

# Моделювання процесу розділення двофазної рідини в середовищі високотемпературних газів

О. М. Яхно<sup>1</sup> • О. Ф. Луговський<sup>1</sup> • І. А. Гришко<sup>1</sup> • М. В. Мазур<sup>1</sup>

Received: 9 July 2024 / Revised: 15 August 2024 / Accepted: 24 September 2024

**Анотація.** Отримання якісного високодисперсного розчину солі може бути реалізовано з сольового розчину методом ультразвукового впливу. Як відомо, концентровані сольові розчини можуть бути представлені у вигляді газорідного середовища. Вплив ультразвуку, в разі змочування тонким шаром, віброуючої з ультразвуковою частотою, поверхні, призводить до утворення кавітаційного прошарку в шарі рідини та капілярних хвиль на його поверхні, з гребнів яких, при певній інтенсивності коливань, зриваються дрібнодисперсні краплини аерозолі.

Відрив крапель з віброуючої поверхні призводить до розпорошення сольового розчину з подальшим поділом гідродинамічних процесів. Подальший технологічний процес пов'язаний з тим, що розпорошений сольовий потік може бути представлений у вигляді трьох методів подальшої переробки рідкого середовища: гравітаційного стікання з вертикальної твердої поверхні; дроблення крапель у кавітаційному потоці та обробки розчину під дією відцентрових сил. При розпилі рідини в першому випадку – формується тонка рідинна плівка, що гравітаційно стікає з вертикальної поверхні з виміром своєї товщини за рахунок дифузії або випарювання. Цей процес залежить від числа Рейнольдса і здійснюється на ділянці, що характеризується інтенсивністю дифузії. З метою інтенсифікації процесу виділення солі в даному випадку поверхня, на якій формується плівка може бути профільованою. Паралельно даному процесу в технологічному обладнанні, що розглядається, передбачено процес випарювання дрібнодисперсного аерозолі в високотемпературному турбулентному потоці повітря. Дроблення сольового розчину до дрібнодисперсного стану дозволяє суттєво збільшити поверхню контакту з нагрітим повітрям, що дозволяє інтенсифікувати процес дифузії.

Таким чином, у розглянутій статті подається фізико-хімічне моделювання процесу виділення солі з солевих розчинів на основі її кавітаційної ультразвукової обробки з подальшим використанням методів фізико-хімічної гідромеханіки.

**Ключові слова:** ультразвук; ультразвукове розпилення; кавітація; випарювання; знесолення; ультразвуковий випромінювач, кавітаційно-хвильове розпилення, монодисперсний аерозоль.

## Вступ

Дослідження технологічних процесів, пов'язаних з поділом двофазних рідинних систем типу дисперсій на тверду та рідку фази, являється актуальною задачею фізико-хімічної гідродинаміки. При вирішенні цієї задачі виникають проблеми фізичного впливу на багатофазні потоки різноманітного типу факторів з подальшою організацією процесу розділення фаз. Відомі наступні способи демінералізації води: іонний обмін, зворотний осмос, дистиляція та електродеіонізація.

Кожен з цих способів має свої переваги та недоліки. Найбільш привабливим, але і найбільш енерговитратним є спосіб дистиляції. Тому підвищення ефективності цього способу є актуальним завданням. Одним із шляхів вирішення даної задачі є застосування акустичного впливу на рідке середовище з метою збудження явища ультразвукової кавітації з вторинними ефектами, що його супроводжують [1]. В даному випадку мова йде про ультразвукове диспергування сольового розчину з метою отримання дрібнодисперсного аерозолі, що дозволить кардинально збільшити поверхню контакту двофазного розчину з гарячим повітрям і, відповідно, підвищити ефективність процесу випарювання рідини та видалення твердої фази.

**Метою статті** є створення математичної моделі процесу виділення солі з солевих розчинів за умови

✉ О. Ф. Луговський  
atoll-sonic@ukr.net

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

застосування технології ультразвукового кавітаційного розпилення розчину до стану дрібнодисперсного аерозолю. З подальшим випаровуванням рідкої фази методами гідромеханіки в установці для знесолення морської води, що дозволить в подальшому встановити раціональні конструктивні параметри та технологічні режими роботи установки і досягти високої ефективності технологічного процесу розділення фаз сольового розчину.

Для досягнення поставленої мети забезпечення ефективності технологічного процесу розділення фаз сольового розчину необхідно провести дослідження особливостей збудження ультразвукової кавітації в двофазному середовищі з урахуванням його реологічних властивостей та розробити ефективні методи розділення твердої та рідкої фаз, спираючись на які запропонувати схемне рішення установки для знесолення морської води.

### Аналіз дослідження

Розглянемо цей технологічний процес на прикладі актуальної задачі знесолення сольового розчину з відомими реологічними властивостями, наприклад, морської води.

Для досягнення високої ефективності зовнішнього впливу на рідину, що підлягає знесоленню, доцільно, перш за все, забезпечити кардинальне збільшення площі поверхні соленої рідини. Тобто, солену рідину необхідно перетворити в дрібнодисперсний аерозоль [2]. З цією метою доцільно застосувати технологію ультразвукового розпилення в тонкому шарі, яка дозволяє отримати близький до монодисперсного аерозоль в діапазоні 10...20 мкм при частоті збудження ультразвукового диспергатора в межах 22...66 кГц. При цьому диспергатор являє собою поздовжню резонансну систему з пучністю коливань на торцевій поверхні, яка постійно змочується тонким (0,3...0,8 мм) шаром рідини. Ультразвукова хвиля деформації, що встановилася по довжині диспергатора, забезпечує нормальні коливання торцевої поверхні, а відповідно і шару рідини, що її змочує [3], [4]. При цьому унаслідок інерційних властивостей рідини на її поверхні утворюються стоячі капілярні хвилі (рис. 1), що мають частоту вдвічі меншу за частоту збудження диспергатора [5], [6]. Довжина капілярних хвиль при цьому дорівнює:

$$\lambda_k = \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2}}, \quad (1)$$

де:  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини,  $\rho$  – густина рідини;  $f$  – частота акустичних коливань.

При подальшому збільшенні амплітуди коливань змоченої віброуючої поверхні диспергатора під шаром рідини починає розвиватись процес кавітації у вигляді утворення кавітаційного прошарку (рис. 2).

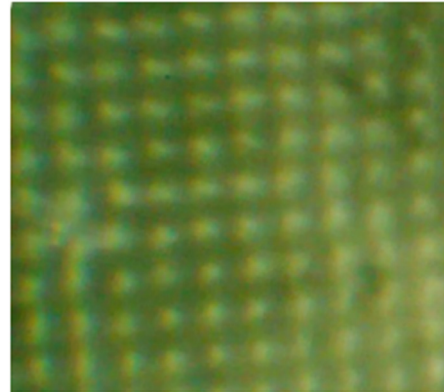


Рис. 1. Геометрія розташування капілярних хвиль на поверхні коливання

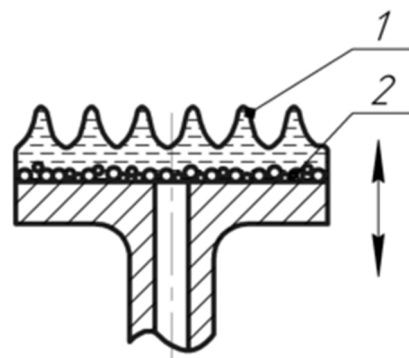


Рис. 2. Схема утворення капілярних хвиль та кавітаційного прошарку при розпиленні в тонкому шарі (1 – капілярні хвилі, 2 – кавітаційний прошарок)

Певна інерційність руху кавітаційної бульбашки допомагає підтримувати та частково збільшувати капілярні хвилі. При досягненні певної амплітуди капілярних хвиль інерційні сили починають переважати сили поверхневого натягу, що призводить до руйнування цілісності капілярної хвилі і відриву від її гребня краплинки аерозолю, яка під дією кінетичної енергії відлітає нормально від поверхні розпилення. Починається, так зване, капілярно-хвильове розпилення рідини з високим рівнем монодисперсності аерозолю, що утворюється (рис. 3). При сплескуванні кавітаційної бульбашки, в процесі кавітації, біля “твердої” стінки утворюються потужні кумулятивні струмені, які спрямовані в бік “твердої” поверхні і призводять до руйнування випромінюючої поверхні ультразвукового перетворювача (диспергатора), тобто кавітаційної ерозії. Сферичні ударні хвилі, що виникають при сплескуванні кавітаційної бульбашки в об’ємі прошарку не біля віброуючої твердої поверхні або сусідніх бульбашок призводять до порушення монодисперсності аерозолю внаслідок викидання краплинок рідини з бокової поверхні кавітаційного прошарку. Починається, так зване, кавітаційно-хвильове розпилення, при якому рівень монодисперсності погіршується [5].

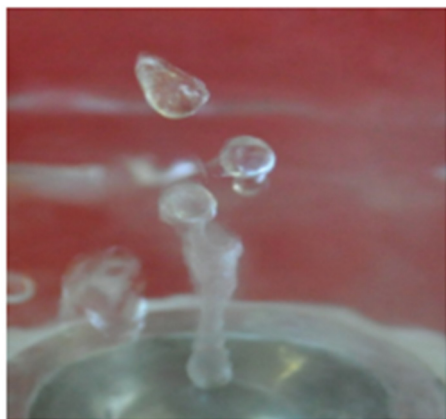


Рис. 3. Руйнування капілярних хвиль на поверхні рідини з відривом краплин

Для подальшого застосування дрібнодисперсного аерозолі в технологічному процесі розділення двофазної рідини запропонована схема технологічного обладнання для знесолення морської води рис. 4 [7].

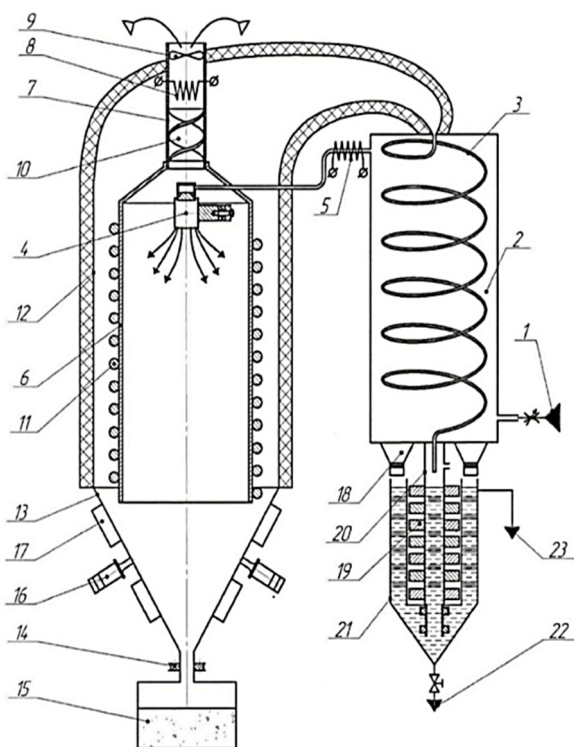


Рис. 4. Схема установки для знесолення морської води

Дана схема технологічного обладнання функціонує наступним чином:

Через трубопровід 1 до замкнутої ємності 2 подається солоня вода, яка перед подачею на ультразвуковий кавітаційний розпилювач 4, попередньо нагрівається за допомогою нагрівального елемента 5. Комбінація шнекового направляючого апарату 10, нагрівального елемента 8 та вентилятора 9 у верхній частині ус-

тановки забезпечує утворення високотемпературного закрученого потоку в середині циліндричної колони реакторної камери 6, а також сприяє її додатковому прогріванню разом з нагрівальним елементом 11. На виході із ультразвукового розпилювача 4 утворюється аерозоль з дисперсністю краплин 10...20 мкм, які потрапляють у закручений потік розігрітого повітря. Внаслідок дії на аерозоль відцентрових сил та турбулізації потоку повітря краплинки аерозолі змочують розігріту стінку реакторної колони 6 з утворенням стікаючої плівки, насичують гарячий потік повітря, що рухається до виходу з колони і інтенсивно випаровуються, що призводить до підвищення концентрації солі та її кристалізації. На виході з реакторної колони, насичений паром, потік повітря розвертається на 180° і піднімається вгору між зовнішньою поверхнею колони реакторної камери 6 та зовнішнім термозахищеним корпусом 12 для подальшої конденсації за рахунок охолодження в теплообмінному агрегаті 3. При цьому, внаслідок дії відцентрових сил кристали солі видаляються з потоку повітря і потрапляють у солезбірник з конічною поверхнею. На конічну поверхню збірника за допомогою ультразвукових вібраторів 16 накладені механічні коливання, що запобігає налипанню кристалів солі на конічну поверхню. Теплообмінний агрегат 3 постійно охолоджується завдяки відносно холодній морській воді, що прокачується через камеру 2, в якій розміщено теплообмінний агрегат 3 і в якій завдяки ультразвуковим випромінювачам 18 підтримується кавітаційний режим, який запобігає утворенню інкрустації на поверхні теплообмінного агрегату. Знесолений конденсат потрапляє до корпусу 21 та проходить через знакозмінне магнітне поле, утворене кільцевими магнітами 19, що забезпечує затримання іонів важких металів. Зливання іонного осаду здійснюється через клапан 22.

Для вище розглянутої схеми опріснення води можна виділити реалізацію трьох принципів розділення твердої та рідкої фаз:

- 1) метод розділення фаз на основі реалізації процесу термічного випаровування у рідинних плівках, що гравітаційно стікають по вертикальній поверхні;
- 2) розділення фаз у наслідок випаровування крапель, що гравітаційно рухаються в турбулентному потоці гарячого повітря в центральній частині апарату;
- 3) розділення фаз у гвинтовому турбулентному потоці під дією масових сил.

В даних трьох випадках (особливо для центральної частини та гвинтового потоку) ефективність процесу розділення пов'язана з реологічними характеристиками соляного розчину.

На даному етапі соляний розчин можна розглядати як дисперсію при наявності твердої та рідкої фаз.

Вплив форми суспендованих частинок на залежність в'язкості суспензії від концентрації можна розглянути для простого випадку - при сферичній формі включень. При рівномірному розподілі сфер в об'ємі розчину, що розглядається, його відносна в'язкість в

**Таблиця 1.** Вплив форми частинок на залежність в'язкості розбавлених суспензій від концентрації

Форма частинок	$k_1$	Дослідники
Сфера	2,26	Гут, Симха, Голд
Сфера	2,01	З урахуванням виключеного об'єму – Гут, Симха, Голд, а також Бюргерс та Саїто
Сфера	0,745; 1,17	З та без урахування колізії частинок – Ванд
Гантель, жорсткий стрижень	0,77	Симха
Гантель	$0,73 \left( 1 + \frac{311\alpha}{5L} \right)$	Райзман та Ульман
Жорсткий стрижень	0,77	Райзман та Ульман
Центросиметрична гнучка молекула	0,6	Райзман та Ульман

залежності від концентрації може бути виражена через модифіковану формулу Ейнштейна [8]:

$$\eta_{відн} = 1 + \frac{3L^2}{2\alpha^2} \varphi + \frac{87L^4}{50\alpha^4} \varphi^2, \quad (2)$$

де:  $\eta_{відн}$  – відносна в'язкість розчину,  $\varphi$  – об'ємна концентрація розсіювачів,  $\alpha$  – діаметр сфери,  $L$  – деяка константа.

Вплив різних форм частинок на залежність в'язкості розбавлених суспензій від концентрації за даними різних досліджень є представленим у табл. 1.

В залежності від концентрації та особливості розчинів може також змінюватись значення коефіцієнту дифузії, що необхідно враховувати при вирішенні задач масообміну в сольових розчинах [9].

Дослідження розділу фаз на основі процесу дифузії в тонких гравітаційно стікаючих плівках рідини наведено в роботі [10].

Як відомо, утворення тонкої рідинної плівки на вертикальній поверхні буде відбуватися наступним чином (рис. 5): при стіканні рідини через розпилювальний пристрій на початковій стадії формується так звана гідродинамічна початкова ділянка. Надалі йде ділянка стабілізованої течії, а потім ділянка хвильової течії [10], [11].

Закон руху плівки вздовж гладкої вертикальної поверхні з урахуванням того, що нормальна до поверхні складова швидкості буде незначною, описується наступним виглядом рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -v \frac{\partial p}{\rho \partial x} + \nu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + g, \quad (3)$$

де:  $v_x$  та  $v_y$  – складові швидкості,  $\rho$  – гідростатичний тиск,  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини.

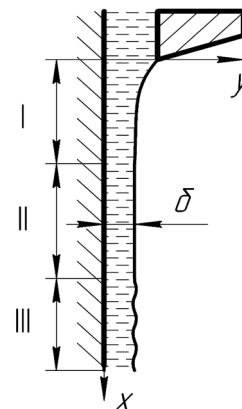
З нього надалі можна виразити значення швидкостей за стабілізованої течії:

$$v_x = \frac{g}{\nu} y \left( \delta - \frac{y}{2} \right). \quad (4)$$

Значення епюри швидкостей підставляється у загальне рівняння дифузії, з якого можна визначити, яким чином відбувається розподіл концентрації по довжині плівки. На основі аналізу даного розподілу визначається довжина умовної ділянки плівки, що характеризується повною дифузиею [12]:

$$l_D = k_2 \times \delta \times P_r, \quad (5)$$

де  $k_2$  – величина, що залежить від концентрації солі, реологічних властивостей рідини та товщини плівки.



**Рис. 5.** Схема рідинної плівки на плоскій вертикальній поверхні (I – гідродинамічна початкова ділянка, II – ділянка стабілізованої течії, III – хвильова ділянка,  $\delta$  – товщина плівки)

З метою інтенсифікації процесу розділу фаз поверхня, якою стікає рідинна плівка, може бути гофрованою.

В такому випадку розподілення швидкостей на початковій ділянці буде суттєвим для обох складових в порівнянні із гладкою поверхнею. Тому система рівняння Нав'є-Стокса на гідродинамічній початковій ділянці буде наступною [10], [12]:

$$v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + g, \quad (6)$$



$$v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right), \quad (7)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (8)$$

де:  $v_x$  та  $v_y$  – складові швидкості,  $\rho$  – гідростатичний тиск,  $v$  – кінематична в'язкість рідини.

При стабілізованій плівковій течії:

$$v_x = \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) + g, \quad (9)$$

$$v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right), \quad (10)$$

$$f'(x) = \frac{v_y}{v_x}. \quad (11)$$

Геометрія поверхні гофрованої стінки можна виразити деякою функцією  $y = f(x)$ , похідною якої є:

Хвилястість поверхні є невеликою –  $|f'(x)| \ll 1$ , а товщина плівки  $\delta$  є значно меншою за довжину хвилі поверхні.

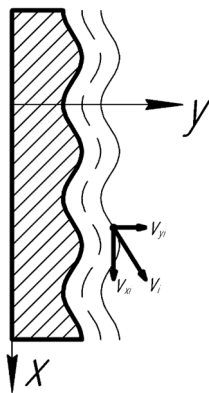


Рис. 6. Умовна схема розподілу складових швидкостей течії плівки на гофрованій поверхні

Розглядаючи плівкову течію по профільованій поверхні можна зробити висновок, що інтенсифікація дифузійного процесу досягається за рахунок появи другої складової швидкості, а також збільшення загальної площі поверхні розділу за рахунок ускладненої геометрії стінки.

Також в розглянутій схемі інтенсифікація процесів масообміну, а як результат – виділення солі із розчину, може відбуватися за рахунок додаткового дроблення краплин у газовому середовищі на етапі ультразвукового розпилення рідини. Значення критичного радіусу дроблення краплі у рідинному середовищі знаходиться наступним чином:

$$\alpha_{кр} = 2,3 \frac{\sigma}{\rho U_{кр}^2}, \quad (10)$$

де  $\alpha_{кр}$  та  $U_{кр}$  – критичні радіус та швидкість, при яких відбувається дроблення.

Також для ініціації дроблення краплі необхідно, щоб число Рейнольдса зовнішньої рідини становило:

$$Re = \frac{U\alpha}{\nu} > 10.$$

Через перебування краплі рідини у менш в'язкому повітряному середовищі та коливань потоків створюваних дії ультразвукового диспергатора вірогідність виконання критичних умов дроблення краплин солоної води в розглянутій схемі має місце.

Дроблення крапель сприяє процесам масообміну за рахунок збільшення сумарної площі поверхню розділу рідини та газового середовища.

Наявність відцентрових сил в закручених потоках може призводити не лише до інтенсифікації процесів дифузії, а також і теплообміну. Їхня дія може мати активний та консервативний характер. Ступінь впливу може проявлятися за рахунок наявності в каналах гвинтових вставок, шнеків, лопаток, стрічкових змішувачів та у випадках тангенціального підводу рідини. Структура потоків в трубі у полі відцентрових сил має наступний вигляд (рис. 7).

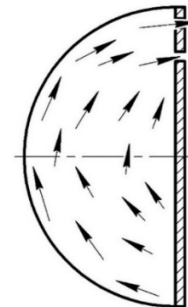


Рис. 7. Поля швидкостей у поперечному перерізі труби з стрічковим змішувачем

Закон закручення потоку можна задати ступенною залежністю:

$$ur^n = const, \quad (11)$$

при  $n = 1$  реалізується закручення за законом сталості циркуляції;

при  $n = 0$  забезпечується сталість окружної швидкості по радіусу;

при  $n = -1$  закручення відбувається за законом твердого тіла.

### Висновки

1. В даній роботі було проведено дослідження методик розділення багатозафазового середовища на

прикладі пристрою очищення та знесолення води. Аналіз показав, що в ряді випадків може бути ефективним застосування технології розділення фаз за допомогою ультразвукового кавітаційного розпилення.

2. Запропонована авторами технологічна схема установки передбачає переробку даних суспензій на основі складних гідродинамічних процесів. Такими процесами виступають дифузійні процеси в тонких плівках, що гравітаційно стікають по вертикальних поверхнях, дроблення середовища при його гравітаційному русі в турбулентному просторі та вплив відцентрових сил в закрученому потоці. При гравітаційній те-

чії плівок ефективність дифузії пов'язана як з гідродинамікою плівки (зрошенням), так і з використанням профільованих поверхонь з метою інтенсифікації дифузії.

3. Аналітичні дослідження показали, що довжини ділянок плівки є величинами пропорційними числу Рейнольдса. Задача з визначення коефіцієнта пропорційності, який пов'язаний як із коефіцієнтом дифузії, так і з реологічними властивостями суспензії, є дещо ускладненою. В зв'язку з цим при проектуванні подібного технологічного обладнання необхідно більш глибоке проведення досліджень питання реології багатофазних середовищ.

## References

- [1] I. M. Varnavskiy, *Water and Health*, Kyiv, Ukraine: Phytosociocenter, 2001, 231 p.
- [2] H. Naidu, O. Kahraman and H. Feng, "Novel applications of ultrasonic atomization in the manufacturing of fine chemicals, pharmaceuticals, and medical devices," *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 105984, 2022. doi: 10.1016/j.ulsonch.2022.105984
- [3] J. Daily and D. Harleman, *Fluid Mechanics*, translated from English by O. F. Vasilyev, Moscow, Russia: Energiya, 1971.
- [4] D. E. Tambe and M. M. Sharma, "Hydrodynamics of thin liquid films bounded by viscoelastic interfaces", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 141, no. 1, pp. 161–171, 1991, doi: 10.1016/0021-9797(91)90142-U
- [5] O. F. Lugovskiy et al., *Ultrasonic Technological Processes: Spraying and Extraction*, Kyiv, Ukraine: Igor Sikorsky KPI, 2022, 285 p. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47459>
- [6] D. Zang, Y. Yu, Z. Chen, X. Li, H. Wu and X. Geng, "Acoustic levitation of liquid drops: Dynamics, manipulation and phase transitions", *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 249, pp. 77–87, 2017. doi: 10.1016/j.cis.2017.03.003
- [7] O. F. Lugovskiy et al., "Method of Desalination of Saline Water and Device for its Implementation", Ukraine Patent 126045, Aug. 3, 2022. [Online]. Available: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/082613041/publication/UA126045C2>
- [8] F. R. Eirich, Ed., *Rheology: Theory and Applications*, New York, NY, USA: Academic Press, 1956, 761 p.
- [9] E. V. Bruyatskiy, A. G. Kostin and E. I. Nikiforovych, *Control Volume Method in Computational Hydrodynamics*, Kyiv, Ukraine: Millennium, 2016, 520 p.
- [10] M. V. Mazur, "Device for Desalination of Saline Water Based on the Principle of Droplet Evaporation in a High-Temperature Gas Environment", M.S. thesis, Dept. of Applied Mechanics, Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine, 2024, 85 p. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64563>
- [11] Y. Chen and S. D. Heister, "Two-phase modeling of cavitated flows", *Computers & Fluids*, vol. 24, no. 7, pp. 773–785, 1995. doi: 10.1016/0045-7930(95)00017-7
- [12] S. Mukherjee and H. Gomez, "Stabilized formulation for phase-transforming flows with special emphasis on cavitation inception", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 421, p. 116228, 2023. doi: 10.1016/j.cma.2023.116228

## Modeling of the separation process of a two-phase liquid in a high-temperature gas environment

O. M. Yakhno<sup>1</sup> • O. F. Lugovskiy<sup>1</sup> • I. A. Gryshko<sup>1</sup> • M. V. Mazur<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** Obtaining a high-quality highly dispersed salt solution can be realized from a salt solution by the method of ultrasonic exposure. As you know, concentrated salt solutions can be presented in the form of a gas-liquid medium. The influence of ultrasound, in the case of wetting a surface vibrating with an ultrasonic frequency by a thin layer, leads to the formation of a cavitation layer in the liquid layer and capillary waves on its surface, from the ridges of which, at a certain intensity of oscillations, finely dispersed aerosol droplets are detached. The detachment of droplets from the vibrating surface leads to the formation of finely dispersed salt aerosol, which saturates the heated air, which is tangentially fed into the cylindrical working chamber with further separation of hydrodynamic processes. Part of the aerosol wets the heated inner surface of the cylindrical chamber with the formation of a thin film, which gravitationally flows down the vertical solid surface and is subjected to active evaporation with the removal of the salt phase, and the second part is subjected to additional grinding and active evaporation in the central turbulent flow and centrifugal turbulent flow of hot air with additional by removing the salt phase. In order to intensify the salt removal process, the surface on which the film is formed can be profiled. Ultrasonic dispersion of the salt solution to a finely dispersed state allows to significantly increase the surface of contact with the heated air, which allows to intensify the diffusion process.

**Keywords:** ultrasound; ultrasonic spraying; cavitation; evaporation; desalination; ultrasonic emitter, cavitation-wave spraying, monodisperse aerosol.