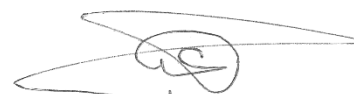


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МОХАММЕД АБДУЛЛАХ ДЖАЛАЛ МОХАММЕД



УДК 66.021.3

**ГІДРАВЛІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРОВИХ
РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ ПРОТИТЕЧІЙНИХ
МАСООБМІННИХ АПАРАТІВ**

Спеціальність 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Склабінський Всеволод Іванович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри процесів та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Цейтлін Мусій Абрамович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри хімічної техніки та промислової
екології;

кандидат технічних наук, доцент
Тараненко Геннадій Володимирович,
Технологічний інститут Східноукраїнського
національного університету ім. Володимира Даля,
м. Сєверодонецьк, доцент кафедри обладнання хімічних
виробництв.

Захист відбудеться 12 грудня 2014 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 у Сумському державному університеті (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, ауд. Ц-204).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий « » листопада 2014 року.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 55.051.04,
кандидат технічних наук, доцент



Л. Л. Гурець.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одними з основних процесів хімічної технології є масообмінні процеси, серед яких значна частина відбувається у газорідних системах. До таких процесів відносять абсорбцію, десорбцію, ректифікацію, дистиляцію та ін. В основному вони застосовуються для поділу рідких сумішей або виділення окремих компонентів із газових або пароподібних середовищ. Обладнання, призначене для проведення таких процесів, здебільшого залишається порівняно металомістким і малопродуктивним. Причому постійно збільшуються вимоги до якості кінцевих продуктів, зумовлені як жорсткою конкуренцією різних виробників, так і все більш зростаючою роллю екологічного контролю. Тому завданням апаратного оформлення сучасних масообмінних процесів є пошук найбільш ефективних апаратів, що дозволяють поліпшити якісні та кількісні показники.

З цієї причини останнім часом зріс інтерес до масообмінних апаратів, що працюють в інтенсивних режимах розвиненої турбулентності з високими відносними швидкостями потоків газу і рідини та малим часом перебування оброблюваних фаз в робочій зоні апарата.

Інтенсифікація хіміко-технологічних процесів та підвищення ефективності технологічного обладнання є одними з пріоритетних завдань розвитку науки і техніки. Основою підвищення якості продукції, збільшення продуктивності і зниження енерговитрат на проведення хіміко-технологічних процесів є розроблення високоефективних технологічних апаратів з оптимальною питомою енергоємністю і матеріаломісткістю, високим ступенем впливу на оброблювані речовини.

Інтерес, що зріс до використання вихрових потоків у масообмінній техніці, пояснюється можливістю значно прискорити масообмін за рахунок турбулізації течій, створення розвиненої поверхні контакту фаз, за рахунок розпилу рідини на краплі. Такі підходи дозволяють не лише прискорити масообмін, а й зменшити витрати на виробництво та експлуатацію цього обладнання.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному обґрунтуванню та експериментальним дослідженням вихрових потоків, удосконаленню методів розрахунку гідродинаміки вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів (ВРПМА) і рекомендацій з проектування та вибору параметрів роботи таких апаратів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в Сумському державному університеті згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» відповідно до теми «Дослідження гідродинамічних та масотеплообмінних характеристик пристроїв із вихровими та високотурбулізованими одно- та двофазними потоками» (№ державної реєстрації 0110U002632).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення уточненої методики визначення гідродинамічних характеристик вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата, а саме полів радіальних і тангенціальних складових швидкостей вихрового газового потоку та вихрового

потоків крапель рідини.

Для досягнення поставленої мети необхідно послідовно вирішити такі завдання:

- проведення аналізу відомих способів масообміну у вихрових потоках газу (пари) і рідини та розроблення методів впливу й формування вихрового газового потоку для інтенсифікації масообмінних процесів, що проходять у робочій області вихрової масообмінної камери;

- розроблення фізичної моделі руху вихрового газового потоку та вихрового потоку крапель із подальшим математичним моделюванням впливу геометричних і технологічних параметрів на структуру газового і краплинного потоків в робочій області вихрової масообмінної камери вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарату;

- експериментальне дослідження гідродинамічних умов проходження процесу руху газу і крапель рідини в режимі сталої протитечії і виявлення умов, за яких можливий зрив такого протитечійного руху фаз вздовж радіуса вихрової масообмінної камери;

- розроблення інженерної методики розрахунку гідродинамічних умов руху газового потоку з метою створення стійкого протитечійного, вздовж радіуса робочої масообмінної камери, вихрового руху газу і крапель рідини;

- розроблення рекомендацій із проектування вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів.

Об'єкт дослідження – процес впливу потоку газу на протитечійний рух вихрових потоків газу і крапель рідини в робочій камері вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

Предмет дослідження – гідродинамічні фактори, що впливають на процес формування крапель, та їх подальший протитечійний, вздовж радіуса масообмінної камери, рух у робочій камері вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

Методи дослідження. Математичне моделювання проводилося на базі класичних положень механіки рідини і газу та технічної гідромеханіки. Фізичний експеримент проведено шляхом експериментальних досліджень стендового зразка ВРПМА на базі використання математичного апарату планування експерименту і математичної статистики. У процесі експериментального дослідження використовувалися методи візуального спостереження, а також методи інструментальних вимірювань для визначення гідродинамічних характеристик газового потоку. Обробка результатів експериментів, порівняння з теоретичними моделями та визначення похибок проведені за допомогою методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше вивчено вплив режимів роботи вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата на інтенсивність бризковинесення і впливу цього процесу на ефективність роботи вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів;

- за результатами експериментальних досліджень уперше отримані гідродинамічні характеристики різних режимів роботи вихрового

розпилювального протитечійного масообмінного апарата для створення умов стійкої роботи вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів;

- проведено уточнення моделювання гідродинамічного стану під час руху вихрових потоків газу і крапель рідини з метою створення умов для їх сталого протитечійного руху в робочій камері вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата;

- запропоновані уточнені фізична і математична моделі, що дають пояснення процесам формування протитечійного руху в робочій частині вихрової масообмінної камери вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

Практичне значення отриманих результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів на гідродинамічні умови, в яких працює вихрова робоча масообмінна камера вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата, на структуру вихрових потоків в цій вихровій масообмінній камері, пошуку шляхів керування структурою вихрового газового потоку, дослідження впливу гідродинамічних параметрів газового потоку на розміри й структуру краплинного вихрового потоку, за рахунок підбору гідродинамічних режимів у робочій зоні вихрового протитечійного масообмінного апарата розроблена методика розрахунків процесу сталого протитечійного, вздовж радіуса вихрової робочої камери, руху вихрових потоків газу і крапель рідини. Визначено гідродинамічні параметри та умови здійснення такого процесу, що дозволили розробити рекомендації з конструювання нових зразків вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів з використанням вихрових потоків.

На підставі теоретичного аналізу запропонованих фізичної та математичної моделей сталого протитечійного, вздовж радіуса вихрової робочої камери, руху вихрових потоків газу і крапель рідини, проведених експериментальних досліджень гідродинамічних процесів розроблена інженерна методика з проектування вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів. Отримані наукові результати впроваджені в навчальний процес кафедри «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» Сумського державного університету (акт впровадження від 23.06.2014 р.) та кафедри «Процеси та апарати нафтопереробки» Багдадського технологічного університету (акт впровадження від 08.01.2013 р.)

Особистий вклад здобувача. Особистий вклад здобувача полягає в проведенні фізичного та математичного моделювання процесів, що проходять у момент формування вихрового газового потоку заданої структури, у підборі та апробації методик експериментальних досліджень газового й рідинного потоків у робочій вихровій камері вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата, конструюванні експериментального обладнання, узагальненні отриманих результатів. Обговорення та аналіз отриманих результатів виконані разом із науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: First Scientific Conference on Modern Technologies in Oil & Gas Refining, Iraq, Baghdad (25 – 27

арпіл 2011); I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Хімічна технологія: наука та виробництво» (м. Шостка, Україна, 2011р.); науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету Сумського державного університету, секція «Хімічна технологія та інженерія» (2011, 2012 рр.); 14-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний Потенціал української науки - XXI сторіччя»; XV Всеукраїнській науково-технічній конференції «Технологія, 2012»; Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу» (м. Полтава, 26 – 28 вересня 2012 р.).

Публікації. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи опубліковані в 11 наукових працях, із них 4 статті у наукових журналах, що входять до переліку МОН України, 1 – стаття у спеціалізованому зарубіжному виданні 6 публікацій тез доповідей в матеріалах і працях конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 167 сторінок, з них 46 рисунків по тексту; 1 таблиці, списку використаних джерел з 92 найменувань на 11 сторінках , 3 додатків на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, відомості щодо апробації результатів.

У першому розділі на основі проведеного патентного пошуку та огляду літературних джерел проаналізовано сучасний стан та шляхи розвитку вихрової масообмінної техніки. Вивчені конструкції й характеристики розпилувальних і вихрових масообмінних апаратів. Установлено вплив різних чинників на процеси що відбуваються у ВРПМА. Проаналізовані існуючі способи отримання дисперсного потоку із застосуванням відцентрового поля, режими розпилення та гідродинамічні характеристики дисперсної фази, що при цьому утворюється. Визначальним параметром є гідродинаміка газового потоку, який відповідно визначає й гідродинаміку краплинного потоку в робочій області масообмінної камери ВРПМА. На підставі даних про гідродинаміку газового потоку, основних математичних залежностей сил, що діють на краплі, можна визначити траєкторії руху крапель у порожнині апарата та гідравлічний опір вихрової масообмінної камери.

У другому розділі викладені загальна методика та основні методи досліджень. Математичне моделювання здійснювалося на підставі класичних положень гідродинаміки. Пошук розв'язання математичної моделі здійснювався за допомогою комп'ютерної системи математичних розрахунків.

Фізичні експерименти проведені шляхом експериментальних досліджень на лабораторних установках і виконані на базі використання математичного планування експерименту.

Вивчення гідродинамічних характеристик у розробленому контактному пристрої проводили на створеному лабораторному стенді (рис. 1).

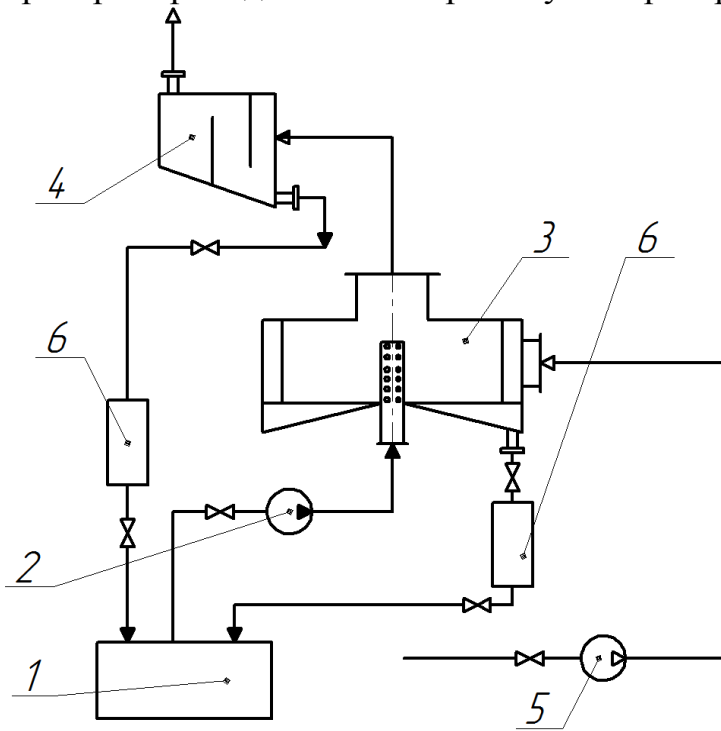


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для вивчення гідродинамічних характеристик роботи ВРПМА: 1 – ємність для рідини; 2 – циркуляційний насос; 3 – ВРПМА; 4 - брызговіддільник; 5 – вентилятор високого тиску; 6 – мірна ємність

Основним елементом стенда є модель ВРПМА 3 (рис. 2). Ця конструкція ВРПМА дозволяє проводити дослідження зміни гідравлічного опору залежно від навантажень за рідкою та газовою фазами, змінами вхідної швидкості газу в тангенціальних щілинах, визначенням величини

брызковинесення, а також дослідити локальні поля швидкостей (як радіальних, так і колових) і тиску в потоці газу, вивчити вплив краплинного потоку на гідродинаміку газу.

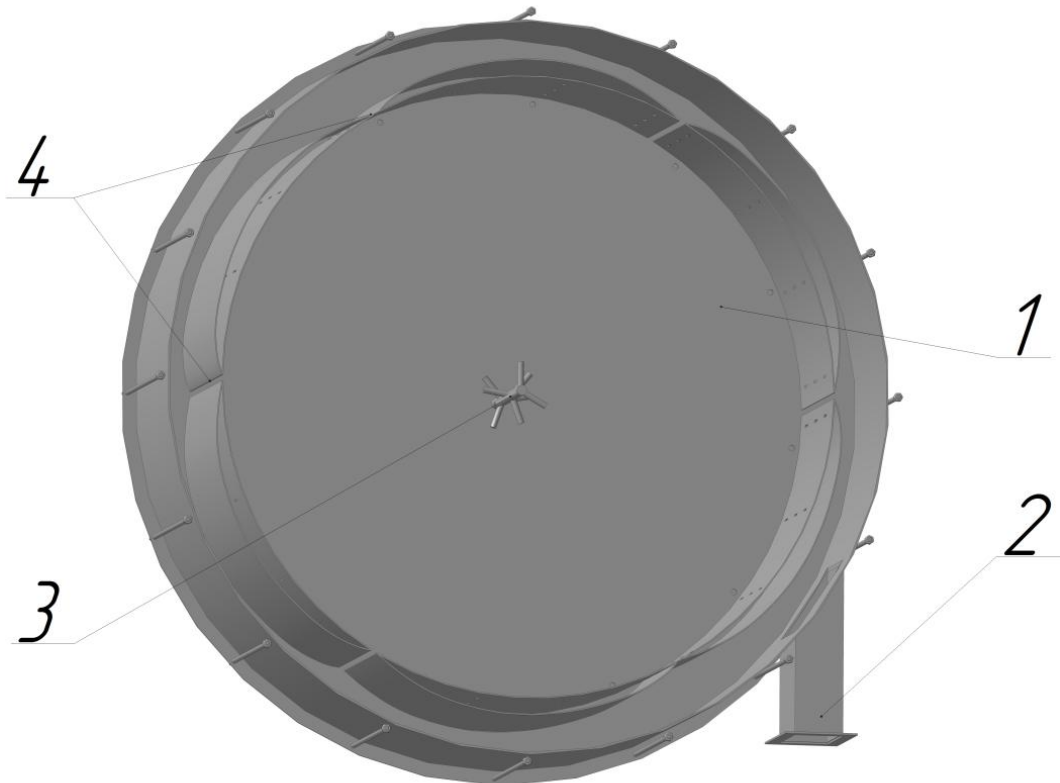


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд ВРПМА: 1 – вихрова масообмінна камера; 2 – патрубок подачі повітря; 3 – розпилювач рідини; 4 – тангенціальні щілини для

подачі повітря

Дослідження кінетичних закономірностей масовіддачі в рідкій фазі у ВРПМА проводилися в умовах десорбції важкорозчинного вуглекислого газу з води потоком повітря. Для вивчення процесу ректифікації у ВРПМА на основі даних із літературних джерел запропоновано рекомендації для аналізу характеристик і ефективності роботи ВРПМА в таких процесах.

У третьому розділі проведено математичне моделювання руху газу та крапель рідини в робочій камері ВРПМА.

Для розроблення фізичної моделі руху газокраплинного потоку в робочій області вихрової масообмінної камери ВРПМА необхідно враховувати особливості руху як газового потоку, так і умови та місце розпилення рідини на краплі. Від цього залежить насамперед величина відносної швидкості руху газової (парової) і рідкої фаз. З іншого боку, величина такої швидкості впливає на величину крапель рідини.

Якщо виходити із широко відомої величини критерію Вебера, що стверджує, що розпад струменів рідини на краплі настає при значеннях критерію Вебера рівних $We \approx 12-14$, швидкості в області розпилення рідини необхідно підтримувати такими, що дорівнюють 80-100 м/с. Така швидкість газового потоку, що впливає на струмені рідини, дозволяє в цьому разі отримувати дрібнодисперсний розпил рідини на краплі малого розміру. Краплі малого розміру практично відразу втягуються в обертальний рух зі швидкостями, подібними за величиною з коловими швидкостями газу. В цьому разі на краплі діятимуть відцентрові сили. Величина відцентрових сил перевищуватиме величину аеродинамічних сил, дія яких спрямована від периферії вихрової масообмінної камери до її центральної області.

Така гідродинамічна обстановка у вихровій масообмінній камері створює передумови для сталого протитечійного вздовж радіуса даної вихрової камери руху вихрового потоку газу (пари) і краплинного потоку рідини.

Створення гідродинаміки вихрової масообмінної камери, при якій реалізується стійкий протитечійний вихровий рух газу і крапель рідини в робочій області даної камери, є завданням цієї роботи.

Організувати розпорошення струменів рідини на краплі, з метою отримання малих розмірів крапель і, як наслідок, розвиненої міжфазної поверхні, необхідно в місці найбільших відносних швидкостей фаз.

Такий висновок впливає із залежності

$$d_K = \frac{We \cdot \sigma}{\rho_2 V_{\max}^2}. \quad (1)$$

Максимум величини колової швидкості газового потоку знаходиться в області початку повороту напрямку руху газу від радіального до осьового. Ймовірно ця ділянка знаходиться біля краю вихідного отвору (патрубка) для газу в одній із торцевих кришок вихрової масообмінної камери з радіусом R_2 , (рис. 3).

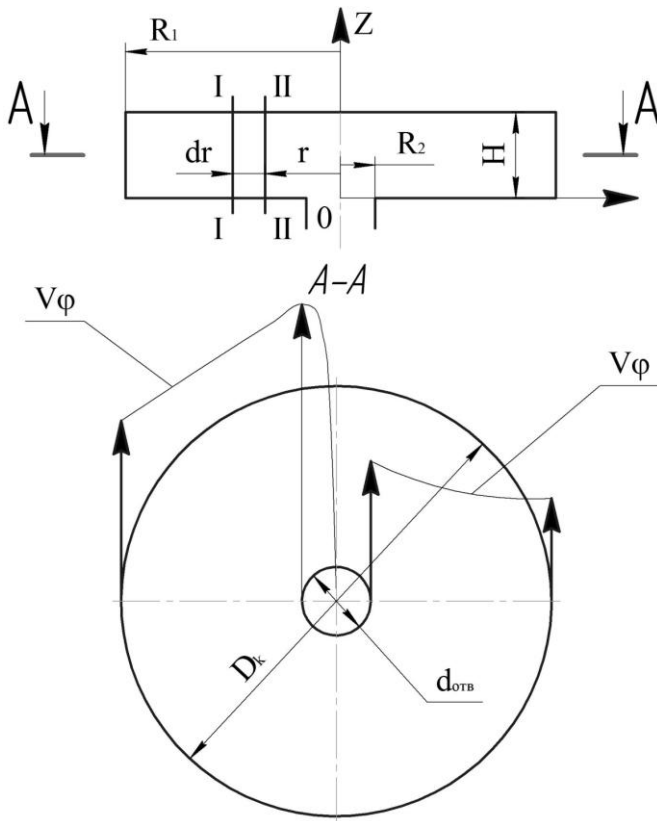


Рисунок 3 – Основні геометричні розміри робочої вихрової масообмінної камери із зазначенням розподілу колової та радіальної складових газового потоку вздовж радіуса

Таким чином, ґрунтуючись на аналізі руху газового потоку в вихровій масообмінній камері ВРПМА і його впливі на розміри крапель і напрямку їх руху, можна зробити перший важливий висновок про місце розташування області розпилювання струменів рідини. Таким місцем є область біля циліндричного перерізу з радіусом R_2 .

Необхідно також урахувати і напрям уведення струменів рідини в газовий потік із розпилювача. Розпилення рідини на краплі відбувається за рахунок впливу колової

складової газового потоку на струмінь рідини, що впливає. В цьому разі величина відносної швидкості фаз, яку необхідно враховувати при визначенні діаметра крапель рідини, дорівнюватиме

$$\vec{V}_{\max} = \vec{V}_{\varphi} - \vec{W}_{\varphi}. \quad (2)$$

Якщо вводити струмені рідини в область розпилювання вихрової масообмінної камери ВРПМА з коловою швидкістю, напрям якої протилежний напрямку колової швидкості газового потоку, то величина V_{\max} збільшиться (рис. 4). Це позначається позитивно з тієї точки зору, що величини одержуваних унаслідок розпилення крапель рідини зменшаться. Величина міжфазної поверхні в робочій області вихрової масообмінної камери ВРПМА також збільшиться. Створюються більш сприятливі умови для проведення ефективного масообміну.

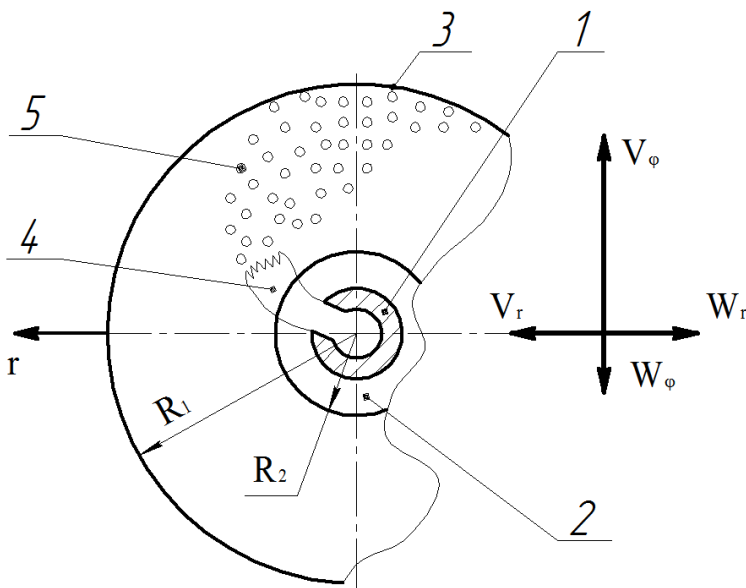


Рисунок 4 – Схема розпаду струменя рідини: 1 – розпилювач; 2 – патрубок відведення газу; 3 – циліндрична стінка; 4 – суцільний струмінь рідини; 5 – краплі рідини

Для опису руху газового потоку в робочій області вихрової масообмінної камери ВРПМА скористаємося рівнянням Нав'є-Стокса в циліндричній системі координат:

$$\left\{ \begin{array}{l}
V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} - \frac{V_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \\
+\varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r}{r^2} \right); \\
V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} + \\
+\varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \\
V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\varphi}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \varphi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \\
+\varepsilon \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} \right); \\
\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r}{r} = 0.
\end{array} \right. \quad (3)$$

Припустимо, що газовий потік у вихровій масообмінній камері ВРПМА вісесиметричний і рух носить плоский характер, то математично дані допущення можна записати в такому вигляді:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0; \quad \frac{\partial}{\partial z} = 0; \quad V_z = 0. \quad (4)$$

Тоді вищенаведена система рівнянь Нав'є – Стокса (3) запишеться у вигляді

$$\left\{ \begin{array}{l}
V_r r \left(\frac{d}{dr} V_\varphi r \right) + \frac{V_r r V_\varphi r}{r} = \varepsilon \left(\frac{d}{dr} \left(\frac{d}{dr} V_\varphi r \right) + \frac{\frac{d}{dr} V_\varphi r}{r} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right), \\
V_r \left(\frac{d}{dr} V_r r \right) - \frac{V_\varphi r^2}{r} = \frac{d}{dr} \frac{P r}{\rho}, \\
\frac{d}{dr} V_r r + \frac{V_r r}{r} = 0.
\end{array} \right. \quad (5)$$

Як бачимо з третього рівняння отриманої системи, радіальна складова швидкості газу залежить лише від радіуса, і третє рівняння є диференціальним рівнянням у повних похідних. Таке рівняння має простий розв'язок:

$$V_r(r) = \frac{C_1}{r} \quad (6)$$

Сталу інтегрування C_1 можна визначити з умови, що на радіусі R_1 нам відоме значення радіальної складової газового потоку. Величину цієї швидкості можна визначити як

$$V_{r_1} = \frac{Q_g}{2\pi R_1 H}. \quad (7)$$

Тоді стала інтегрування дорівнюватиме

$$C_1 = V_{r_1} \cdot R_1 \quad (8)$$

і вираз для визначення радіальної складової швидкості газового потоку набере вигляду

$$V_r = \frac{V_{R_1} R_1}{r}. \quad (9)$$

Тепер із першого рівняння розглянутої системи можна отримати аналітичну залежність, за допомогою якої кількісно описується величина зміни колової швидкості газового потоку вздовж радіуса вихрової масообмінної камери ВРПМА. Рівняння, що розв'язується, є диференціальним рівнянням другого порядку з сталими коефіцієнтами. Однак проведені спрощення дозволили звести залежність до однієї змінної, що є радіусом вихрової камери ВРПМА. Двічі інтегруючи дане диференціальне рівняння, отримуємо аналітичну залежність, до якої входять дві сталі інтегрування:

$$V_\varphi(r) = -\frac{C_2}{r} + -C_3 r^{\left(\frac{V_{r_1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon}\right)}. \quad (10)$$

Якщо виходити з того, що перша похідна від отриманого виразу для колової швидкості газового потоку по радіусу поблизу точки з радіусом R_1 дорівнює нулю, а вираз для цієї похідної має вигляд

$$\frac{d}{dr} V_\varphi(r) = -\frac{C_2}{r^2} + \frac{-C_3 r^{\left(\frac{V_{r_1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon}\right)} (V_{r_1} R_1 + \varepsilon)}{\varepsilon r}, \quad (11)$$

то другою умовою, що дозволяє визначити і другу сталу інтегрування, буде рівність колової складової швидкості газового потоку, швидкості витікання газу з вхідних тангенціальних щілин, розташованих на радіусі R_1 :

$$V_{r_1} = \frac{Q_g}{H \cdot h_{щ} \cdot n_{щ}}. \quad (12)$$

Тоді отримуємо систему двох рівнянь із двома невідомими:

$$0 = -\frac{C_2}{R_1^2} + \frac{-C_3 R_1^{\left(\frac{V_{r_1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon}\right)} V_{r_1} + \varepsilon}{\varepsilon R_1}, \quad (13)$$

$$V_{\varphi 1} = -\frac{C_2}{R_1} + -C_3 R_1^{\left(\frac{V_{r_1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon}\right)}.$$

Розв'язуючи цю систему, отримуємо вирази для сталих інтегрування:

$$-C_2 = \frac{V_{\phi 1} R_1 V_{r1} R_1 + \varepsilon}{2\varepsilon + V_{r1} R_1},$$

$$-C_3 = \frac{\varepsilon V_{\phi 1} R_1 \left(\frac{-V_{r1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right)}{2\varepsilon + V_{r1} R_1}.$$
(14)

Таким чином, взявши граничні умови, а саме дані про колову швидкість газового потоку на радіусі, що дорівнює радіусу розташування тангенціальних щілин, після підстановки констант рівняння набирає такого вигляду:

$$V_{\phi}(r) = \frac{V_{\phi 1} R_1 (V_{r1} R_1 + \varepsilon)}{(2\varepsilon + V_{r1} R_1) r} + \frac{\varepsilon V_{\phi 1} R_1 \left(\frac{-V_{r1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right) r \left(\frac{V_{r1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right)}{2\varepsilon + V_{r1} R_1}.$$
(15)

Для кількісного розв'язання цього математичного виразу і полегшення аналізу доцільно даний вираз записати в такому спрощеному вигляді:

$$V_{\phi}(r) = \frac{1}{(2\varepsilon + V_{r1} R_1) r} \left(V_{\phi 1} \left(R_1^2 V_{r1} + R_1 \varepsilon + \varepsilon R_1 \left(\frac{-V_{r1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right) r \left(\frac{V_{r1} R_1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right) \right) \right).$$
(16)

Далі стояло завдання розв'язання задачі про рух краплин потоку рідини в робочій камері ВРПМА. Для пошуку прийняттого рішення доводиться вдаватися до ряду обґрунтованих спрощувальних припущень:

- високі відносні швидкості газу і рідини дозволяють отримати спектр крапель, що близький до монодисперсного. Середній розмір крапель у цьому разі визначається досить точно;
- на краплі однакового розміру діють однакові сили, і рух крапель відбувається за однаковими траєкторіями. Унаслідок цього в масообмінній камері виникає впорядкований рух дискретної фази у вигляді крапель і газового потоку;
- під час руху крапель одна за одною на відстані $L > 10d_k$ та поруч на відстані $L > 3d_k$ гідродинамічним впливом крапель між собою можна знехтувати.

Для вирішення першого поставленого завдання скористаємося відомими рівняннями про рух частинки у вихровому вісесиметричному потоці газу (17). При цьому, виходячи з раніше отриманих розв'язків і обґрунтувань про відсутність осьової складової швидкості газового потоку в робочій області вихрової масообмінної камери, нехтуємо третім рівнянням системи, яке описує рух краплі уздовж осі Z , тобто уздовж осі масообмінної камери. Крім того, припускаємо, що характерний діаметр одержуваних крапель рідини дуже малий (до 100 мкм) і поверхневі сили в таких малих краплях досить великі, щоб запобігти деформації краплі газовим потоком і зберегти її сферичну форму. Вводячи геометричні характеристики краплі, враховуючи властивості газу і рідини, рівняння руху краплі увісесиметричному газовому потоці вихрової масообмінної камери набуває такого вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d}{d\tau} W_f(\tau) = -\frac{W_r(\tau)W_f(\tau)}{r} + \frac{1}{8} \frac{\psi\pi\rho_g d_k^2 V_f(r) - W_f(\tau)^2}{m}, \\ \frac{d}{d\tau} W_r(\tau) = -\frac{W_f(\tau)^2}{r} + \frac{1}{8} \frac{\psi\pi\rho_g d_k^2 V_r(r) - W_r(\tau)^2}{m} \end{cases}, \quad (17)$$

Під час розв'язання цієї системи рівнянь зіткнулися з труднощами, що полягають у неможливості отримати розв'язання у явному вигляді. Так, якщо, наприклад, отримуємо розв'язок для радіальної складової швидкості краплі рідини у вигляді

$$W_r(\tau) = \frac{1}{d_k r \psi \pi \rho_g} \left(d_k r \psi \pi \rho_g V_r(r) + 2\sqrt{2} \times \right. \\ \left. \times \tan \left(\frac{1}{4} \frac{d_k W_f(\tau) \sqrt{\psi \pi \rho_g r m} \tau + C_1 \sqrt{2}}{r m} \right) W_f(\tau) \sqrt{\psi \pi \rho_g r m} \right), \quad (18)$$

то вираз для визначення іншої складової, тобто колової складової швидкості краплі, необхідно розв'язавши у вигляді диференціального рівняння:

$$\frac{d}{d\tau} W_f(\tau) = -\frac{1}{d_k^2 r \psi \pi \rho_g} \left(\begin{aligned} & \left(d_k r \psi \pi \rho_g V_r(r) 2\sqrt{2} \tan \times \right. \\ & \times \left(\frac{1}{4} \frac{d_k W_f(\tau) \sqrt{\psi \pi \rho_g r m} \tau + C_1 \sqrt{2}}{r m} \right) \times W_f(\tau) \right) + \\ & \left. \times W_f(\tau) \sqrt{\psi \pi \rho_g r m} \right) + \\ & + \frac{1}{8} \frac{\psi \pi \rho_g d_k^2 V_f(r) - W_f(\tau)^2}{m} \end{aligned} \quad (19)$$

Для розв'язання цієї математичної задачі в такій постановці використання системи рівнянь, що описують рух краплі в вісесиметричному вихровому газовому потоці, у вищенаведеній формі (17) неможливо, оскільки у розглянутій системі маємо два диференціальних рівняння, дві невідомі функції (W_ϕ і W_r) і дві змінні незалежні величини (τ і r). Розв'язання цієї системи диференціальних рівнянь стає можливим, якщо виключити з розглянутих рівнянь змінну, що позначає час, тобто τ .

Таке перетворення можна провести, якщо взяти до уваги кінематичні залежності вигляду

$$\begin{cases} \frac{dr}{d\tau} = W_r, \\ \frac{d\phi}{d\tau} = W_\phi. \end{cases} \quad (20)$$

Або отримуємо запис у вигляді, необхідному для визначення $d\tau$:

$$\begin{cases} \frac{dr}{W_r} = d\tau, \\ \frac{d\phi}{W_\phi} = d\tau. \end{cases} \quad (21)$$

Підставляючи отримані вирази у відповідні рівняння системи (21), отримуємо перетворену систему диференціальних рівнянь, в якій визначаються величини колової швидкості краплі W_ϕ , що радіальної складової швидкості краплі W_r є величинами, залежними лише від однієї змінної, якою у даному випадку є радіус масообмінної камери r .

Комплекс величин рівняння (17) позначимо так:

$$K_l = \frac{1}{8} \frac{\psi \pi \rho_c d_k^2}{m}. \quad (22)$$

Отримуємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} W_r(r) \left(\frac{d}{dr} W_r(r) \right) = \frac{W_\phi(r)^2}{r} + K_l V_r(r) - W_r(r)^2, \\ W_\phi(r) \left(\frac{d}{d\phi} W_\phi(r) \right) = \frac{W_\phi(r) W_r(r)}{r} + K_l V_\phi(r) - W_\phi(r)^2. \end{cases} \quad (23)$$

Виходячи з вісесиметричного руху вихрових потоків у масообмінній камері ВРПМА, записані залежності розглянутих складових швидкостей краплі від радіуса масообмінної камери. Тоді вираз набуває такого вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial \phi} W_\phi(r) = 0. \quad (24)$$

Уже згадана система рівнянь набуває вигляду

$$\begin{cases} W_r(r) \left(\frac{d}{dr} W_r(r) \right) = \frac{W_f(r)^2}{r} + K_l V_r(r) - W_r(r)^2 \\ 0 = -\frac{W_\phi(r) W_r(r)}{r} + K_l V_\phi(r) - W_\phi(r)^2 \end{cases} \quad (25)$$

У результаті математичного аналізу, проведеного в цьому розділі, розроблена методика розрахунку швидкостей краплинного потоку у вихровій масообмінній камері ВРПМА, що дозволяє проводити аналіз силового впливу на краплі з боку відцентрових і аеродинамічних сил для виявлення режиму стійкого протитечійного руху фаз у робочій камері ВРПМА.

Завданням визначення оптимального режиму роботи ВРПМА є розрахунок і створення такої гідродинамічної обстановки у робочій камері ВРПМА, при якій у будь-якій точці вздовж радіуса вихрової масообмінної камери відцентрові сили будуть переважати над силами опору.

Таким чином, на краплі рідини діють дві сили, напрям яких протилежний, відцентрова сила

$$F_c = \frac{\pi d_K^3}{6} \rho_g \frac{W_\varphi^2}{r} \quad (26)$$

і сила опору

$$F_s = \psi \frac{\pi}{8} W_r^2 d_K^2 \rho_r . \quad (27)$$

Одним із завдань забезпечення протитечійного руху в масообмінній камері ВРПМА є якнайшвидше досягнення колових швидкостей, достатніх для виконання умови

$$F_c > F_s , \quad (28)$$

тобто необхідно захопити краплі в обертальний рух зі швидкістю

$$W_\varphi > \sqrt{\frac{3\rho_r\psi r}{4\rho_g d_K}} W_r . \quad (29)$$

У разі рівномірного руху потоку газу по висоті масообмінної камери отримаємо

$$W_\varphi > \sqrt{\frac{3\rho_r\psi r}{4\rho_g d_K}} \frac{Q_g}{2\pi r H_K} . \quad (30)$$

За умови розв'язання рівняння (29) вздовж усього радіуса в робочій камері здійснюватиметься регулярний протитечійний рух фаз. В іншому випадку на деякому радіусі при рівності сили опору і відцентрової сили припинятиметься рух до периферії. Можливе «зависання» крапель рідини.

На вході до вихрової масообмінної камери швидкість газового потоку для забезпечення руху крапель до периферії біля стінок масообмінної камери повинна бути більшою від величини

$$W_\varphi > \sqrt{\frac{3\rho_r\psi}{4\rho_g d_K}} \frac{Q_g R_1^{\frac{1}{2}}}{2\pi H_K} . \quad (31)$$

Наведений аналіз співвідношення сил, що діють на краплю рідини вздовж радіуса вихрової масообмінної камери, показує, що при розрахунку повної колової та радіальної швидкостей для забезпечення регулярного протитечійного руху газової і рідкої фаз необхідно проводити перевірку умови (30) на всій ділянці – від центра до периферії робочої камери, що можна виконати за допомогою рівняння (31).

Для аналізу стійкої роботи ВРПМА необхідно знати величину

$$\Delta = F_c - F_s , \quad (32)$$

яка для режиму сталої роботи повинна набувати позитивних значень упродовж руху краплі вздовж радіуса вихрової масообмінної камери від області розпилу до досягнення краплею циліндричних стінок вихрової масообмінної камери.

У четвертому розділі наведені основні результати експериментального дослідження гідравлічних та масообмінних характеристик ВРПМА.

У результаті проведення експериментальних досліджень були виконані заміри полів швидкостей при декількох режимах роботи ВРПМА.

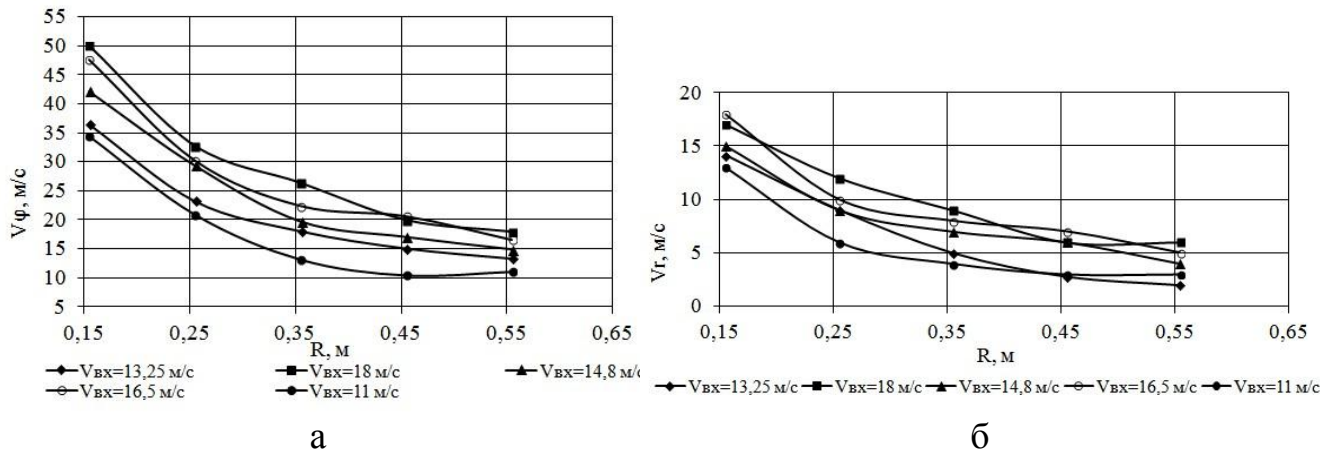


Рисунок 5 – Зміна тангенціальної (а) і радіальної (б) складових швидкості залежно від радіуса вихрової камери

Аналіз графічної залежності показує, що при зменшенні радіуса вихрової камери відбувається збільшення тангенціальної складової швидкості газового потоку. Порівняємо швидкість на вході і на виході з апарата, то, наприклад $V_{вих}/V_{вх} = 52/18 = 2,88$ раз, що є досить гарним показником для розпилу крапель рідини на краплі заданого розміру.

На рис. 6 наведені відповідні зазначеним режимам витрати газового потоку величини складових швидкості газу в радіальному напрямку, що дозволяє оцінити співвідношення між величинами відцентрових та аеродинамічних сил і провести аналіз гідродинамічної обстановки у вихровій масообмінній камері з точки зору наявності в ній стійкого протитечійного уздовж радіуса вихрової камери руху крапель рідини газу.

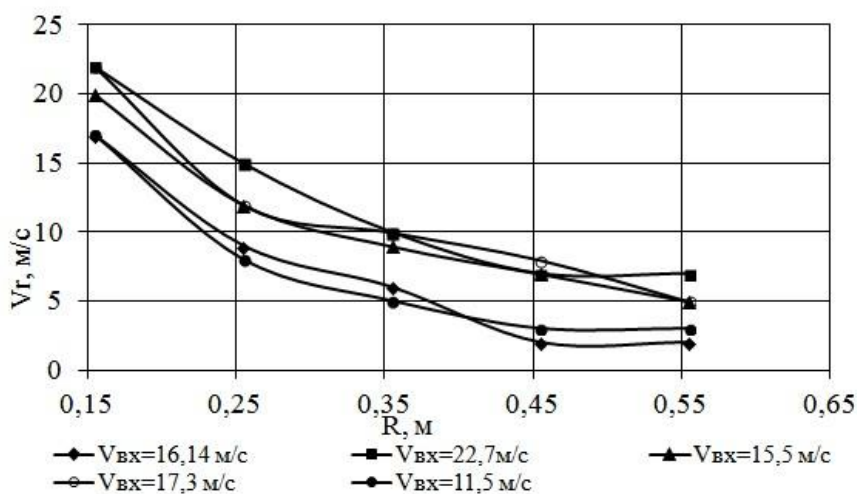


Рисунок 6 – Зміна радіальної складової швидкості залежно від радіуса вихрової камери

Величина бризко-винесення також залежить від співвідношення навантажень за фазами і схеми розміщення розпилювача, що показує аналіз графічних залежностей на

рис. 7.

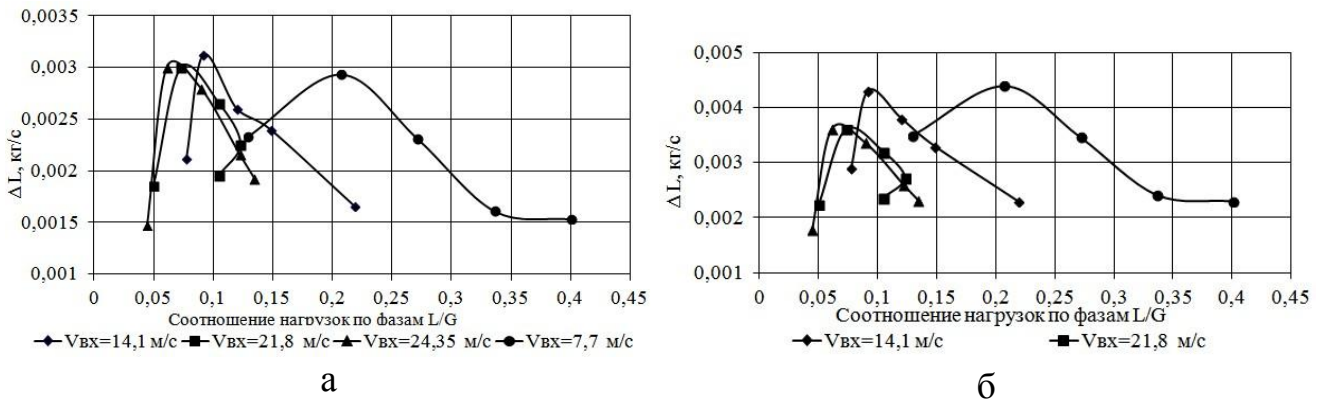


Рисунок 7 – Бризковинесення при різних величинах швидкостей газу у вхідних щілинах при різній схемі розміщення трубок розпилювача

Отримавши результати замірів бризковинесення при взаємодії потоків і напрямку їх руху, можна зробити висновок про те, як впливає напрямок введення струменів рідини з розпилювача в область розпилу вихрової масообмінної камери ВРПМА на дисперсність одержуваних крапель рідини.

Результати дослідження масовіддачі показали високу ефективність апаратів і підтверджують отримані раніше теоретичні залежності про вплив поперечного градієнта швидкостей газового потоку на кількість теоретичних ступенів зміни концентрації в одному шаблі розпилювача (рис.8, 9).

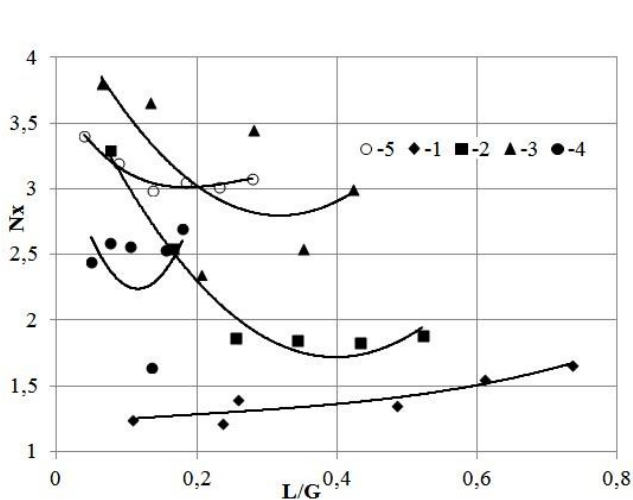


Рисунок 8 – Залежність числа одиниць перенесення від співвідношення навантажень за фазами при різній швидкості газу у вхідних щілинах:

1– $V_{BX} = 9,2$ м/с; 2– $V_{BX} = 12,8$ м/с;
3 – $V_{BX} = 15,6$ м/с; 4 – $V_{BX} = 20$ м/с;
5 – $V_{BX} = 23,8$ м/с

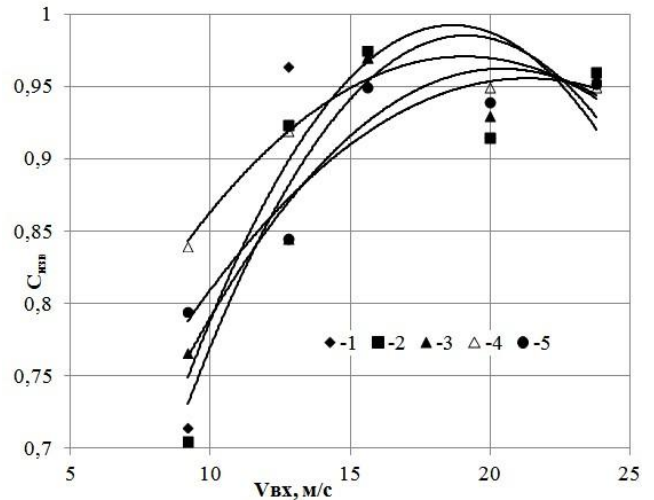


Рисунок 9 Залежність ступеня вилучення від швидкості газу у вхідних щілинах при різних швидкостях рідини в отворах розпилювача ($D_k = 400$ мм):
1– $W_{BX} = 1,275$ м/с; 2– $W_{BX} = 2,765$ м/с;
3– $W_{BX} = 5,72$ м/с; 4– $W_{BX} = 7,2$ м/с;
5– $W_{BX} = 8,7$ м/с

У п'ятому розділі на основі отримання експериментальних та теоретичних досліджень розроблено методику інженерного розрахунку апаратів вихрового типу із внесенням змін і уточнень до існуючих формул з метою отримання

основних технологічних і геометричних характеристик розробленої конструкції ВРПМА.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі теоретичних і експериментальних досліджень і узагальнень розв'язана важлива науково-практична задача, що полягає в обґрунтуванні умов ефективної роботи вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата на основі розв'язання класичних рівнянь гідродинаміки.

1 На підставі літературного огляду й аналізу гідродинамічних параметрів роботи вихрових протитечійних масообмінних апаратів різних типів виявлені недоліки їх конструкцій, визначено напрями удосконалення та обґрунтовано можливість зменшення габаритних розмірів масообмінного обладнання шляхом використання протитечійного руху вихрових потоків газу і крапель рідини та інтенсифікації процесів всередині апарата за рахунок застосування вдосконаленого методу гідродинамічного аналізу умов такого вихрового руху.

2 Доведено, що запропонована конструкція вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата забезпечує високу ефективність процесу і стійкість вихрового руху газу і крапель рідини протитечією вздовж радіуса масообмінної камери вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

3 Набула подальшого розвитку математична модель розрахунків гідродинамічних параметрів однофазового і двофазового вихрових потоків з можливістю визначення полів швидкостей цих потоків у довільній точці робочої камери вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

4 На основі теоретичного аналізу силового впливу на краплі рідини відцентрових сил, що втягують краплі в рух від центра до периферії вихрової камери, і аеродинамічних сил, що діють на краплі в напрямку від периферії до центра, в основу яких покладена розроблена методика визначення швидкостей вихрового газового потоку з поперечним градієнтом колових швидкостей газу, розроблено рекомендації зі створення гідродинамічних умов у масообмінній камері вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата, що забезпечують сталий, протитечійний вздовж радіуса рух вихрових потоків газу і крапель рідини, що дозволяє підвищити ефективність масообмінних процесів.

5 Розроблено методику визначення часу залучення крапель за різних умов уведення рідини у вихровий газовий потік, покладену в основу рекомендацій щодо розрахунку розпилювального пристрою вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

6 Експериментальним шляхом досліджено вплив конструктивних і технологічних параметрів на створення стабільного протитечійного руху вихрових потоків газу і крапель рідини за наявності градієнта швидкостей газу між периферією і центром апарата.

7 Проведено порівняння результатів теоретичних і експериментальних досліджень, обґрунтовано можливість застосування розроблених аналітичних і

числових методів розрахунку для аналізу умов стійкої роботи вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата в режимі протитечії.

8 Досліджено умови роботи вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата на різних режимах і здійснено перевірку ефективності у процесі абсорбції.

9 Проведено аналіз можливості застосування вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата у процесах ректифікації. На основі аналізу результатів досліджень розроблені і передані для промислового використання рекомендації щодо впровадження у виробництво вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів.

10 Розроблено інженерну методику розрахунків гідродинамічних характеристик вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1 Рух потоку плаву (газу) в порожнині віброгранулятора та вихрового протитечійного масообмінного апарата / В. І. Склабінський, В. А. Осіпов, М. П. Каноненко, Д. М. Мохаммед Абдуллах // Хім. пром-сть України. – 2011. – № 1 (102). – С. 3–5.

Особистий внесок здобувача: наведені недоліки існуючих способів реалізованих в різних масообмінних апаратах, показані переваги організації масообмінних процесів в вихровому потоці під час протитечійного руху газу і крапель рідини і описано силовий вплив з боку вихрового потоку газу на краплі рідини.

2 Склабинский В. И. Определение времени вовлечения капель в вихревое движение потоком газа в массообменной камере распылительного противоточного аппарата / В. И. Склабинский, Н. А. Кочергин, Д. М. Мохаммед Абдуллах // Вісн. Сум. держ. ун-ту. Сер. Техн. науки. – 2011. – № 4. – С. 67–72.

Особистий внесок здобувача: наведена уточнена математична модель, що дозволяє проводити розрахунок швидкостей краплі у часі в масообмінній камері.

3 Склабинский В. И. Влияние гидродинамических факторов на вращение капли (гранулы) в вихревом газовом потоке / В. И. Склабинский, Д. М. Мохаммед Абдуллах // Хім. пром-сть України. – 2009. – № 2. – С. 32–34.

Особистий внесок здобувача: наведена математична модель, що дозволяє проводити розрахунок сил, що діють на краплю, для визначення радіальних і тангенціальних складових швидкостей вихрового газового потоку в вихровій робочій камері ВРПМА.

4 Ал Хайят Мохаммед Н. К. Экспериментальное определение характеристик вихревых распыливающих противоточных массообменных аппаратов (ВРПМА) / Н. К. Ал Хайят Мохаммед, Д. М. Мохаммед Абдуллах, Н. Кочергин // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2012. – № 15 (186), Ч. 2. – С. 90–93.

Особистий внесок: наведені експериментальні дані, метою яких було дослідження процесу залежності інтенсивності бризковинесення від зміни режиму роботи ВРПМА.

5 Sklabinsky V. I. The Characteristics of Vortex Spray Countercurrent Mass Exchange Device (vscmed) / V. I. Sklabinsky, Abdullah Jalal Mohammed, Mohammed Nahdim Gasim / Engineering & Technology Journal. – 2011. – № 15, Vol. 29. – P. 3211–3223.

Особистий внесок: наведені результати дослідження ефективності роботи ВРПМА.

6 Мохаммед Абдуллах Д. М. Определение радиальных размеров рабочей камеры вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата / Д. М. Мохаммед Абдуллах, В. И. Склабинский // Збірник доповідей учасників 14-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал української науки – ХХІ сторіччя», м. Запоріжжя, 12–20 грудня 2011р. – Запоріжжя, 2011. – С. 85–90.

Особистий внесок: проведено моделювання та зроблені висновки з роботи.

7 Мохаммед Абдуллах Д. М. Окружные скорости газа (пара) в рабочей камере вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата (ВРПМА) / Д. М. Мохаммед Абдуллах, В. И. Склабинский // Всеукраїнська науково-технічна конференція „Хімічна технологія та інженерія”. – Суми : СумДУ, 2011. – С. 118.

Особистий внесок: подані результати моделювання гідродинамічного стану в робочій камері ВРПМА.

8 Мохаммед Абдуллах Д. М. Определение оптимального размера капель в ВРПМА / Д. М. Мохаммед Абдуллах, А. Х. Мохаммед Надим Касим // Международная научно-техническая конференция «Технология-2012», 6–7 апреля 2012 г. – С. 171–172.

Особистий внесок: подані результати розміру крапель у робочій камері ВРПМА.

9 Мохаммед Абдуллах Д. М. Рекомендации по внедрению ВРПМА в нефтегазовую промышленность / Д. М. Мохаммед Абдуллах, А. Х. Мохаммед Надим Касим // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми та перспективи розвитку нафтогазового комплексу», м. Полтава, 98 - 99 вересня 2012 р. – Полтава, 2012. – С. 45-46.

Особистий внесок: надані рекомендації щодо впровадження розробленого апарата

10 Мохаммед Абдуллах Д. М. Определение радиальных размеров массообменной камеры с плоским движением вихревого потока газа / Д. М. Мохаммед Абдуллах // I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Хімічна технологія: наука та виробництво», м. Шостка, 7 – 9 листопада 2011 р. – С. 87.

Особистий внесок: подані результати розрахунку робочої камери ВРПМА.

11 Sklabinsky V. I. The assessment of the processing chamber radial dimensions of vortex spray countercurrent mass exchange device / V. I. Sklabinsky, Abdullah Jalal Mohammed, Mohammed Nahdim Gasim // First Scientific Conference on Modern Technologies in Oil & Gas Refining, Iraq, Baghdad Вип. 9. — С. 24.

Особистий внесок: надані рекомендації, щодо можливих напрямків впровадження розробленого апарата

АННОТАЦІЯ

Мохаммед Абдуллах Д. М. Гідравлічні характеристики вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Сумський державний університет МОН України, Суми, 2014.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному обґрунтуванню та експериментальним дослідженням вихрових потоків, удосконаленню методів розрахунку гідродинаміки вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів та рекомендацій з проектування та вибору параметрів роботи таких апаратів. Запропоновані уточнені фізична та математична моделі, що пояснюють процеси формування протитечійного руху у робочій частині вихрової масообмінної камери вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата. Експериментально вивчені гідродинамічні характеристики різних режимів роботи вихрового розпилювального протитечійного масообмінного апарата для створення умов стійкої роботи вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів. Вивчено вплив режимів роботи вихрового розпилюючого протитечійного масообмінного апарата на інтенсивність бризковіднесення та вплив цього процесу на ефективність роботи вихрових розпилюючих протитечійних масообмінних апаратів.

Теоретичні розрахунки були підтверджені результатами експериментальних досліджень, тобто розроблена математична модель може бути застосована для моделювання стійкого протичейного, вздовж радіуса вихрової масообмінної камери, руху вихрових потоків газу та крапель рідини. Розроблена інженерна методика проектування вихрових розпилювальних протитечійних масообмінних апаратів. Отримані наукові результати впроваджені у навчальний процес кафедри «Процеси та обладнання хімічних та нафтопереробних виробництв» Сумського державного університету та кафедри «Процеси та апарати нафтопереробки» Багдадського технологічного університету.

Ключові слова: *вихровий розпилюючий протитечійний масообмінний апарат, гідродинаміка, протитечія, масообмін, вихровий потік.*

АННОТАЦІЯ

Мохаммед Абдуллах Д. М. Гидравлические характеристики вихревых распыливающих противоточных массообменных аппаратов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 - процессы и оборудование химической технологии. - Сумский государственный университет МОН Украины, Сумы, 2014.

Целью диссертационной работы является разработка уточненной методики определения гидродинамических характеристик вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата, а именно полей радиальных и тангенциальных составляющих скоростей вихревого газового потока и вихревого потока капель жидкости.

Диссертация посвящена теоретическому обоснованию и экспериментальным исследованием вихревых потоков, совершенствованию методов расчета

гидродинамики вихревых распыливающих противоточных массообменных аппаратов и рекомендаций по проектированию и выбору параметров работы таких аппаратов.

Интенсификация химико-технологических процессов и повышение эффективности технологического оборудования являются одними из приоритетных задач развития науки и техники. Основой повышения качества продукции, увеличения производительности и снижения энергозатрат на проведение химико-технологических процессов служит разработка высокоэффективных технологических аппаратов с оптимальной удельной энергоемкостью и материалоемкостью, высокой степенью воздействия на обрабатываемые вещества.

Выросший интерес к использованию вихревых потоков в массообменной технике объясняется возможностью значительно ускорить массообмен за счет турбулизации течений, создания развитой поверхности контакта фаз, а также распыла жидкости на капли. Такие подходы позволяют не только ускорить массообмен, а также уменьшить затраты на производство и эксплуатацию этого оборудования.

На основании литературного обзора и анализа гидродинамических параметров работы вихревых противоточных массообменных аппаратов разных типов выявлены недостатки их конструкций, определены направления усовершенствования и обоснованно возможность уменьшения габаритных размеров массообменного оборудования путем использования противоточного движения вихревых потоков газа и капель жидкости и интенсификации процессов внутри аппарата за счет применения усовершенствованного метода гидродинамического анализа условий такого вихревого движения.

Получила дальнейшее развитие математическая модель расчетов гидродинамических параметров однофазного и двухфазного вихревых потоков с возможностью определения полей скоростей этих потоков в произвольной точке рабочей камеры вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата.

На основе теоретического анализа силового воздействия на капли жидкости центробежных сил, вовлекающих капли в движение от центра к периферии вихревой камеры, и аэродинамических сил, которые действуют на капли в направлении от периферии к центру, и в основе которых лежит разработанная методика определения скоростей вихревого газового потока с поперечным градиентом окружных скоростей газа, разработаны рекомендации по созданию гидродинамических условий в массообменной камере вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата, обеспечивающих устойчивое, противоточное вдоль радиуса движение вихревых потоков газа и капель жидкости, что позволяет повысить эффективность массообменных процессов.

Разработана методика определения времени вовлечения капель при различных условиях ввода жидкости в вихревой газовый поток, которая лежит в основе рекомендаций по расчету распыливающего устройства вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата.

По результатам экспериментальных исследования получены

гидродинамические характеристики различных режимов работы вихревого распыливающего противоточного массообменного аппарата с целью создания условий устойчивой работы вихревых распыливающих противоточных массообменных аппаратов.

Разработана инженерная методика проектирования вихревых распыливающих противоточных массообменных аппаратов. Полученные научные результаты внедрены в учебный процесс кафедры «Процессы и оборудование химических и нефтеперерабатывающих производств» Сумского государственного университета и кафедры «Процессы и аппараты нефтепереработки» Багдадского технологического университета.

Ключевые слова: *вихревой распыливающий противоточный массообменный аппарат, гидродинамика, противоток, массообмен, вихревой поток.*

SUMMARY

Mohammed Abdullah D. M. Hydraulic Characteristics of Vortex Atomizing Countercurrent Mass-Transfer Apparatus. - Manuscript.

Dissertation for a Candidate Degree in Engineering Science: specialty 05.17.08 – Processes and Equipment of Chemical Technology. – Sumy State University, Sumy, 2014.

This dissertation is devoted to the theoretical justification and experimental studies of vortex flows, the improvement of hydrodynamics calculation methods of the vortex atomizing countercurrent mass transfer units, and recommendations for the design and selection of the parameters of such devices. Physical and mathematical models explain the processes of counter-movement formation in the working section of the vortex mass transfer vortex chamber of the spray countercurrent mass transfer apparatus. The hydrodynamic characteristics of the various modes of operation of the atomizing vortex countercurrent mass-transfer device were experimentally studied in order to create stability conditions of the vortex atomizing countercurrent mass-transfer apparatus. The influence of the operation modes of the atomizing vortex countercurrent mass transfer apparatus on the drop entrainment intensity and its impact on the performance of the atomizing vortex countercurrent mass-transfer apparatus are being studied.

Theoretical calculations have been confirmed by experimental results. A mathematical model is applicable for modeling persistent counter motion of vortex flows of gas and liquid droplets along the radius of the vortex mass transfer camera. The engineering practice of designing atomizing countercurrent mass-transfer apparatus has been developed. The obtained research results are introduced into the academic process at the Department "The Processes and Equipment of Chemical and Refining Industries" of Sumy State University and at the Department "Refining Processes and Devices" of Baghdad University of Technology.

Key words: vortex atomizing countercurrent mass-transfer apparatus, hydrodynamics, countercurrent mass transfer, vortex flow.

Підписано до друку 10.11.2014.
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк.0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.