубі; б) — блок диспергаторів розташовано на стелі і має спільну систему керування; в) — розташований на стелі з окремою системою керування на кожному диспергаторі (ДВ — датчики вологості, P — ультразвукові диспергатори).



Але звичайні ультразвукові диспергатори з розпиленням у тонкому шарі не дозволяють отримати факел аерозолі з великою площею зволоження. Тому для випадків великих площ зволоження розроблено спеціальні диспергатори з обертальним [14] та нерухомим [15] направляючими апаратами.

Диспергатор з обертальним направляючим апаратом складається з п'єзоелектричного перетворювача, на вихідному кінці якого сформовано розпилюючу поверхню, та системи підводу рідини до розпилюючої поверхні. Співосно з розпилювачем додатково встановлено направляючий апарат та вентилятор з електроприводом, потік повітря з якого спрямований до направляючого апарата (рисунок 5).

Встановлення направляючого апарата та вентилятора з електроприводом дозволяє створити потік повітря, який розносить аерозоль на велику відстань у напрямку потоку. Це дозволяє значно розширити факел розпилення та запобігти коагуляції крапель аерозолі.

У цих розпилювачах використовують плоску або з невеликою конусністю розпилюючу поверхню, оскільки потік повітря у даному випадку досить низький і сконцентрований. Направляючий апарат Г-подібної форми з приводом повітря знизу, обертається навколо своєї осі, а на вході його нерухомо відносно нього встановлено нахилені лопатки.

Таке виконання пристрою дозволяє сформувати потужний потік повітря, спрямований тільки в одному напрямку і віднести аерозоль на велику відстань. Застосування лопаток дозволить за рахунок потоку повітря обертати направляючий апарат і, відповідно, зволожувати велику площу. Електропривод вентилятора забезпечує керування швидкістю обертання, що дозволяє за допомогою електронної автоматичної системи керування управляти розмірами площі розпилення. При більших обертах електропривода площа розпилення збільшуватиметься, а при менших — зменшуватиметься.

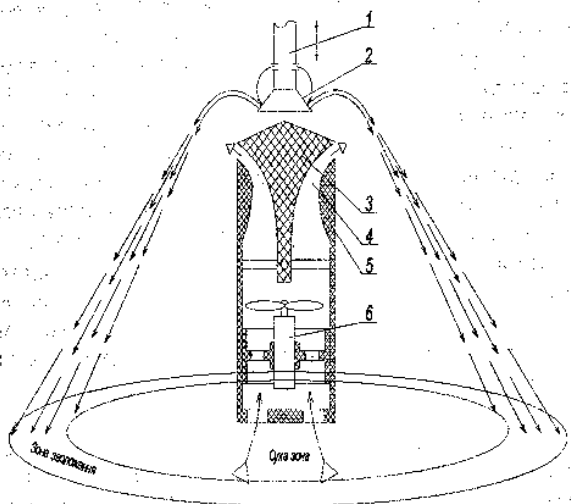
Застосування запропонованого ультразвукового розпилювача рідини дозволить отримати якісний дрібнодисперсний аерозоль, що розпилюється на великі площі. Випробування експериментального зразку підтвердили можливість зволоження кола діаметром 3 м. Однак наявність обертової пари суттєво зменшує надійність розпилювача. Попадання вологи в обертовий механізм направляючого апарата може призвести до його заклинення. Щоб уникнути цього слід застосовувати спеціальні вологозахисні підшипники.

З метою підвищення надійності розроблено конструкцію розпилювача з нерухомим пневматичним направляючим апаратом (рисунок 6а, б).

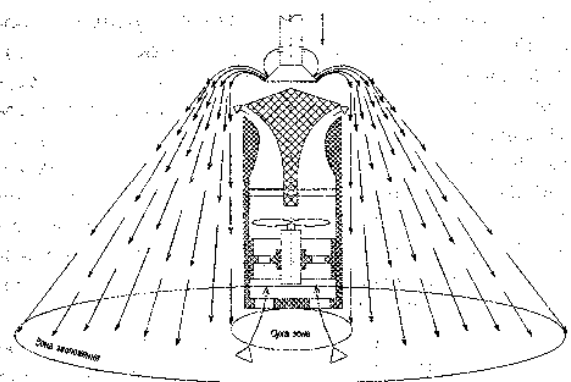
Особливість цього пристрою полягає в тому, що співосно з розпилюючою поверхнею напроти вихідного кінця трансформатора швидкості встановлено направляючий апарат, який є нерухомим і зроблений з віялоподібним виходом. Виконання поверхні розпилення у вигляді усіченого конуса дозволяє попередньо розширити факел розпилення, зробивши його парасолькової форми. Це дозволить з самого першого моменту утворення аерозолі запобігти шкідливій коагуляції і краще подати аерозоль у

Рисунок 5 — Розпилювач з обертальним направляючим апаратом (а — конструктивна схема (1 — розпилювач; 2 — направляючий апарат; 3 — лопатки; 4 — підшипник; 5 — корпус вентилятора; 6 — вентилятор; 7 — електропривод; 8 — кронштейн); б — готовий пристрій).

потік повітря, який забезпечується за допомогою вентилятора з електроприводом, що розміщено на вході в направляючий апарат.



а)



б)

Рисунок 6. Схема ультразвукового диспергатора з розпиленням у тонкому шарі та пневматичним направляючим апаратом

а) — направляючий апарат з електродвигуном з постійним сигналом, б) — з модульованим сигналом;

1 — розпилювач, 2 — відбиваюча поверхня розпилювача, 3 — направляюча, 4 — формуючий канал повітряного потоку, 5 — корпус пневматичного направляючого апарата, 6 — електродвигун з насадженим на його вал повітряним гвинтом.

При постійній швидкості обертання потік повітря постійний (рисунок 6а). При цьому в центрі кола зволоження утворюється значна суха площа.

Зменшення сухої зони можна досягти двома способами (рисунок 6б):

- збуджувати електродвигун в режимі «СТАРТ—СТОП»;
- застосовувати модульований сигнал керування.

Перший варіант вирішує наявну проблему, але не підходить, тому що призводить до швидкого зносу електродвигуна.

Моделювання сигналу вирішує питання довговічності електродвигуна, тому інший варіант є найбільш прийнятним і задовольняє умови.

Рациональну схему розміщення диспергаторів з нерухомим направляючим апаратом зображено на рисунку 7. Всі диспергатори розміщено на певній відстані один від одного та підключено до гідравлічної системи постачання рідини.

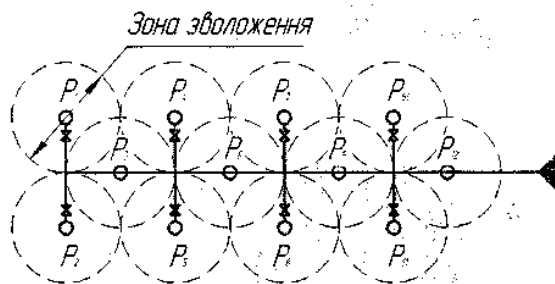


Рисунок 7. Схема розміщення диспергаторів у приміщеннях з великою площею (P — диспергатор).

Наступною проблемою при створенні мехатронної системи штучного мікроклімату є забезпечення стабільності роботи системи підведення рідини. Якщо при створенні системи штучного зволоження в теплиці не передбачити попередню спеціальну підготовку та очищення рідини, то через певний час за наявності тепла і світла у трубопроводах активно розмножуються водорості та мікроорганізми. Певне знезараження рідини відбувається на розпилюючій поверхні, але не в магістралі. Тому в мехатронних системах штучного мікроклімату доцільно додатково застосовувати ультразвукову кавітаційну обробку рідини, яку можна здійснювати в процесі кавітаційного фільтрування (рисунок 8). Її застосування призведе до знищення мікроорганізмів, що паразитують у трубопроводі, а це значно збільшить час експлуатації даної системи зволоження.

Ультразвукове кавітаційне очищення фільтрувального елемента забезпечить у системі підтримку стабільного тиску рідини і, відповідно, забезпечить стабільно високу якість аерозолю, що отримується.

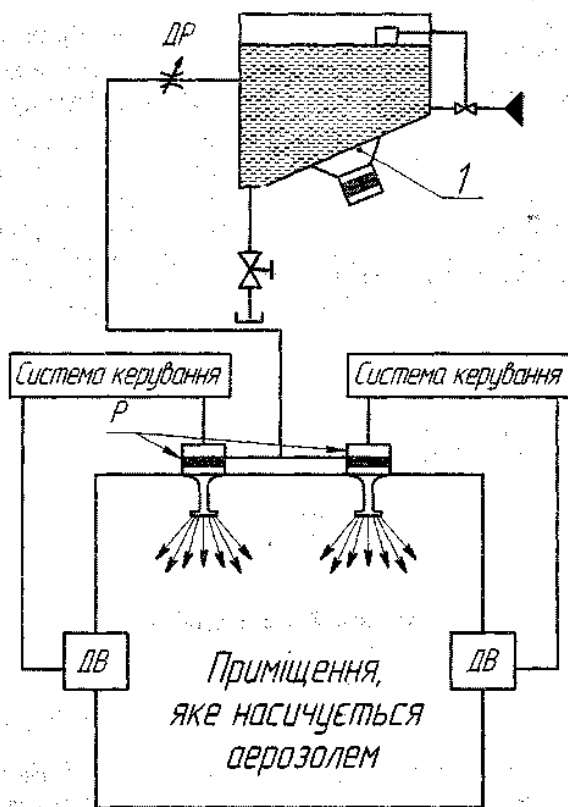


Рисунок 8. Схема гідромережі  
1 — пристрій для ультразвукової фільтрації рідини;  
ДР — регульований дросель; Р — ультразвуковий диспергатор; ДВ — датчик вологості).

### Висновки

Обґрунтовано можливість побудови мехатронних систем штучного мікроклімату із застосуванням аерозолів, отриманого шляхом ультразвукового розпилення в тонкому шарі. Висвітлені проблеми, що виникають при виборі схеми побудови мехатронної системи та застосуванні ультразвукових розпилювачів.

Показано можливості зволоження великих площ за рахунок застосування вентиляторів з обертальними та нерухомими направляючими апаратами. Надані рекомендації щодо підвищення рівномірності зволоження великих площ при застосуванні подібних диспергаторів.

Надано рекомендації щодо підвищення надійності та стабільності роботи мехатронних систем штучного мікроклімату за рахунок застосування ультразвукового знезараження та фільтрування рідини, що розпилюється.

### Література

1. Луговський, О.Ф. Спосіб та пристрій для отримання рідинного аерозолів / О.Ф. Луговський, А.В. Ляшок, Ю.О. Пижиков // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. — 2011. — № 61, Т. 1. — С. 107—113.

2. 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. — 250 с.

3. Ластовець, Н.В. Анализ изменения влажности воздуха в помещении при применении местно-центральной системы кондиционирования с вентиляторными доводами / Н.В. Ластовець // Научно-технический сборник. — 2008. — С. 223—227.

4. Michael A. Dixon, Ph.D. HUMIDITY CONTROL ALGORITHM IN THE GREENHOUSE / A. Michael, Ph. D. Dixon // Department of Horticultural Science University of Guelph <http://www.microcool.com/> — 2003. — Pg. 4.

5. Луговской, А.Ф. Ультразвуковое распыление в системах подготовки топливно-воздушной смеси / А.Ф. Луговской // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Зб. Наук. Пр.— Кіровоградського держ. Техн. уні-ту. — 2000. — Вип. 7. — С. 30—33.

6. Пажи, Д.Г. Основы техники распыления жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. — М.: Химия, 1984. — 256 с.

7. Луговський, О.Ф. Отримання дрібнодисперсного аерозолів шляхом ультразвукового диспергування / О.Ф. Луговський // Вестн. Нац. техн. ун-та України «КПІ». Машиностроение. — 1999. — Вип. 34. — С. 193—202.

8. Луговський, О. Ф. Ультразвукове розпилення рідини та можливості його застосування в технологічних процесах / О.Ф. Луговський, О. М. Яхно // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. Всеукраїнський збірник наукових праць. — 2004. — Вип. 64. — С. 49—55.

9. Экнадысянц, О.К. Получение аэрозолей / О.К. Экнадысянц. — В кн.: Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. Л.Д. Розенберга. — М.: Наука, 1970. — С. 339—392.

10. Луговський, А.Ф. Ультразвуковая кавтация в современных технологиях: монограф / А.Ф. Луговської, Н.В. Чухраев. — К. 2007. — 244 с.

11. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. — М.: Сов. энцикл., 1979. — 400 с.

12. Луговський, О.Ф. Проблеми побудови багатоточкових систем ультразвукового розпилення рідини / О.Ф. Луговський, А. В. Мовчанюк, В. І. Чорний // Вибрации в технике и технологиях. — 2003. — № 3 (29). — С. 3—8.

13. Луговський, О.Ф. Проблеми побудови багатоточкових систем ультразвукового розпилення рідини / О.Ф. Луговський, А.В. Мовчанюк, В. І. Чорний // Вибрации в технике и технологиях. — 2003. — № 3 (29). — С. 3—8.

14. Патент України на корисну модель № 54053. Пристрій для ультразвукового розпилення рідини / О.Ф. Луговський, А.В.Мовчанюк, С.А. Кривко, І.А. Гришко — Опубл. 25.10.2010. — Бюл. №20.

15. Патент України на корисну модель № 54054. Пристрій для ультразвукового розпилення рідини / О.Ф. Луговський, А.В. Мовчанюк, С.А. Кривко, І.А. Гришко — Опубл. 25.10.2010. — Бюл. №2.

Надійшла 20.05.2011 р.